14707

COURS

DE

CONSTRUCTION

Tout exemplaire non revêtu de la griffe de l'auteur est réputé contrefait.

Imprimerie Polytechnique de E. LACROIX, à Saint-Nicolas-de-Port (Meurthe).

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES-INDUSTRIELLES DE E. LACROIX

COURS

DE

CONSTRUCTION

PAR

A. DEMANET

LIEUTENANT-COLONEL DU GÉNIE

3me ÉDITION

ENTIÈREMENT REFONDUE ET CONSIDÉRABLEMENT AUGMENTÉE

TOME PREMIER

PARIS

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE, INDUSTRIELLE ET AGRICOLE

Eugène LACROIX, Imprimeur-Éditeur

LIBRAIRE DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS, DE LA SOCIÉTÉ DES ANCIENS ÉLÈVES DES ÉCOLES D'ARTS ET MÉTIERS, ETC.

54, RUE DES SAINTS-PÈRES, 54

IMPRIMERIE A SAINT-NICOLAS-DE-PORT (MEURTHE)

Droit de traduction réservé.

PREMIÈRE PARTIE

CONNAISSANCE DES MATÉRIAUX

4. Division des matériaux en trois classes. — On peut diviser en trois classes, les matériaux employés aux constructions.

Dans la première, on range les matières de nature pierreuse ou minérale, telles que les pierres de toute espèce, les sables, les argiles et leurs produits, le bitume minéral, etc.

Dans la seconde, les matières ligneuses et végétales, comme les bois de toute espèce, la paille, les roseaux, les cordages, le bitume végétal, etc.

Dans la troisième enfin, les substances métalliques, comme le fer, le plomb, le cuivre, le zinc et les alliages.

PREMIÈRE SECTION

ÉTUDE DES MATÉRIAUX PIERREUX

5. — Les substances minérales se présentent, dans la nature, en blocs plus ou moins volumineux et cohérents, ou en masses plus ou moins désagrégées, ou enfin à l'état de pâtes plus ou moins fermes, suivant la quantité d'eau dont elles sont imbibées ; ces dernières peuvent toujours, par addition d'une certaine quantité de liquide, être ramollies et même délayées tout à fait.

On a donné, aux premières, le nom de *pierres ;* aux secondes, ceux de *sable, d'arène* ou de *gravier*, et aux troisièmes, celui d'*argiles*. Ces dernières offrent, en outre, ceci de bien remarquable que, exposées à l'action d'un certain degré de chaleur, elles acquièrent, avec une dureté souvent considérable, la propriété de ne plus se laisser détremper par l'eau et d'offrir alors tous les caractères d'une pierre ordinaire ; de là le nom de *pierres artificielles* donné aux produits de cette espèce, parmi lesquels on range la brique, la tuile et autres produits du même genre.

Il est cependant bon d'observer que, dans la nature, les divisions ne sont pas toujours aussi nettement tranchées et qu'il existe des intermédiaires dont on doit

tenir compte. Ainsi, l'on rencontre quelquefois des pierres dont les particules ou les grains sont si peu agrégés, qu'il suffit d'une légère pression pour les réduire en poudre ou à l'état de sable : tels sont, par exemple, certains *grès* connus vulgairement, pour cette raison, sous le nom de *pierres de sable*. De même, il se trouve souvent des mélanges de sable et d'argile qui participent plus ou moins des propriétés de l'un ou de l'autre : les *marnes* et les *terres à brique* sont particulièrement dans ce cas.

ARTICLE PREMIER.

DES PIERRES EN GÉNÉRAL.

6. Classification générale. — On distingue parmi les pierres :

1° Les *minerais* : pierres contenant des métaux combinés ou mélangés avec d'autres substances dont on les débarrasse, par les procédés métallurgiques, pour les obtenir à l'état de pureté plus ou moins grande. Exemples : les sulfures de plomb, de cuivre ; les oxydes et les carbonates de fer, etc.

Elles ne sont pas d'un usage immédiat dans les constructions.

2° Les *pierres précieuses* : recherchées à cause de leur beauté ou de leur rareté, comme objets de luxe, de parure ou de curiosité ; tels sont les diamants, rubis, émeraudes, saphirs, opales, le lapis-lazuli et un grand nombre d'espèces minérales qui n'offrent d'intérêt que pour les collections minéralogiques.

3° Les *pierres à bâtir* enfin, employées aux constructions de tout genre et dont la connaissance est spécialement de notre ressort.

Toutes les subdivisions que nous venons d'établir sont indépendantes de la nature chimique des matières ; celle-ci en établira d'autres que nous aurons soin d'indiquer plus tard.

7. Conditions auxquelles doit satisfaire une pierre à bâtir. — Pour qu'une pierre soit propre à la bâtisse, il faut qu'elle se présente dans la nature en masses suffisamment grandes, susceptibles d'être exploitées, débitées et taillées facilement et sans trop de dépense ; qu'elle offre, néanmoins, une dureté et une cohésion suffisantes pour résister aux chocs, aux pressions qu'elle peut avoir à supporter et aux influences atmosphériques ; trois causes de destruction qui agissent quelquefois simultanément aussitôt qu'elle fait partie d'une construction. Tout au moins est-il nécessaire qu'elle satisfasse à celles de ces conditions qui sont les plus importantes pour chaque cas particulier ; car il est tellement rare de rencontrer des pierres qui les réunissent toutes, que la plupart des constructions deviendraient ruineuses, si l'on tenait rigoureusement à n'en employer que de telles.

Ce que l'on doit toujours observer, c'est de faire un emploi judicieux de celles dont on dispose, en réservant les plus solides pour les parties les plus exposées, et les moins bonnes pour celles où les causes de destruction sont les moins actives.

8. Comment on reconnaît que ces conditions sont satisfaites. — Des renseigne-

ments pris sur les lieux et quelques expériences fort simples suffisent, en général, pour s'assurer jusqu'à quel point une pierre donnée satisfait à ces conditions.

1° Son mode de gisement bien étudié, sa dureté, sa cassure, sa structure, donnent des indications suffisantes sur les facilités ou les difficultés qu'elle peut offrir à l'exploitation, à la taille ou au débit ; 2° en la soumettant, d'une manière quelconque, à des pressions dont on puisse exactement supputer la grandeur, on acquiert une notion de sa résistance ; et 3° l'on peut apprécier son degré de résistance aux influences atmosphériques, et surtout à l'action de la gelée, en examinant attentivement l'état d'anciennes constructions faites avec des pierres de même espèce, ou bien au moyen d'une expérience que nous détaillerons plus loin.

Exposons d'abord en quelques mots les effets de la gelée sur les pierres.

Certaines pierres, soumises à l'action des froids les plus violents, résistent sans manifester d'altération notable ; mais, par contre, il en est d'autres que les plus petites gelées de nos climats attaquent d'une façon remarquable. Tantôt elles subissent une désagrégation qui s'observe surtout aux angles et aux arêtes ; tantôt il s'en détache des éclats anguleux ou des feuillets plus ou moins épais ; enfin il arrive quelquefois que la solidité de la pierre est singulièrement altérée par l'action des gelées, sans qu'il en paraisse pourtant des signes visibles à l'extérieur ; c'est ainsi, par exemple, que certains calcaires carbonifères, connus sous le nom de pierres bleues, qui semblent, au premier aspect, avoir encore, après un certain nombre d'années, les mêmes qualités qu'au moment de leur mise en œuvre, se trouvent cependant dénués, à tel point, de toute solidité, que tout remaniement devient impossible et qu'un seul coup de marteau suffit pour les briser en mille pièces.

Les pierres qui se laissent ainsi attaquer plus ou moins fortement par la gelée sont nommées *gélives* ou *gélisses* ; elles ne doivent être employées, dans les constructions, qu'aux endroits où elles sont soustraites à cette influence destructive.

La cause de ce phénomène, qui peut avoir les plus fâcheuses conséquences, réside dans la faculté qu'ont les pierres d'absorber et de retenir avec force une quantité d'eau plus ou moins considérable, soit que cette eau ait été prise au sein de la terre et constitue ce qu'on appelle l'*eau de carrière* des pierres, soit qu'elle provienne de la vapeur répandue dans l'atmosphère. — Lorsque à la suite de grands froids, cette eau qui occupe les pores de la pierre vient à se congeler, elle se gonfle en développant une force d'expansion considérable, et de là naissent les phénomènes décrits plus haut toutes les fois que la force d'expansion de l'eau congelée l'emporte sur celle de cohésion de la matière. — Souvent, et c'est le cas d'un grand nombre de pierres employées en France, en Allemagne et en Angleterre, il suffit d'une exposition à l'air plus ou moins prolongée (un été suffit généralement) pour débarrasser la pierre de son eau de carrière et faire disparaître ou diminuer considérablement sa gélivité.

La constatation du degré de résistance à la gelée par l'inspection d'anciennes bâtisses présuppose l'emploi déjà ancien de la pierre en examen. Lorsqu'il s'agit de pierres provenant de carrières nouvellement ouvertes, on a recours à une méthode d'essai, due à M. *Brard*, que nous allons faire connaître après avoir indiqué le phénomène sur lequel elle est basée.

Divers sels, et notamment le sulfate de soude (vulgairement *sel de Glauber*), ont la propriété de s'effleurer à la surface des pierres qui les contiennent; c'est-à-dire, de s'y produire sous forme de duvet léger, composé de très-petits cristaux entrecroisés en tous sens. M. Brard remarqua d'abord que, presque toujours, ces efflorescences étaient accompagnées d'une désagrégation plus ou moins complète de la pierre ; il observa ensuite que dans un grand nombre de circonstances, des efflorescences semblables d'eau cristallisée se formaient à la surface de pierres prises par la gelée, et que c'était surtout alors que la désagrégation s'opérait de la manière la plus active. Il s'est ainsi trouvé conduit à considérer ces deux faits comme ayant la plus grande analogie, et à penser qu'on exercerait sur les pierres une action tout à fait semblable à celle de la gelée, en y introduisant une certaine quantité de sel effleurescent, opération qui n'offre aucune difficulté. Les expériences ont confirmé ces idées ; elles ont été, depuis lors, répétées par des commissions d'ingénieurs qui ont constaté qu'on pouvait accorder toute confiance aux indications fournies par ce mode d'essai.

Nous donnons, ci-après, la manière d'y procéder d'après le programme rédigé par M. le vicomte *Héricart de Thury :*

« 1° On choisit les échantillons sur les points douteux du banc de pierre que l'on veut éprouver, par exemple sur les places qui présentent des différences dans la couleur, le grain ou l'aspect.

« 2° On fait tailler ou scier ces échantillons, en cubes de deux pouces (54 millimètres) de côté, à vives arêtes, les morceaux simplement cassés pouvant être tressaillés ou étonnés par le choc, et pouvant offrir ainsi des détériorations fausses qui ne tiendraient nullement à la qualité de la pierre, mais simplement à la force qui l'a brisée.

« 3° On numérote ou l'on marque chaque échantillon avec de l'encre de Chine, ou avec une pointe d'acier, et l'on conserve des notes exactes du lieu et de la place d'où chaque cube a été détaché.

« 4° On fait fondre, dans une quantité d'eau proportionnée au nombre des échantillons que l'on veut éprouver, tout le sel de Glauber (sulfate de soude) qu'elle *pourra dissoudre à froid;* et, pour être bien certain que cette eau ne peut en prendre davantage, il faut qu'il reste un peu de sel au fond du vase, une ou deux heures après qu'on l'y aura jeté. Ainsi, par exemple, une livre (environ 1/2 kilog.) de ce sel suffit pour saturer une bouteille d'eau ordinaire à la température des puits de 12 degrés environ du thermomètre de *Réaumur* (15 degrés centigrades).

« 5° On fait chauffer cette eau chargée de sel dans un vase quelconque, jusqu'à ce qu'elle bouille à gros bouillons, et l'on y plonge alors tous les échantillons sans la retirer de dessus le feu, et en déposant les cubes de manière à ce qu'ils plongent tous complétement.

« 6° On laisse bouillir les pierres pendant une demi-heure. Les expériences faites par M. Vicat prouvent qu'il ne faut pas faire bouillir pendant plus longtemps, sous peine d'outre-passer les effets de la gelée. Ainsi, cette ébullition de trente minutes est de rigueur.

« 7° On retire chaque échantillon l'un après l'autre, et on les suspend à des fils, de

manière à ce qu'ils ne touchent à rien, et qu'ils soient parfaitement isolés. On place au-dessous de chacun d'eux un vase rempli de la dissolution dans laquelle ils ont bouilli mais en ayant soin de la laisser reposer, et de jeter le fond, qui renferme toujours de la poussière ou des grains détachés des échantillons.

« 8° Si le temps n'est pas trop humide ou trop froid, on trouvera, vingt-quatre heures après que ces pierres auront été suspendues, leur surface couverte de petites aiguilles blanches, salines, tout à fait semblables au salpêtre des caves, par la manière dont elles se présentent. On plongera ces pierres dans le vase qui est au-dessous de chacune d'elles, pour faire tomber les premières efflorescences salines ; on recommence ainsi toutes les fois que les aiguilles sont bien formées ; après la nuit surtout, on les trouve plus longues et plus abondantes que dans le courant du jour ; ce qui fait conseiller de faire l'expérience dans un appartement fermé, dans une cave, etc.

« 9° Si la pierre que l'on a éprouvée n'est point gélive, le sel n'entraîne rien avec lui, et l'on ne trouve au fond du vase ni grains, ni feuillets, ni fragments de la pierre éprouvée que l'on doit avoir bien soin de ne pas changer de place dans le cours de l'expérience, non plus que le vase qui est au-dessous d'elle.

« Si la pierre est gélive, au contraire, on apercevra, dès le premier jour que le sel paraîtra, qu'il entraîne avec lui des fragments de pierre, que le cube perd ses angles et ses vives arêtes ; et enfin on trouvera au fond du vase tout ce qui s'en sera détaché dans le cours de l'épreuve, qui doit être achevée au bout du cinquième jour, à partir du moment où le sel pousse pour la première fois, car cet effet retarde ou avance suivant l'état de l'air.

« On peut aider la pousse du sel en trempant la pierre aussitôt qu'il commence à paraître sur quelques points, et en répétant cette petite opération cinq à six fois par jour.

« Nous insistons sur l'observation précédemment faite, qu'il faut bien se garder de saturer l'eau pendant qu'elle est chaude ; c'est à froid seulement que cette saturation doit avoir lieu : car, ainsi que nous l'avons déjà dit, et comme on l'a reconnu dans les expériences faites à l'inspection générale des carrières, telle pierre qui résiste bien à l'action de la gelée et à l'action de la lessive saturée à froid, se délite complément quand on l'expose à l'action de la lessive saturée à chaud, et il en serait souvent de même si l'on prolongeait les lotions au delà du quatrième jour, comme nous l'avons prescrit ci-dessus.

« 10° Si l'on veut juger comparativement du degré de gélivité de deux pierres indiquées comme devant se décomposer par l'action de la gelée, on pèse, après les avoir séchées, toutes les parties qui se sont détachées des six faces du cube, et l'on aura de suite celle qui sera la plus gélive des deux.

« Enfin, si un cube de 24 pouces carrés (0^{mc}, 0176) de surface a perdu 180 grains (9^{gr},60), une toise carrée (3^{mc}, 7987) de la même pierre aurait perdu 3 livres 10 onces (1^{k}, 7754) dans le même espace de temps.

9. Caractères distinctifs des pierres. — Les pierres se distinguent les unes des autres au moyen de leurs *caractères chimiques* et de leurs *caractères physiques*. Les premiers sont basés sur les phénomènes qui se passent lorsqu'on les soumet à l'action

de la chaleur, des acides ou des réactifs en général ; les seconds reposent sur leurs qualités physiques, telles que leur densité, leur dureté, leur structure, leur cassure, leur couleur. Ces derniers suffisent quelquefois, mais pas toujours, pour les faire reconnaître.

Les opérations nécessaires pour mettre en évidence les caractères chimiques se réduisent généralement : à soumettre la substance à l'action d'un feu plus ou moins vif et prolongé, pour observer si elle est fusible ou infusible, si elle change de nature par cette opération ou si elle ne subit aucune altération dans sa constitution chimique ; ou bien à l'éprouver au moyen des acides azotique, sulfurique ou chlorhydrique, après l'avoir réduite en poudre, pour voir si elle est ou non soluble, avec ou sans effervescence, totalement ou sans résidu, et dans quelques cas, à éprouver la dissolution au moyen des réactifs connus, de la chaux, de l'alumine et de la magnésie principalement.

Ce que l'on a en vue, au moyen de ces essais, c'est d'acquérir une notion grossière, mais suffisante pourtant pour la caractériser, de la composition chimique de la pierre et de son état de pureté ; ce n'est que dans des circonstances très-rares qu'il devient nécessaire de connaître, avec exactitude, le nombre et la quantité des matières composantes. Dans ce dernier cas, il faut avoir recours à une analyse en règle, et l'on a appris, dans le cours de chimie, comment on doit procéder à cette opération délicate.

Quant aux caractères physiques, ils peuvent être appréciés à la vue ou au moyen de quelques expériences fort simples. On caractérise :

1° La *dureté*, en disant que les pierres rayent l'acier, le fer, le cuivre ou l'ongle, ou qu'elles sont rayées par ces substances. En général, les pierres à la fois très-dures et très-cohérentes, font feu sous le *choc du briquet*.

2° La *structure* en disant qu'elle est :

Compacte, c'est-à-dire présentant une masse uniforme sans apparence de lamelles ou de grains. Exemple : le verre, le cristal de roche, la pierre à fusil.

Granuleuse, lorsqu'elle présente une masse uniforme de grains plus au moins gros qui semblent réunis entre eux par un ciment. Lorsque les grains acquièrent une forte dimension, par exemple celle d'un petit pois, la structure prend le nom d'*oolithique*. Exemple : les calcaires d'Anstrude et de Coutarnoux (France).

Lamellaire, lorsqu'elle présente une masse de petites lamelles disposées en tous sens.

Laminaire, structure qui ne diffère de la précédente que par la dimension plus grande des lamelles.

Cristalline ou *granitoïde*, lorsque la masse offre une agglomération de petits cristaux déformés entremêlés avec la plus grande confusion, comme cela se voit dans les granites.

Fibreuse, lorsque la masse paraît composée d'une infinité de fibres plus ou moins longues accollées les unes aux autres. Exemples : pierre à plâtre des bords de la Moselle.

Saccharoïde, lorsqu'elle présente une contexture analogue à celle du sucre en pains. Exemple : le marbre blanc statuaire.

Terreuse, lorsqu'elle a l'aspect de la terre, tout en ayant la consistance de la pierre. Exemple : la craie.

Grossière, lorsqu'elle est composée de grains inégaux et terreux. Exemples : les pierres sablonneuses des environs de Bruxelles, le vergelé, pierre des environs de Paris.

Grésiforme, lorsqu'elle présente une masse uniforme de grains arénacés agglutinés. Exemples : les grès employés aux pavages des routes, les meules à aiguiser.

Cellulaire, lorsque la masse est traversée, en tous sens, par une grande quantité de cavités ou cellules. Exemple : la pierre meulière.

Schistoïde, lorsque, ayant une des structures précédentes, la masse peut se diviser en feuillets par la percussion. Exemple : l'ardoise.

3° La *cassure*, en disant qu'elle est :

Droite, lorsque les surfaces de rupture sont planes.

Conchoïde, lorsqu'elles offrent une courbure qui les fait ressembler à l'empreinte d'une coquille bivalve.

Lisse, lorsqu'elles sont sans aspérité.

Raboteuse, lorsque le contraire a lieu.

4° La *couleur* peut être de toutes les nuances connues, mais on observe le plus fréquemment celles du gris, du jaune et du rouge.

5° Enfin, la *densité* ou pesanteur spécifique s'apprécie par les méthodes qui ont été exposées dans le cours de physique et qu'il est inutile de rappeler ici.

10. Modes de gisements — Notions géologiques. — Les pierres à bâtir se présentent presque toujours, dans la nature, en masses considérables, et elles constituent ainsi ce que les minéralogistes ont appelé des *roches*.

Les masses rocheuses présentent des particularités qui les ont fait désigner sous différents noms ; on appelle :

Roches massives, celles qui paraissent ne former qu'un seul bloc sans subdivision naturelle, ou bien qui sont traversées par des fentes et des crevasses irrégulières courant dans tous les sens.

Roches stratifiées, celles qui, au contraire, sont divisées, par des fentes régulières et parallèles, en *couches* ou *bancs* de diverses épaisseurs.

Les roches massives paraissent quelquefois remplir de vastes fentes ou crevasses pratiquées au milieu de roches d'une nature étrangère. Les roches qui présentent cette particularité sont désignées sous le nom de roches en *dyke* ou en *filon* (*fig.* 3, 4, *pl.* I).

Les roches massives offrent généralement la structure cristalline ou granitoïde ; elles ont parfois l'apparence de matières qui ont été fondues par un feu violent et qui se sont ensuite cristallisées confusément en se refroidissant et portent alors le nom de *roches volcaniques ;* les roches stratifiées présentent, le plus souvent, les structures compacte, grenue, grossière, fibreuse, et autres qui s'en rapprochent, et elles ont l'apparence de matières formées par sédiment ou cristallisation au milieu d'un liquide.

Ces caractères, joints à la présence, dans ces dernières, de débris plus ou moins

nombreux de corps organisés (notamment de coquilles marines ou fluviatiles) et à l'absence totale des mêmes débris dans les roches massives, leur ont fait assigner, et non sans fondement, une origine différente.

On admet généralement aujourd'hui que les roches non stratifiées sont dues au refroidissement et à la solidification de la partie externe du globe, qu'on suppose avoir été primitivement en fusion, ou à l'éjaculation au dehors des matières qui en forment encore la masse centrale, et que les roches stratifiées ont été formées, par sédiment, dans des mers ou des lacs d'eau douce ou salée, déplacés par des bouleversements ultérieurs.

Les géologues ont établi, parmi cette dernière espèce de roches, de nombreuses divisions et subdivisions dont il est nécessaire d'avoir au moins une idée.

Des pierres de même nature ont, en effet, très-souvent, des qualités toutes différentes, suivant qu'elles appartiennent à telle ou telle de ces divisions ; et presque toujours la désignation de celles de ces divisions auxquelles on doit les rapporter ou, comme on le dit, de leur *position géognostique*, est par cela même le complément indispensable de leur description.

Si cette désignation accompagnait, dans tous les ouvrages, les renseignements que l'on y trouve sur le degré de résistance, et sur les autres qualités physiques d'un grand nombre de pierres à bâtir, on n'aurait pas à regretter le vague qu'on y remarque trop souvent et qui ôte, à des observations intéressantes, une grande partie de leur valeur.

Pour mieux faire comprendre le principe de ces divisions, imaginons qu'au fond d'une des mers que nous connaissons, il se fasse journellement un certain dépôt de matières ; ces matières s'y amoncelleront continuellement en se déposant en couches parfaitement horizontales, caractérisées par des différences de densité, de structure, de couleur, etc., etc. Supposons, actuellement, qu'après une très-longue période pendant laquelle le dépôt en question aura pris un développement plus ou moins considérable, il survienne un bouleversement qui dérange l'horizontalité de ses couches, tel, par exemple, qu'un soulèvement local occasionné par des matières tendant à s'échapper du sein de la terre ; la continuité du dépôt se trouvera interrompue, et celui qui se formera ensuite, en se déposant sur le précédent en couches horizontales, s'en fera distinguer par un défaut de parallélisme plus ou moins marqué. Si, après que le deuxième dépôt a ainsi acquis un grand développement, il survient une nouvelle catastrophe du même genre que la première, les mêmes causes produiront les mêmes effets, et le troisième dépôt qui se formera ensuite sera de nouveau reconnaissable du second au même caractère. Si donc on admet une succession de bouleversements de même espèce, terminée par une émersion générale du fond, on pourra les considérer comme autant de points de division chronologique dans la formation totale, et les faire servir de base à la classification des divers dépôts qui la composent, depuis les plus anciens, antérieurs à la première catastrophe, jusqu'aux plus modernes, postérieurs à la dernière.

Les phénomènes que nous venons de supposer ont dû fréquemment se produire dans les premiers âges du monde, et les traces des bouleversements qu'a subis, avant

d'être totalement émergée, la portion de la croûte terrestre sur laquelle nous vivons, sont restées suffisamment visibles pour qu'il ait été possible d'établir des distinctions semblables à celles que nous venons d'indiquer. On l'a donc divisée en un certain nombre de divisions auxquelles on a donné le nom de *terrains*, entendant par ce mot l'ensemble des couches minérales d'un dépôt formé dans l'intervalle d'un bouleversement à un autre.

Ces terrains ont été classés ainsi qu'il suit en commençant par les dépôts qui se forment encore journellement :

Alluvions modernes.	Terrains jurassique.
— anciennes.	— de trias.
Terrains subapennin.	— pénéen ou permien.
— de molasse.	— houiller.
— parisien.	— dévonien.
— crétacé supérieur.	— silurien.
— crétacé inférieur.	— cambrien.

Cette classification résulte d'observations faites dans un grand nombre de lieux différents et qui, coordonnées, ont conduit au même résultat que si l'on avait percé un puits ou creusé une tranchée, au travers de tout le système des terrains sédimentaires, dans un lieu où il eût été complet.

Si la série des terrains sédimentaires était complète sur tous les points de la terre, il serait bien aisé d'en reconnaître les diverses subdivisions ; il n'y aurait, pour cela, qu'à compter combien de fois le parallélisme des couches pierreuses se trouve brusquement dérangé, depuis la surface du sol jusqu'au point dont on voudrait fixer la position géognostique, pour avoir la solution du problème.

Si même on était toujours sûr de rencontrer au grand complet des portions de cette série, la chose offrirait encore peu de difficulté, puisqu'il suffirait de déterminer l'un des termes présents, pour connaître aussitôt tous les autres.

Mais il en est fort rarement ainsi ; il arrive très-fréquemment, au contraire, que, dans le cercle rétréci où l'on opère, le seul caractère de superposition est tout à fait insuffisant, à cause des lacunes qui existent souvent dans le système.

Par exemple, dans les environs de Mons, immédiatement au-dessous de couches pierreuses appartenant au terrain crétacé, on en trouve d'autres que des caractères spéciaux doivent faire ranger dans le terrain houiller ; si l'on ne tenait compte que de l'ordre de superposition en cet endroit, on les classerait dans le terrain jurassique et l'on commettrait une très-grave erreur. Dans cette localité, le terrain jurassique manque tout aussi bien que le terrain de trias et le terrain pénéen.

D'ailleurs, la détermination d'un terme de comparaison serait très-souvent impossible.

On possède heureusement d'autres caractères qui viennent en aide au précédent et qui peuvent souvent y suppléer tout à fait.

D'abord, c'est la présence, dans de certains terrains, de certaines roches qu'on ne rencontre pas (ou que par exception) dans les autres. Ainsi, la craie caractérise les terrains crétacés ; la houille, le terrain houiller ; les ardoises ne se rencontrent que dans les étages inférieurs des terrains sédimentaires (terrain silurien, cambrien).

La présence des débris d'êtres organisés que l'on trouve au milieu de ces dépôts constitue un autre caractère. On a reconnu, en effet, que certaines espèces de ces êtres se nerencontraient aussi que dans certains terrains et jamais ou que très-rarement dans les autres.

Ainsi, par exemple, les terrains siluriens et dévoniens se trouvent caractérisés par la présence d'une famille de crustacés appelés *trilobites* ; les terrains jurassiques, par celle de coquilles particulières appelées *griphées* ; les terrains crétacés, par celle des *turrilites* ; les terrains supérieurs à la craie, par la présence de plantes dicotylédones et de débris de mammifères qui se rapprochent des espèces vivantes, etc. Ces fossiles sont représentés par les figures 38 à 152 des planches III et IV, où nous avons représenté les principaux fossiles caractéristiques de divers terrains.

Les terrains sédimentaires les plus anciens paraissent, dans un grand nombre de localités, reposer immédiatement sur des roches *massives* ou à structure *granitoïde*. Cette circonstance avait fait croire aux anciens géologues que l'apparition de ces dernières roches avait toujours dû précéder celle des autres, et il les avaient nommées *primitives* pour cette raison ; mais on n'a pas tardé à reconnaître que cette opinion était erronée et que, dans bien des cas, les roches massives se rencontraient au milieu des étages, même les plus récents, des terrains sédimentaires. On a dû admettre, d'après cela, qu'elles y avaient été soulevées ou éjaculées pendant ou après la formation de ces terrains sédimentaires, et dès lors, l'épithète adoptée tendait à consacrer une idée fausse. On l'a abandonnée pour ce motif ou bien l'on n'y attache plus d'idée d'âge relatif ; *roche primitive* est, tout bonnement, dans l'état actuel de la science, synonyme de *roche à structure cristalline* ou *granitoïde*.

Des considérations, qui ont été aussi reconnues erronées par la suite, avaient fait désigner, de même, par le nom d'*intermédiaires* ou *de transition*, l'ensemble des terrains que l'on désigne aujourd'hui sous les noms de *cambriens*, *siluriens* et *dévoniens*, et des roches cristallines qui s'y trouvent intercalées (1) ;

Par celui de *secondaires*, l'ensemble des terrains *houiller*, *pénéen*, jusques et y compris le terrain *crétacé supérieur* ;

Et par celui de *tertiaires*, l'ensemble des trois dernières divisions.

Ces dénominations de terrains *intermédiaires* ou de transition *primitifs*, *secondaires*, *tertiaires*, sont encore très-usitées ; mais il faut les prendre seulement comme l'indication de l'ensemble d'un certain nombre de terrains de la classification actuelle. Comme leur emploi est assez commode, il pourra nous arriver de nous en servir quelquefois en ce sens.

L'on concevra sans peine, d'après tout ce qui vient d'être dit, que les couches des roches sédimentaires doivent offrir des traces nombreuses des secousses et des bouleversements qui ont ébranlé tant de fois la croûte terrestre ; aussi les voit-on inclinées dans tous les sens, pliées, tordues, renversées, amincies, renflées, déchirées, crevassées et offrant, en un mot, mille accidents, connus des carriers et des mineurs, et qui constituent ce qu'ils appellent leur *allure*.

---

(1) Dumont appelle terrain *primaire*, l'ensemble des terrains cambrien, silurien et dévonien.

Ces particularités ont donné naissance à quelques expressions qu'il est utile de connaître :

Lorsque deux systèmes de couches sont posés immédiatement l'un sur l'autre en conservant leur parallélisme, on dit qu'ils sont en *stratification concordante* (*fig.* 1, 2, 3, 4, *pl.* I) ; lorsqu'au contraire l'inclinaison des deux systèmes est différente, on dit qu'ils sont en *stratification discordante* (*fig.* 5, 6 *et* 7).

Il y aurait encore stratification discordante dans le cas représenté (*fig.* 8), où les couches seraient parallèles, mais d'inégale épaisseur.

On dit la stratification *horizontale*, quand les couches sont horizontales ou peu inclinées vers l'horizon, comme ce serait le cas des figures 1 et 8 (les terrains secondaires et tertiaires offrent particulièrement ce genre de stratification), et *inclinée*, lorsqu'au contraire elles sont verticales ou fortement inclinées : la figure 2 et les parties hachées des figures 5 et 7 offrent des exemples de ce genre de stratification, qu'on observe surtout dans les terrains de transition.

La stratification est *arquée* lorsque les couches, au lieu d'être planes, offrent une convexité plus ou moins prononcée ; la figure 3 en est un exemple.

Elle est en forme de bassin ou de fond de bateau, lorsqu'au contraire elles présentent une concavité marquée, comme dans le cas représenté (*fig.* 4).

La *direction* d'une couche se détermine par l'indication du point cardinal vers lequel concourt une horizontale tracée sur l'une de ses surfaces.

L'*inclinaison* se mesure par l'angle de sa ligne de plus grande pente avec l'horizon. On doit ajouter, à cette indication, celle du point cardinal vers lequel la couche s'enfonce.

Lorsque la continuité d'un système de couches est brusquement interrompue, au droit d'une crevasse, par un ressaut plus ou moins considérable, cette crevasse prend le nom de *faille* (*fig.* 9).

Lorsque les couches se présentent ou affleurent au jour dans le sens de leur direction, on dit qu'elles sont sur leurs *tranches* (A), tandis qu'elles présentent leurs *têtes* (B) lorsqu'elles sont coupées dans un sens contraire (*fig.* 10).

Enfin, l'on dit que certaines couches *alternent* avec d'autres, quand à une série des premières (A) succède une série des secondes (B), et ainsi de suite (*fig.* 11).

Les pierres à bâtir que nous venons de montrer formant, dans la nature, d'énormes massifs doivent, pour être employées aux constructions, d'abord être exploitées puis débitées en blocs de grosseur convenable et de forme plus ou moins régulière.

Nous donnerons quelques notions de ces diverses opérations.

11. Exploitation des pierres à bâtir. — Les exploitations de pierres à bâtir sont connues sous le nom de *carrières* ; elles se font de deux manières : *à ciel ouvert* ou *souterrainement*.

Exploitation à ciel ouvert. — Pour donner une idée d'une exploitation à ciel ouvert, soit (*fig.* 12) un système de couches 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, recouvert d'une certaine épaisseur de terre végétale ou de terrain d'alluvion, V, dont il s'agisse d'exploiter un massif ABCD.

On commencera d'abord par *faire la découverte de la roche*, c'est-à-dire mettre à

découvert, en enlevant le massif de terre qui les recouvre, les tranches des couches 1, 2, 3, etc., sur une étendue qui dépendra de l'importance que l'on veut donner à la carrière. (On doit avoir soin de transporter le déblai assez loin pour ne pas en être gêné par la suite.)

Après cela, profitant des fentes, qui sont ordinairement nombreuses vers les affleurements, on enlevera, par pièces et morceaux de toutes les grandeurs, la portion *a* de la couche 1, et l'on procédera successivement de même sur les couches 2, 3, 4 et suivantes.

Ordinairement, lorsqu'on a atteint une certaine profondeur, les fentes, nombreuses d'abord, font défaut ou deviennent beaucoup plus rares. On est alors obligé de recourir à des moyens de division que nous allons indiquer.

Le premier de ces moyens consiste à *pétarder la couche*, c'est-à-dire à y percer, dans l'endroit et suivant la direction les plus convenables, un trou cylindrique plus ou moins profond de 5 à 6 centimètres de diamètre (*fig.* 13), au fond duquel on place une cartouche pleine de poudre ; l'on remplit le restant de sable fin et sec ou de diverses matières fortement tassées, puis on porte le feu à la poudre avec un petit artifice qu'on place dans un canal ménagé au travers du bourrage. Par l'effet de l'inflammation de la poudre, la pierre se fend suivant un grand nombre de directions et se divise en blocs qu'il est ensuite facile de détacher tout à fait, au moyen de coins et de leviers.

Les outils dont on se sert pour l'opération du tirage à la poudre sont : 1° la *barre à mine* (*fig.* 14), longue barre de fer cylindrique, terminée à ses deux bouts par des ciseaux acérés, au moyen de laquelle on perce le trou du pétard.

2° La *curette* (*fig.* 15), espèce de cuiller à long manche qui sert à retirer, du trou, la poussière de la roche brisée par la barre à mine.

3° L'*épinglette* (*fig.* 16), sorte de grande aiguille, terminée, d'un bout par une pointe, de l'autre par un œillet, qui sert à ménager, au travers du bourrage, le canal destiné à porter le feu à la poudre.

4° Le *bourroir* (*fig.* 17), barre de fer terminée à sa partie inférieure par un bourrelet cylindrique muni d'une cannelure *g* dans laquelle on loge l'épinglette lorsqu'on bourre le pétard.

L'emploi de l'épinglette a souvent donné lieu à de très-graves accidents, surtout dans l'exploitation des roches siliceuses. Comme elle doit être en fer pour résister aux efforts de torsion qu'on lui fait éprouver pour la retirer de son logement, il ne faut qu'un coup de marteau maladroit pour produire une étincelle et faire détoner le pétard pendant que les ouvriers sont occupés à le bourrer. Mais ce n'est pas là le seul inconvénient ; le canal de l'épinglette forme un véritable évent par lequel s'échappent les gaz produits par l'inflammation de la poudre, et l'effet en est considérablement diminué. Les Anglais ont trouvé moyen d'obvier à tout cela, et en même temps de compasser, avec une grande exactitude, l'intervalle qui s'écoule entre le moment où l'on met le feu et celui de l'explosion, par l'invention d'un système de mèches appelées *mèches ou fusées de sûreté* (safety fuze).

Ces mèches dont l'administration des ponts et chaussées a introduit l'usage en

Belgique, et qui sont aujourd'hui d'un emploi à peu près général, sont faites d'une composition inflammable contenue dans une enveloppe flexible de 0m,005 à 0m,007 de diamètre, peu perméable et au besoin rendue complétement imperméable à l'humidité. Elles brûlent plus ou moins lentement suivant qu'elles sont plus ou moins vieilles et serrées dans le trou ; moyennement, elles brûlent sur une longueur de 60 centimètres par minute, mais il est toujours prudent de déterminer cette donnée au moyen d'un essai.

Pour charger le pétard, en se servant de ces mèches, on en coupe un morceau, dont la longueur est calculée d'après le temps nécessaire aux ouvriers pour se mettre à l'abri de l'explosion et l'on introduit l'une de ses extrémités dans la cartouche au milieu de la poudre ; on pousse ensuite la cartouche au fond du trou, on tend la fusée le long de la paroi, puis on remplit le restant soit avec du sable fin et sec, soit avec de l'argile sèche et fortement tassée au moyen d'un bourroir en bois, soit enfin au moyen de tampons en bois. Ces tampons en bois sont formés de trois morceaux cunéiformes qui se serrent l'un contre l'autre à la manière des pièces d'un embauchoir, de façon à exercer une grande pression contre les parois du trou. On place d'abord le morceau central, le gros bout vers le fond, puis on chasse simultanément les deux éclisses latérales autant qu'on le peut ; l'une des éclisses porte une rainure dans laquelle on loge la fusée. Ces tampons ne se plaçent pas immédiatement sur la cartouche, ils doivent en être séparés par un intervalle de 10 à 15 centimètres, rempli de sable fin et sec ou d'argile sèche et fortement tassée au moyen du bourroir en bois.

Le pétardement de la roche est très-expéditif et on l'emploie fort souvent pour l'exploitation de pierres communes, mais on doit l'éviter autant que possible lorsqu'il s'agit de marbres. En effet, outre l'inconvénient qu'il présente de fendre la pierre dans des directions tout à fait imprévues et d'occasionner souvent un fort déchet, il a encore celui d'*étonner* les quartiers ou d'y produire un grand nombre de petites fentes qui, pour être invisibles à l'œil, n'en existent pas moins pourtant et finissent tôt ou tard, par s'agrandir et causer la rupture des pièces travaillées. Il est préférable dans ce dernier cas d'employer un des moyens suivants.

Le second moyen de division consiste à creuser dans la partie superficielle de la couche des lignes de trous cunéiformes a' (*fig.* 18) disposées de façon à la diviser suivant des plans normaux à ses surfaces et dont ces lignes représentent les traces. On place ensuite dans chacun de ces trous, et successivement, un petit coin plat en acier, dont le biseau est enveloppé d'une feuille de tôle, sur lequel on frappe avec une masse. Après quelques répétitions de cette opération, la pierre se fend ou *passe*, comme disent les carriers, suivant la direction déterminée.

Quelquefois enfin, lorsque les localités le permettent, on se sert, pour la division des couches, et concurremment avec les autres procédés, de scies semblables à celles que nous décrirons plus loin.

Quel que soit d'ailleurs le procédé employé, les blocs sont ensuite écartés l'un de l'autre au moyen de gros coins acérés, sur lesquels on frappe avec des masses pesant de 5 à 10 kilogrammes, puis soulevés au moyen de crics et de forts leviers,

appelés *pinces, crampes, palfers* (*fig.* 19), pesant de 20 à 30 kilogrammes, puis enfin tirés hors de la carrière au moyen de cabestans, de treuils ou d'autres engins, et portés au chantier pour y être soumis aux opérations ultérieures.

Au lieu d'attaquer les couches par la tranche, ainsi que nous l'avons supposé dans le cas particulier pris pour exemple, on peut les attaquer par la *tête* ou par le *dos*. Cela dépend de la position de la carrière. Mais l'opération de la découverte de a roche, ainsi que toutes les autres, se conduit toujours, à très-peu près, de la même manière.

Exploitation souterraine. — L'exploitation souterraine se conduit absolument comme l'exploitation à ciel ouvert, quant au dépècement des couches et à l'enlèvement des blocs ; mais elle offre quelques différences que nous allons indiquer par un exemple, dans la direction générale des travaux.

Supposons qu'il s'agisse d'exploiter souterrainement un système de couches 1, 2, 3, 4, 5 (*fig.* 20), recouvertes par un certain nombre d'autres couches, qu'il serait trop coûteux de déblayer pour opérer à ciel ouvert.

Il peut se présenter plusieurs cas : 1° les couches viennent montrer leurs têtes sur l'escarpement de quelque vallée ; 2° elles sont situées sous un plateau plus ou moins étendu ; 3° enfin elles sont parallèles au flanc d'une vallée.

Dans le premier cas, le moyen le plus simple consiste à percer, dans le sens de la direction des couches, soit horizontalement, soit en montant ou en descendant, une galerie A (dite *de direction* ou *d'allongement*) d'assez grande dimension pour le service des transports ; puis après avoir poussé cette galerie sur une étendue assez considérable, à se retourner d'équerre à droite ou à gauche, pour enlever les couches que l'on veut exploiter. Pour cela, on commence par attaquer celle qui paraît la moins solide, la couche 3 par exemple, et on la détruit par pièces et morceaux. Lorsque, à la suite de cette opération, les couches supérieures se trouvent suffisamment desserrées, on les détache elles-mêmes par grandes parties au moyen de coins et de la poudre, et on les extrait de la carrière pour les transporter au chantier. On attaque ensuite de la même manière, les couches inférieures, et bientôt on a formé, au sein du système, une excavation ou chambre *abcd* que l'on peut agrandir indéfiniment, mais en prenant quelques précautions pour en soutenir le plafond que les carriers appellent le *toit*.

Il arrive, en effet, assez rarement que la couche qui forme le ciel de la carrière présente une solidité suffisante pour pouvoir se maintenir, sans se rompre et s'affaisser au delà d'une étendue assez restreinte. Afin d'empêcher cet accident, qui pourrait causer d'effroyables malheurs en même temps que l'interruption des travaux, on est obligé de l'étançonner au moyen de pièces de charpente ou, ce qui vaut mieux et se fait le plus souvent, au moyen de gros piliers en pierres, qu'on laisse subsister au milieu du massif exploité. Ces piliers sont désignés par la lettre P dans la figure 20. On conçoit d'ailleurs que la disposition et l'espacement de ces piliers doivent varier avec le degré de solidité et les accidents que peut présenter le toit.

Assez souvent, on remplit les parties abandonnées de la carrière avec les déblais et les déchets qui proviennent de celles dont l'exploitation se continue.

S'il s'agissait maintenant de couches situées profondément sous un plateau étendu, on commencerait d'abord par creuser un puits B (*fig.* 20), de manière à venir atteindre les couches au point le plus bas auquel on veut pousser l'exploitation ; puis partant du fond de ce puits, avec une galerie de direction A, on continuerait l'exploitation exactement de la même manière que dans le cas précédent.

Enfin, s'il était question d'exploiter des couches parallèles aux flancs d'une vallée, soit qu'elles eussent la même inclinaison que ce flanc (*fig.* 21), soit qu'elles eussent une inclinaison en sens contraire (*fig.* 22), on irait d'abord recouper celles que l'on veut exploiter par une galerie *à travers bancs* B, puis on dirigerait à droite et à gauche des excavations dans l'épaisseur de ces couches en opérant comme précédemment.

Ces explications suffiront pour faire concevoir aisément comment on devrait s'y prendre dans des cas qui ne rentreraient que jusqu'à un certain point dans ceux que nous avons examinés.

On trouve en Belgique comme en France de belles carrières à ciel ouvert. Nous citerons en Belgique celles très-connues des Écaussines, d'Arquesnes, de Feluy, de Tournay et de Maffles dans le Hainaut ; celles de Ligny, du Moulin-à-Vent, de Profondeville, de Lives, de Namèche et de Samson, dans la province de Namur ; et enfin celles de Lille, Lilliotte, Comblain, Sprimont et Huy, dans celle de Liége.

Les environs de Namur, de Maestricht, de Paris, de Caen, offrent des exemples très-remarquables de carrières souterraines.

Dans presque toutes les carrières, on ne tarde pas à rencontrer l'eau, dès qu'on a atteint une certaine profondeur, et bientôt la continuation des travaux serait rendue impossible, si l'on ne prenait les moyens de l'évacuer.

Les galeries débouchant au jour, lorsqu'elles sont horizontales ou montantes, et quand les excavations ne sont pas descendues plus bas, offrent un moyen tout naturel de saignée et d'écoulement qui évite, par la suite, des frais souvent énormes ; mais, quand ces galeries sont descendantes, et en général lorsqu'on pousse les travaux au-dessous de leur niveau, on doit, pour assécher les travaux, recourir à l'emploi des machines.

Quelquefois des pompes grossières, des vis d'Archimède mues par des hommes suffisent à cet effet ; d'autres fois, au contraire, les machines les plus puissantes peuvent à peine venir à bout de l'assèchement de la carrière.

Dans les carrières souterraines, il se produit encore un autre inconvénient ; parfois l'air ne se renouvelle pas avec assez de facilité au fond des galeries, et celui qu'elles renferment, vicié par la respiration des hommes et des animaux qui travaillent, par la combustion des lampes, par l'inflammation de la poudre, devient irrespirable et délétère. Il faut donc aviser au moyen de le renouveler, et l'on y parvient le plus souvent en perçant, de distance en distance, des puits partant du sol et venant aboutir aux excavations. Ces puits, comme autant de cheminées, établissent tantôt dans un sens, tantôt dans un autre, un tirage qui produit l'effet désiré. Nous avons supposé, dans nos exemples, des roches stratifiées ; la conduite des travaux ne serait pas bien différente s'il s'agissait de roches massives ; mais, en général, le dépècement de la

roche offre, dans ce dernier cas, beaucoup plus de difficulté. On emploie du reste les moyens ci-dessus indiqués pour l'opérer, et quelques autres qu'on aura occasion de signaler dans la suite.

12. Débit. — Les blocs étant amenés sur le chantier, on les refend d'abord au moyen de *passes* convenablement dirigées, ou bien on les débite en plus petits morceaux à coups de masses. On les dégrossit ensuite avec des marteaux appelés *rustiques* ou des espèces de hachettes de diverses formes et de différents poids. Là se borne quelquefois toute la préparation qu'on leur fait subir, et l'on obtient ainsi des solides grossièrement réguliers.

13. Refente. — Les pierres à structure schistoïde se débitent souvent d'une autre manière. Après avoir obtenu des blocs facilement maniables, on en opère la refente suivant les plans de division de la structure, et on les divise ainsi en plaques ou en feuillets plus ou moins épais. C'est de cette manière, par exemple, que se fabriquent les ardoises.

Cette refente s'opère au moyen de coins ou de couteaux que l'on chasse dans le sens de la division des feuillets.

14. Taille. — Presque toujours, à l'effet d'obtenir des formes plus régulières, les pierres dégrossies comme précédemment sont soumises à la taille.

On se sert pour tailler les pierres de dureté moyenne, telles, par exemple, que les pierres bleues employées en Belgique :

1° Du *poinçon* (*fig.* 23), tige cylindrique en fer, terminée, d'un bout par une pointe quadrangulaire acérée, et de l'autre par un bourrelet ou champignon. Il y en a de plusieurs dimensions. Les poinçons servent à abattre les plus fortes aspérités laissées par le dégrossissage au marteau.

2° De la *gradine* (*fig.* 24) : ce n'est, pour ainsi dire, qu'un poinçon à plusieurs pointes, agissant simultanément et de manière à enlever la plupart des aspérités laissées par le travail précédent, tout en en laissant de moins fortes à leur place.

3° De la *boucharde* ou du *bouchard* (*fig.* 25). C'est une espèce de marteau carré dont les deux bouts acérés sont formés de petites pyramides accolées ou *pointes* de *diamant*, et qui agit à peu près de la même manière que la gradine, quand on en frappe les surfaces, préalablement poinçonnées, de la pierre.

4° Enfin, de *ciseaux plats* (*fig.* 26), offrant un taillant acéré et bien trempé, à l'extrémité d'une tige semblable à celle d'un poinçon.

Le ciseau plat sert à remplacer les aspérités laissées par les opérations précédentes, par une série de cannelures plus ou moins fines et rapprochées. Il y en a aussi de plusieurs dimensions. Les cannelures sont souvent dirigées suivant les génératrices des surfaces taillées.

Pour faire usage des poinçons, de la gradine et des ciseaux plats, le tailleur de pierre les tient de la main gauche inclinés à 45° environ sur la surface qu'il taille ; il les frappe, en les faisant constamment avancer, à coups d'un maillet en bois de hêtre (*fig.* 27). Un banc (*fig.* 28), quelques équerres en fer et une règle divisée en pieds ou en fractions du mètre, complètent à peu près tout son attirail.

Pour tailler les pierres très-dures, comme les granites, les porphyres, etc., on se

sert de *pointerolles* (*fig.* 29) ou de *marteaux à deux tranchants* fortement acérés (*fig.* 30 et 31).

Enfin, pour les pierres tendres, comme sont la plupart de celles dont on se sert en France, on emploie ordinairement, outre les ciseaux plats et la boucharde :

1° Une sorte de *hachette* à deux tranchants (*fig.* 32), qui sert à ébaucher le travail.

2° Des *rifflards* et des *rippes* (*fig.* 33 et 34), des *râpes* et des *rabots* qui servent à le terminer.

Les opérations du *débit*, de la *refente* et de la *taille* sont généralement beaucoup plus faciles à exécuter lorsque les pierres sont fraîchement exploitées et qu'elles sont encore tout imprégnées de leur *eau de carrière*.

15. Sciage. — Dans un certain nombre de cas, on obtient tout à la fois le débit des blocs et une régularité de surface très-grande par le *sciage*. Ce dernier moyen s'emploie :

1° Lorsque les pierres sont assez tendres pour qu'il soit d'une exécution avantageuse ;

2° Lorsque, étant dures, elles sont suffisamment précieuses, pour qu'on ait intérêt à en perdre le moins possible ;

3° Lorsque, dans le même cas, à cause de leur rareté et de leur cherté, on ne les emploie qu'en revêtement et en placage, ce qui exige de les avoir en plaques minces que l'on ne pourrait guère obtenir par un autre procédé.

La plupart des marbres sont dans ce dernier cas.

Le sciage s'effectue, suivant le degré de dureté de la pierre :

1° Avec des scies à dents tout à fait semblables à celles dont on se sert pour le débit des bois ;

2° Avec des scies à sable et à eau qui ressemblent beaucoup aux précédentes, mais dont la lame n'est pas dentée. On facilite l'action de cette lame sur la pierre, en l'entourant continuellement de sable siliceux fin et mouillé.

Ces dernières scies ont quelquefois des dimensions considérables ; alors, pour en faciliter la manœuvre, on les suspend par le milieu, au moyen d'une corde, à deux perches flexibles plantées dans le sol (*pl.* II, *fig.* 35).

D'autres fois, elles sont mises en mouvement par des roues hydrauliques ou des machines à vapeur ; dans ce dernier cas, lorsqu'on veut diviser les blocs en plaques minces, on réunit souvent plusieurs lames à distance voulue dans un même châssis ou *armature*, auquel l'on imprime le mouvement de va-et-vient (*fig.* 36).

16. Polissage. — Soit que les blocs aient été taillés ou sciés, on a quelquefois intérêt à porter plus loin encore la perfection des surfaces, et on les soumet, dans ce but, au polissage. C'est ce qui a lieu, par exemple, pour tous les marbres dont on fait ainsi ressortir la finesse, la beauté et la variété des couleurs ; c'est ce que faisaient quelquefois les anciens dans leurs constructions en pierre de taille, pour obtenir une juxtaposition plus parfaite.

Voici comment s'exécute cette opération :

S'il s'agit de pierres ciselées, après avoir porté la perfection de cette taille aussi loin que possible, on commence à en effacer les aspérités en frottant la pierre avec

une autre pierre un peu plus dure dont on facilite l'action en mouillant constamment les surfaces en contact et en les saupoudrant de sable.

S'il s'agit de pierres sciées, ce premier frottage peut être supprimé, et l'on passe immédiatement au second, qui se fait avec une pierre un peu moins grossière et moins dure que la précédente. Nos marbriers appellent cette pierre *premier grès*, ils la tirent de Flémalle-Haute (entre Huy et Liége).

Au frottage avec le premier grès, on en fait succéder deux autres qui s'effectuent avec des pierres successivement moins dures appelées *premier* et *deuxième rabot* ou *rabat*, qui se tirent, en Belgique, de Chaumont, près de Florennes.

Ordinairement, après ces rabotages, on peut passer immédiatement à la dernière partie de l'opération, qui consiste à donner le *lustre ;* mais pour certains marbres noirs et blancs, cette opération doit cependant être encore précédée par un très-léger frottage à la pierre ponce.

Pour donner le luisant et le poli, on frotte le marbre d'abord avec un mélange d'éméri (1) et de limaille de plomb, puis enfin avec de la potée d'étain (2) et de la poussière d'os de mouton calcinés. On mélange quelquefois, à ces derniers ingrédients, un peu d'alun (3) pour obtenir plus rapidement le lustre ; mais il est moins solide que lorsqu'on l'obtient sans cela. On emploie aussi parfois une espèce d'encaustique, formé d'un mélange de cire jaune et de térébenthine au moyen duquel on obtient de suite un très-beau luisant, mais qui se ternit presque immédiatement.

Certains objets, quoique demandant à être polis, n'exigent pas cependant un degré de fini aussi considérable que celui auquel on parvient par la série d'opérations qui vient d'être détaillée. On peut obtenir un demi-poli ou *écurage* par un frottement plus ou moins prolongé de deux pierres de même nature l'une sur l'autre.

Ce procédé est notamment employé pour polir les carreaux de pavage. Nous avons représenté (*fig.* 37) une machine servant à effectuer cette dernière opération dans les environs de Namur et de Dinant.

La pièce principale de ce mécanisme est une grande roue dentée horizontale A, d'environ 6 mètres de diamètre, laquelle est attachée, au moyen de bras, à un arbre vertical B qui lui sert de pivot. L'assemblage de la roue avec l'arbre est fortifié par des contre-fiches inclinées C en nombre suffisant.

Cette roue engrène avec une lanterne D, laquelle engrène elle-même avec une roue dentée E fixée à l'arbre moteur.

Au moyen de ces dispositions, la grande roue horizontale peut tourner à une très-petite distance d'une aire circulaire parfaitement dressée dans laquelle sont encastrés les carreaux que l'on veut polir. D'autres carreaux de même espèce sont placés contre les bras de la roue, de manière à être entraînés dans le mouvement. Ces derniers sont maintenus dans leur position au moyen de baguettes flexibles F qui s'arc-boutent

---

(1) Alumine cristallisée impure, très-dure, rayant tous les corps, sauf le diamant.
(2) Peroxyde d'étain.
(3) Sulfate double d'alumine et de potasse.

d'un côté contre les pièces de charpente de la roue, et de l'autre contre les bords intérieurs des carreaux.

Pour augmenter l'effet du frottement qui se développe quand la machine est mise en jeu, on charge les carreaux frotteurs de poids plus ou moins considérables ; l'on arrose continuellement la surface des carreaux frottés au moyen d'un baquet plein d'eau I, porté par la roue et garni d'une chantepleure ; enfin, on saupoudre de temps à autre leur surface avec du sable quartzeux très-rude.

L'opération dure environ six heures pour des carreaux de $0^m,30$ de côté, et un peu plus pour ceux qui offrent de plus grandes dimensions.

ARTICLE II.

ÉTUDE MINÉRALOGIQUE DES PIERRES A BATIR.

17. Classification. — Les pierres, en général, sont très-abondamment répandues dans la nature, et leurs espèces sont extrêmement variées.

Les minéralogistes ont établi, pour les distinguer plus facilement les unes des autres, des classifications dont les bases ont varié à diverses époques, et les auteurs qui se sont occupés de l'art des constructions les ont également admises pour ce qui concerne celles qui servent uniquement à la bâtisse.

Nous ne pensons pas cependant qu'il soit bien utile, pour cet objet, de recourir à une classification aussi compliquée. Le nombre très-restreint, relativement aux nombreuses espèces minérales, des roches qui sont usuellement employées dans les constructions de tout genre, permet d'en adopter une beaucoup plus simple et en même temps plus utile.

Certaines pierres à bâtir soumises à l'action d'une chaleur plus ou moins vive, se décomposent en donnant naissance à des produits d'une nature toute différente, jouissant, en général, de propriétés qui les rendent d'une grande utilité dans les constructions : ce sont celles qui contiennent principalement de la *chaux*.

D'autres, au contraire, soumises à l'action des feux les plus violents, restent indécomposées : ce sont celles qui sont principalement formées de *silice*.

Voilà donc deux phénomènes généraux bien distincts, utiles à connaître et propres à établir une démarcation bien tranchée entre les unes et les autres.

Nous désignerons les premières sous le nom générique de *pierres calcaires*, et les secondes sous celui de *pierres siliceuses*.

Le petit nombre des espèces qui appartiennent à l'une et à l'autre classe est, après cela, trop petit pour qu'il soit utile de pousser plus loin cette classification. Cependant, on pourrait encore, parmi les pierres siliceuses qui sont en plus grand nombre que les autres, établir une catégorie à part pour celles qui sont plus ou moins fusibles, et ranger dans une autre celles qui ne le sont pas du tout ; mais, comme ces roches sont souvent souillées de matières alcalines susceptibles de faire

l'office de fondant, ce caractère serait beaucoup moins tranché que le précédent, et l'on peut se borner à en faire mention dans la description des espèces.

PIERRES CALCAIRES.

I. — CALCAIRE.

18. Composition. — Le calcaire à l'état de pureté est le composé chimique connu sous le nom de *chaux carbonatée*, c'est-à-dire une combinaison de chaux et d'acide carbonique dans la proportion de 56,39 de chaux et 43,61 d'acide.

19. Caractères chimiques. — Donne de la chaux quand on le soumet à une vive chaleur : soluble avec effervescence dans l'acide azotique : quelquefois il faut le pulvériser ; la dissolution précipite en blanc par l'oxalate de potasse, pourvu qu'elle soit un peu étendue, ou par le sulfate de potasse, après qu'on a concentré la liqueur par l'évaporation. Un grand nombre de calcaires exhalent, par l'effet du choc, une forte odeur d'acide sulfhydrique.

20. Caractères physiques. — *Densité :* ne dépasse jamais 3.

Dureté : telle qu'il est rayé par le fer et qu'il raye le cuivre.

Structure : le calcaire offre toutes les espèces de structures ; mais les plus communes sont : la compacte, la granuleuse, la grésiforme, que présentent un grand nombre de pierres de taille ; la terreuse, qu'offre la craie ; la grossière, qu'offrent les tuffeaux et les calcaires grossiers ; la cellulaire, que présente le tuf ; la cristalline ou granitoïde, qu'offrent certains marbres ; enfin la saccharoïde, que présente au plus haut degré le marbre blanc de Carrare.

Cassure : largement conchoïde.

Couleur : le calcaire est blanc lorsqu'il est pur ; exemple : le marbre blanc de Carrare, les veines blanches et cristallines qu'on remarque dans un grand nombre de pierres de taille, etc. ; mais cette couleur est souvent salie ou modifiée par d'autres substances, telles que le charbon, le bitume, les oxydes de fer et d'autres métaux, qui la font passer, par des gris plus ou moins foncés, jusqu'au noir, ou qui colorent en jaune, en rouge, etc., etc. On voit des exemples très-variés de ces colorations dans les marbres.

21. Gisement. — Les calcaires se présentent presque toujours en couches ou bancs épais quelquefois de plusieurs mètres, réduits d'autres fois, à l'épaisseur d'une ardoise ; tantôt fortement inclinés ; tantôt offrant une horizontalité parfaite.

On ne les rencontre qu'assez rarement dans les terrains primitifs, mais par contre on les trouve, en grande abondance, dans tous les terrains sédimentaires, depuis les plus anciens jusqu'aux plus modernes. Comme ils offrent souvent des caractères très-distincts, suivant qu'ils appartiennent à l'un ou à l'autre, il ne sera pas hors de propos d'entrer dans quelques détails à ce sujet.

Terrains primitifs. On ne connaît dans ces terrains que le marbre blanc statuaire assez connu pour qu'il soit inutile de le décrire.

Terrains de transition (cambrien, silurien, dévonien). Les calcaires que renferment ces terrains sont généralement gris, *noirs ou bleus* et constituent aussi des marbres d'un grand nombre d'espèces. Les débris organiques ne deviennent communs que dans les étages supérieurs (silurien, dévonien) ; ce sont principalement des *orthocérates* (*fig.* 39, *pl.* III), *trilobites* (*fig.* 38), *lithuites* (*fig.* 40), *orthis* (*fig.* 41), *graptolites* (*fig.* 42), des *polypiers* et des *bryozoaires* (*fig.* 43), des *goniatides* (*fig.* 44), des *clymnia* (*fig.* 45), des *mucrocheilus* (*fig.* 46), des *spirifer* (*fig.* 47) ; le terrain dévonien est bien caractérisé par les *pleurodyctium* (*fig.* 48), les *calceola* (*fig.* 49).

Terrain houiller. Les calcaires qu'on y trouve ressemblent tout à fait à ceux du terrain précédent ; ils sont caractérisés par la présence de *bellérophons* (*fig.* 50) et de *productus* (*fig.* 51).

Les pierres de taille employées en Belgique appartiennent presque toutes à ces deux terrains.

On en distingue deux espèces principales : les calcaires compactes, gris, noirs ou bleus et les *petits granites*. La première espèce fournit parfois de très-bonnes pierres et d'autres fois de très-mauvaises, en ce sens qu'elles se laissent fortement attaquer par la gelée. Un grand nombre des carrières des bords de la Meuse et des environs de Tournay sont ouvertes dans ce calcaire.

La seconde espèce, qui doit son nom à une multitude de petits débris de corps organisés convertis en chaux carbonatée spathique qui lui donnent une sorte de structure granitoïde, fournit au contraire constamment une des meilleures pierres à bâtir connues. A une exploitation et à une taille faciles, elle joint une grande résistance à l'écrasement, une certaine élasticité et une inaltérabilité complète à l'air et à la gelée.

On pourrait seulement lui reprocher de ne pas adhérer aussi fortement au mortier que quelques autres pierres. Le calcaire *petit granite* est un peu moins commun que l'autre espèce ; mais on le rencontre cependant dans un fort grand nombre d'endroits. On l'exploite notamment aux carrières de Soignies, des Ecaussines, d'Arquesnes, de Feluy, de Ligny, de Lille, Lilliotte, Comblain, etc.

La plupart des bancs calcaires appartenant aux terrains houiller et de transition sont susceptibles de recevoir un poli plus ou moins brillant et d'être employés comme marbres.

Terrain pénéen. A ce terrain appartiennent les calcaires compactes désignés sous le nom de *Zechstein* par les Allemands ; ils sont durs, tenaces, quelquefois marneux, et renferment souvent des veines et des grains de calcaire spathique et de gypse ; on y rencontre des débris de sauriens et de poissons (*fig.* 59 et 60), ainsi qu'une assez grande quantité de coquilles, particulièrement des spirifères et des productus, surtout le *productus hérissé* (*fig.* 57), et des plantes (*fig.* 58).

Ces calcaires sont très-développés dans le pays de Mansfeld et dans la Thuringe (Saxe).

Terrain de trias. Le calcaire du terrain de trias porte le nom de *calcaire conchylien* ou de *Muschelkalk*. Il est compacte et grisâtre, verdâtre ou jaunâtre, et tacheté de ces deux teintes. Les coquilles s'y rencontrent en très-grande quantité et c'est de là

que lui vient ce nom. Celles qu'on y trouve le plus communément sont des *encrinites* (*fig.* 63), des *possidonomies* (*fig.* 64), des *avicules* (*fig.* 62), et des *ammonites à nœuds* (*fig.* 66), qui sont tout à fait caractéristiques de ce calcaire. On y trouve aussi fréquemment des empreintes d'un immense crapaud appelé *cheirotherium* (*fig.* 61).

Il est très-commun dans la Lorraine (départements des Vosges, de la Meurthe et de la Moselle), sur la rive droite du Rhin et dans une grande partie de l'Allemagne.

Terrain jurassique. Le terrain jurassique renferme deux espèces de calcaire très-distinctes, qu'on emploie l'une et l'autre à la bâtisse.

L'une est d'une couleur bleuâtre ou gris blanchâtre ; elle offre une texture compacte ou grenue et est caractérisée par la présence d'une grande quantité de *gryphées arquées* (*fig.* 84) ; c'est le *lias* des Anglais.

L'autre est d'une couleur jaunâtre, d'une structure quelquefois finement grenue, d'autres fois oolithique. Les calcaires de cette dernière espèce sont tantôt friables et tantôt assez durs pour donner de bons matériaux de construction ; les pierres lithographiques et les pierres de Portland, de Purbeck et d'York, dont les Anglais font un très-grand usage comme pierre de taille, sont des calcaires de cette catégorie.

Cette dernière espèce de calcaire renferme un très-grand nombre de fossiles de toute espèce ; entre autres, les grands sauriens connus sous les noms d'*ichthyosaures* et de *plésiosaures* dont les figures 68 et 72 représentent des vertèbres ; d'immenses chauves-souris appelées *ptérodactyles*, des débris de *conifères* et une très-grande variété de coquilles, parmi lesquelles nous citerons, comme caractéristiques : l'*ammonites perkinsoni* (*fig.* 81), l'*ostrea acuminata* (*fig.* 88), pour l'étage inférieur ; le *belemnites hastatus* (*fig.* 76), et des *polypiers* (*fig.* 89 et 90) pour l'étage moyen, et l'*exogira virgula* (*fig.* 100) pour l'étage supérieur.

Ce sont des calcaires jurassiques qui constituent les montagnes du Jura, le versant occidental des Vosges, et qui recouvrent le centre de la France d'une large bande qui s'étend de La Rochelle à Thionville. Cette même bande se continue sur le territoire belge jusque dans les environs d'Arlon. On les trouve aussi au centre de l'Angleterre et sur un grand nombre de points de l'Allemagne, sur les deux versants des Alpes, sur le versant méridional des Apennins et sur ceux des Pyrénées, ils sont exploités sur un très-grand nombre de points, comme pierres à bâtir.

Terrains crétacés (inférieur et supérieur). Ces terrains renferment plusieurs variétés de calcaire employées à la bâtisse. De ce nombre sont :

1° Le *tuffeau* et la *craie tuffeau*, calcaires tantôt à l'état arénacé, tantôt à structure grossière ou grésiforme, et assez consistants pour fournir des matériaux de construction. On y trouve principalement des *turrilites* (*fig.* 109, *pl.* IV), des *scaphites* (*fig.* 103, 104), diverses sortes d'*ammonites* (*fig.* 101, 102), des *bélemnites* (*fig.* 106 et 113), diverses espèces d'*huîtres* (*fig.* 120), et beaucoup d'autres fossiles. C'est dans le tuffeau que l'on a découvert la tête de l'énorme saurien connu sous le nom d'animal de Maestricht ou de *mosasaure ;* cette tête a un mètre et demi de long.

2° La *craie*, calcaire blanc, friable, quelquefois gris, jaunâtre, tacheté de vert (*craie chloritée*). On trouve dans la craie des *trigonies* (*fig.* 123), des *hippurites* (*fig.* 112), des *sphérulites* (*fig.* 108), et un grand nombre d'autres fossiles.

Ces diverses sortes de calcaires sont exploitées comme matériaux de construction dans une grande partie de la France. On en trouve aussi en grande abondance, dans la partie sud-est de l'Angleterre et, en Belgique, dans les environs de Mons et de Maestricht. Les fameuses carrières de la montagne Saint-Pierre, près de Maestricht, sont creusées dans le tuffeau ; il en est de même de celles de Ciply, près de Mons, et de Lincent, près de Landen.

Terrain parisien et terrain de molasse. Ces terrains renferment des calcaires grossiers et plus ou moins durs, souvent mélangés de silice. A Paris, on les distingue, en pierres *dures* et en pierres *tendres*, appelant dures celles qui ne se laissent débiter qu'avec la scie à eau et à sable, et tendres celles qui se laissent couper avec la scie à dents.

On range parmi les premières :

Le liais, le cliquart, la roche, le banc franc, pierres à grain fin et serré, généralement employées pour les parties des édifices qui doivent offrir le plus de résistance.

Et parmi les dernières :

La lambourde, le vergelé ou vergelet, le parmin, le banc royal.

Les pierres de Conflans et de Saint-Leu, pierres à grain plus ou moins grossier, moins résistantes que les précédentes. Elles sont d'un emploi extrêmement répandu dans les édifices particuliers et dans les parties des édifices publics au-dessus des soubassements.

Ces calcaires sont très-abondants dans les environs de Paris et dans le midi de la France. Paris, Marseille, Nîmes, Montpellier, Bordeaux, en sont bâtis. On les trouve aussi, mais moins abondamment, aux environs de Bruxelles, où elles sont employées comme pierres de petit appareil (1). Enfin, c'est aux mêmes formations qu'il faut rapporter la belle pierre de taille connue sous le nom de *travertin*, qui s'exploite dans les environs de Rome, et dont sont construits les monuments anciens et modernes de cette capitale. C'est un calcaire d'un blanc jaunâtre, presque compacte, à cassure inégale et à petits grains, d'une ténacité supérieure à celle du marbre blanc, et dans lequel on remarque toujours de petites cellules assez nombreuses, disposées en lignes régulières.

Les calcaires du terrain parisien sont particulièrement caractérisés par la présence des *cérites*, et surtout de la *cérite géante* (*fig.* 132). Les autres coquilles qu'on y rencontre encore avec abondance sont des *nummulites* (*fig.* 133), des *lymnées* (*fig.* 136), des *foraminifères* (*fig.* 137 et 140), des *crassatelles* (*fig.* 134).

---

(1) Les pierres blanches de grand appareil dont on se sert en Belgique se tirent principalement de France et d'Allemagne. — La colonne du congrès est construite en gros blocs de grès blanc tiré des carrières d'Hertzogenrath près d'Aix-la-Chapelle. A l'église de Laeken, on a fait usage d'un calcaire oolithique provenant des carrières des environs de Tonnerre (Anstrude et Coutarnoux), département de l'Yonne, pour les parties inférieures de l'édifice, de vergelé et d'une espèce de lambourde à grains fins connue sous le nom de *banc royal* pour les parties supérieures. Ces dernières pierres viennent des environs de Creil et d'Auvers (département de l'Oise). Les carrières des environs de Lille (pierres d'Hourdain), de Caen et de Rochefort sont celles auxquelles s'approvisionnent le plus fréquemment les constructeurs belges.

Dans les calcaires du terrain de molasse, on trouve des débris de mastodontes, et un grand nombre d'autres fossiles.

Les *terrains subapennins*, qui viennent ensuite, ne renferment que des bancs peu considérables de calcaire. Ils sont principalement composés de matières sablonneuses ou arénacées.

Enfin, dans le *terrain d'alluvion*, on trouve : 1° le *tuf* ou calcaire cellulaire, résultat d'incrustations calcaires sur des matières d'une nature étrangère et dont les débris sont encore souvent visibles ; 2° les *stalactites* et les *stalagmites*, qui tapissent les grottes et les cavernes naturelles et qui fournissent l'*albâtre calcaire* employé aux travaux de décoration.

22. Qualités et défauts. — Les calcaires donnent, en général, de très-bonnes pierres à bâtir. Comme ils sont presque toujours stratifiés, et facilement attaquables au moyen d'outils en acier, ils sont d'une exploitation, d'un débit et d'une taille faciles. Leur résistance à la pression est assez variable ; on trouvera à cet égard quelques renseignements dans la troisième partie ; ils jouissent assez souvent d'une certaine élasticité. M. Cauchy rapporte (1) qu'il a vu un bloc de calcaire carbonifère de 6 mètres de long sur plus de $0^m,30$ d'épaisseur, extrait des carrières des environs de Namur, fléchir de $0^m,03$ en son milieu lorsqu'il n'était soutenu que par ses extrémités, et se redresser ensuite en ligne droite lorsqu'on plaçait des supports dans les points intermédiaires. Ils adhèrent généralement bien avec le mortier, et forment de bonne maçonnerie.

On rencontre assez souvent des bancs doués d'ailleurs de toutes les bonnes qualités énumérées ci-dessus, mais attaquables par la gelée. On doit éviter d'en faire usage pour les constructions extérieures, mais ils peuvent être d'un très-bon emploi dans les intérieures. L'on rencontre aussi fréquemment des bancs traversés par des fentes remplies d'une substance moins dure ou non adhérente, et formant ainsi ce qu'on appelle des *fils*, des *filets* ou des *limés*. Ces accidents peuvent rendre les pierres très-défectueuses dans certains cas. Il faut en général rebuter celles qui les présentent. Il en est de même des petits amas (*moies*) ou des rognons de matières étrangères, quand ils sont plus tendres ou non adhérents. Les débris fossiles établissent aussi des solutions de continuité souvent nuisibles.

Quand les rognons de matières étrangères sont très-adhérents à la pierre, et font entièrement corps avec elle, il peut leur arriver d'être d'une dureté beaucoup plus grande, et ils offrent alors des difficultés presque insurmontables à la taille, au sciage et au polissage. Les carriers et les marbriers les désignent alors sous le nom de *clous* (2). On appelle *cendrures* ou *terrasses* des fentes ou des cavités remplies d'une substance étrangère pulvérulente. Ce défaut peut être très-nuisible à la solidité des pierres de taille, mais il est surtout très-grave dans les marbres. Quand les

---

(1) Mémoire sur la constitution géologique de la province de Namur.

(2) *Clos*, *clâs* ou *clavias* en wallon.

terrasses sont fort développées, on est obligé de les vider entièrement et de les remplacer par un *mastic* susceptible de recevoir le poli.

Certains bancs de calcaire offrent souvent sur une de leurs faces, quelquefois sur toutes deux, une espèce de croûte sans consistance appelée *bouzin* (1) Le bouzin doit être soigneusement enlevé, ce qu'on stipule dans les contrats de fourniture en disant que les pierres seront *ébouzinées jusqu'au vif*. Le bouzin est surtout commun dans les calcaires des terrains secondaires et tertiaires, il est plus rare dans ceux qui appartiennent au terrain de transition.

23. Usages particuliers. — MARBRES. — Un grand nombre de calcaires jouissent d'une finesse de grain, d'une cohésion et d'une dureté telles qu'ils sont susceptibles de recevoir le poli; ils offrent, en outre, soit par l'effet de corps étrangers engagés dans la pâte, soit par celui de matières colorantes de diverses natures, des effets de lumière ou des assortiments de couleurs agréables à l'œil, qui les rendent propres à la décoration des édifices. Ils prennent alors le nom de *marbres*. Les marbres calcaires sont très-abondamment répandus dans la nature, et leurs variétés sont fort multipliées. On en trouve une nomenclature très-étendue dans Rondelet (*Art de bâtir*, t. I^er^, p. 35 et suivantes). Nous donnons plus loin une liste descriptive des principaux d'entre ceux qui s'exploitent en Belgique, elle est dressée d'après la collection du cabinet de minéralogie fondé à Namur par feu M. Cauchy.

Classification des marbres. — On distingue cinq espèces principales de marbres :

1° Les *marbres simples* ou unicolores, tels que les marbres blancs statuaires, les marbres noirs (parmi lesquels ceux que fournit la Belgique sont particulièrement renommés), les marbres rouges, comme la *griotte d'Italie;* les marbres jaunes, etc., etc.

2° Les *marbres simples veinés*, dont il existe un très-grand nombre de variétés de tous les fonds de couleur. Telles sont le *Sainte-Anne*, qui s'exploite en Belgique, à fond gris et veines blanches; le *grand antique*, à fond noir et veines blanches nettement tranchées; le *portor*, à fond noir et veines jaunes; le *bleu turquin*, à fond bleuâtre et veines plus foncées, etc., etc.

3° Les *marbres brèches*, présentant l'aspect de fragments anguleux de diverses couleurs, engagés dans une pâte d'une teinte différente. Tels sont, parmi les marbres belges, la *brèche* de *Volsort*, à grands fragments gris noirs, blonds, jaunâtres ou rouges, engagés dans une pâte d'un blanc rosâtre.

4° Les *marbres composés*, qui proviennent généralement de lieux où les dépôts de sédiment sont enclavés dans les terrains primitifs. Ces marbres renferment des matières étrangères distribuées par feuillets, par paquets ou disséminées. Tels sont les marbres *cypolins* de la côte de Gênes, qui renferment du mica verdâtre disséminé dans une pâte verdâtre et saccharoïde; les *marbres Campan* des Pyrénées, le vert antique, etc., etc.

5° Les *marbres lumachelles*, qui renferment des coquilles, des madrépores, etc.

---

(1) *Moite pire* (pierre morte) en wallon.

en grande quantité. Tels sont, parmi les marbres belges, le *petit granite* de Ligny, des Écaussines, et un grand nombre d'autres.

24. Chaux. — Tous les calcaires indistinctement sont réductibles en chaux par la calcination.

Composition. — La chaux, à l'état de pureté, est un oxyde de calcium, composé de 71,91 parties de calcium, sur 28,09 d'oxygène. C'est une matière blanche, très-alcaline, infusible aux plus hautes températures, pesant spécifiquement 2,3, et qui jouit de propriétés remarquables, qui la rendent propre à la fabrication des mortiers.

Fabrication. — On se sert assez généralement, pour la fabrication de la chaux, des débris et retailles de pierres provenant soit de l'exploitation, soit du dégrossissement des blocs extraits de la carrière. La calcination s'opère principalement de trois manières, savoir :

En tas ;
Dans des fours à feu continu ou coulants ;
Dans des fours intermittents.

Cuisson en tas. — La cuisson en tas est la plus simple, et on l'emploie très-avantageusement quand on a à produire, sur un point déterminé et passagèrement seulement, des quantités considérables de chaux.

Voici comment on y procède (*fig.* 153, *pl.* II) :

On prépare sur le terrain une aire bien plane et horizontale qu'on entoure de fossés pour l'assécher et conduire, au loin, les eaux pluviales. On trace ensuite sur cette aire un cercle de $2^m,50$ de rayon, et au centre de ce cercle on creuse un puits cylindrique de $0^m,65$ de diamètre et de $0^m,90$ de profondeur. Après cela on enlève toutes les terres qui se trouvent comprises entre le fond du puits et le bord du cercle, de manière à former une excavation tronc-conique. Du fond de cette excavation, on creuse enfin, pour terminer les dispositions préparatoires, une tranchée de $0^m,30$ de largeur au point de départ et qu'on élargit de manière à ce qu'elle ait $0^m,40$ à $0^m,45$ à l'endroit où elle coupe le bord extérieur de l'excavation. On la prolonge au delà de ce dernier point d'une quantité qui varie de $0^m,60$ à 1 mètre. Toute la partie de cette tranchée, comprise dans le cercle, est recouverte de pierres plates posées à claire-voie et de manière à former un canal de $0^m,50$ de hauteur à son débouché et de $0^m,30$ seulement au fond. Ce canal sert à mettre le feu au tas, comme nous l'expliquerons plus loin.

Ces préparatifs terminés, on élève, à partir du fond de l'excavation et légèrement en retraite les unes sur les autres, des couches alternatives de pierres et de menue houille. On donne aux premières couches de pierre $0^m,12$ à $0^m,15$ d'épaisseur seulement, mais on augmente graduellement cette épaisseur, en s'élevant jusqu'à $0^m,30$ ou $0^m,35$.

Les pierres sont placées, dans chaque couche, de champ et de façon à laisser entre elles des interstices par lesquels le feu se propage dans les couches de combustible. On donne à ces dernières $0^m,12$ à $0^m,15$ d'épaisseur, en prenant soin d'employer les parties les meilleures et les plus grosses pour les couches de la base, et les moins bonnes et les plus fines pour les couches supérieures.

Lorsque le tas formé par l'ensemble de ces couches est entièrement terminé, il

offre, au-dessus du sol, la forme d'un tronc de cône de 5 mètres de diamètre à la base 4 mètres au sommet, et de $3^m,60$ à $3^m,80$ de hauteur, terminé par une portion de calotte sphérique.

Afin d'empêcher la déperdition de la chaleur et en même temps que l'action du vent ne rende la cuisson trop irrégulière, on recouvre toute la surface extérieure du tas d'un placage d'argile mêlée de paille hachée et de sable, auquel on donne $0^m,05$ à $0^m,06$ d'épaisseur, et quelquefois encore on recouvre ce placage d'un gazonnage à plat ou d'une enveloppe de grosses pierres de $0^m,30$ à $0^m,40$ d'épaisseur. Dans tous les cas, on contre-butte le pied du tas par un massif de pierres ou de terres disposées en talus suivant les lignes *mn*, *pq*.

Le tas est alors prêt à être mis en feu.

Pour cela, on introduit quelques fagots de brindilles sèches dans le canal porte-feu et on les enflamme. Le feu se communique aux couches les plus voisines de combustible et gagne bientôt de proche en proche. Lorsqu'on s'aperçoit qu'il est bien pris, on remplit le porte-feu avec des pierres qu'on enduit d'argile à l'extérieur, comme le restant du tas.

Le tas reste en feu pendant quatre à cinq jours ; on doit le laisser entièrement refroidir avant de le démolir pour en retirer la chaux.

Cuisson au four coulant. — La cuisson dans les fours *coulants* s'exécute dans des fours qui ont, en général, la forme d'une cuve tronc-conique (*fig.* 154 et 155), dans laquelle on dispose alternativement des couches de pierre calcaire et de menue houille, dans la proportion de 6 parties de pierre en volume sur 1 de charbon de terre. Les pierres sont concassées à grosseur convenable et qui dépasse rarement 8 à 10 décimètres cubes.

On commence l'opération en jetant quelques fagots sur le fond du four, on les recouvre de morceaux de grosse houille, puis on les allume et l'on charge ensuite le restant du four de couches alternatives de pierre et de menue houille, comme on l'a dit plus haut. Le feu se communique de proche en proche à toute la masse, et quand la calcination est assez avancée, ce qui se reconnaît à l'incandescence des parties supérieures et à la cessation de production de fumée, on fait tomber, par les orifices du bas, une certaine quantité de pierre calcinée. L'on remplit ensuite le vide qui s'est formé à la partie supérieure de la cuve, au moyen de nouvelles couches alternatives de pierre et de charbon, comme précédemment.

L'opération se continue ainsi indéfiniment jusqu'à ce que le four exige des réparations.

Les figures 154 et 155 présentent les formes et les dimensions que l'on donne, le plus généralement, aux fours de cette espèce à Namur et à Tournai, où ils sont avantageusement employés depuis un temps immémorial.

Ces formes et ces dimensions, même dans ces localités, sont d'ailleurs extrêmement variables. Il n'y a peut-être pas deux fours exactement pareils. Le diamètre supérieur, le diamètre inférieur, la forme de la surface de révolution de la cuve, sont autant de données qui varient suivant les lieux, le caprice ou le goût du maçon, la qualité de la pierre à cuire, etc., etc.

La forme intérieure de la cuve se fait à vue par le maçon, sans cordeau, sans profil, sans gabarit; elle offre parfois l'aspect de deux cylindres réunis par un tronc de cône, ou d'un tronc de cône réuni à un cylindre, ou enfin une forme encore plus compliquée obtenue, comme dans l'exemple présenté dans la figure 154, par le mouvement d'une courbe qui s'applique d'un côté sur un ovale et de l'autre sur un cercle.

Ces constructions sont presque toujours fort grossières et exigent tous les ans la reconstruction complète de la chemise (parement intérieur) de la cuve, qui est presque toujours en pierres peu résistantes à la chaleur. A Tournai, l'on a substitué, dans quelques fours, une chemise en briques réfractaires à la chemise ordinaire en pierres. On a trouvé que le prix en était triple, mais que, avec quelques légères réparations annuelles, on pouvait le faire durer cinq années, ce qui fait que, malgré leur prix, ces chemises offrent une certaine économie. On obtient d'ailleurs des produits plus considérables et une allure plus régulière.

Ces fours donnent de 30 à 40 mètres cubes de chaux par jour et brûlent 1 hectolitre 1/2 de houille par mètre cube de chaux obtenue. Celui que l'on a représenté (*fig.* 155) sert pour des chaux qui, à l'extinction, rendent 2,2 ou 2,50 du volume primitif; pour les chaux hydrauliques ne foisonnant que de 1,5 à 1,7, on se sert de fours plus petits (1).

Nous indiquons encore (*fig.* 156, 157), d'après Vicat, deux formes de fours coulants employés en France et qui, suivant le dire de l'auteur, fonctionnent parfaitement.

On se sert ordinairement, pour cuire le calcaire par l'un ou l'autre des procédés qu'on vient de décrire, de charbon pyriteux impropre aux usages domestiques et par suite à très-bas prix.

Cuisson en four intermittent. — Dans les deux modes de cuisson précédemment expliqués qui sont presque exclusivement employés en Belgique, le combustible se trouve en contact avec le calcaire ; dans la cuisson en fours intermittents, il en est séparé, et c'est au moyen de la flamme, qu'on fait circuler dans toute la masse de pierre convenablement arrangée, qu'on obtient l'effet désiré. Le combustible dont on se sert dans ce dernier cas est le plus souvent le bois de corde ou de ramilles, quelquefois la tourbe et, plus rarement, la houille à longue flamme.

La figure 158 représente la forme la plus ordinaire des fours dans lesquels s'exécute ce dernier genre de cuisson quand on se sert de bois, et la figure 159 quand on se sert de la tourbe ; ces derniers fours serviraient également bien dans le cas où l'on emploierait de la houille à longue flamme.

Voici l'explication de l'une et de l'autre figure.

Figure 158. *Four intermittent chauffé au bois.*

A. Chambre ou cuve ovoïdale tronquée aux deux bouts, de 4 mètres de haut, 3 mètres de diamètre au milieu, de $1^{m},50$ au gueulard, 2 mètres au fond.

M. Conduit voûté qui amène l'air sous le combustible par le trou *C*.

D. Ouverture par laquelle on jette le combustible.

---

(1) Ces renseignements m'ont été fournis par M. le lieutenant du génie DUMON.

Figure 159. *Four intermittent chauffé à la tourbe.*

A. Cuve ovoïdale dans laquelle on place la pierre à calciner.

B. Cendrier.

G. Grille formée de barreaux mobiles engagés dans les entailles d'un anneau circulaire en fer posé sur une retraite pratiquée dans la maçonnerie du fourneau, et soutenue, dans leur milieu, par une barre transversale et scellée dans les maçonneries.

EE. Seconde retraite en briques de champ destinée à soutenir le pied de la voûte *V* dont il sera question plus loin.

K. OEil ou gueulard du four par lequel on introduit la pierre à calciner et qui donne issue aux produits de la combustion.

L. Chemise intérieure en briques réfractaires.

L'opération se conduit à peu près de la même manière dans les deux fours :

On commence par former au-dessus du foyer une voûte sphéroïde *V* composée de fragments de calcaire, parmi lesquels on a soin de ménager des vides assez nombreux pour que la flamme puisse circuler ; puis on remplit le restant de la cuve de morceaux de pierre concassée comme précédemment, en ayant soin de placer les plus gros morceaux dans la partie centrale où la chaleur est toujours plus intense. Après cela, on allume le feu soit sur l'aire du four, soit sur la grille. D'abord on le conduit modérément afin que les pierres s'échauffent lentement et n'éclatent pas, ce qui pourrait compromettre le succès de l'opération ; on le pousse ensuite graduellement jusqu'au point convenable où on le maintient pendant un certain temps pour le laisser aller ensuite en diminuant, jusqu'à extinction. On laisse après refroidir le four, et on le décharge entièrement pour recommencer une nouvelle opération.

La cuisson au bois dure ordinairement 12 heures ; il faut, terme moyen suivant Dumas (1), 1 stère 85 centièmes de bois de corde pour produire deux mètres cubes de chaux de bonne qualité provenant d'une pierre dure, et, si l'on se sert de fagots, 2 stères et demi par mètre cube de chaux obtenue.

La cuisson à la tourbe demande un temps plus long et elle exige, suivant l'auteur cité (2), 2 stères de tourbe par mètre cube de chaux.

Nous ne parlerons pas des autres moyens de réduire la pierre calcaire en chaux, qui ne sont, pour ainsi dire, qu'exceptionnels. Nous dirons seulement, d'une manière générale, qu'on a souvent utilisé la flamme qui sort des gueulards des hauts-fourneaux et des autres appareils métallurgiques, à produire la calcination, qui s'opère, dans ce cas, sans aucun frais de combustible. Nous renvoyons, pour plus de détails, au *Traité de la Chaufournerie* de Petot, et aux ouvrages spéciaux.

Observation. — La chaux obtenue par ces divers procédés est rarement pure ; le plus souvent, elle est mélangée ou combinée avec d'autres matières qui entraient elles-mêmes dans la composition de la pierre calcaire et qui n'ont pas été détruites par la

(1) Dumas, *Chimie appliquée aux arts*, t. II, p. 485.

(2) *Ibid.*, p. 488.

calcination. Quelques-unes de ces matières ont la faculté de procurer à la chaux des propriétés remarquables et fort utiles aux constructeurs ; mais leur étude trouvera mieux sa place dans la deuxième partie du cours, à l'article de la fabrication des mortiers. Nous dirons seulement ici que l'on désigne sous le nom de chaux *hydrauliques* celles qui ont la propriété de former des mortiers durcissant sous l'eau, et chaux *aériennes*, celles qui donnent des mortiers qui ne peuvent prendre de consistance qu'après une exposition à l'air plus ou moins longue.

II. — DOLOMIE OU CALCAIRE MAGNÉSIEN.

25. Composition. — A l'état de pureté, c'est un double carbonate de chaux et de magnésie, contenant, sur 100 parties, environ 54 du premier et 46 du second.

26. Caractères chimiques. — Soluble, mais beaucoup plus difficilement que le calcaire ordinaire, dans les acides azotique et chlorhydrique ; donne un précipité blanc par l'ammoniaque liquide ; par la cuisson, ne donne qu'une chaux impure.

27. Caractères physiques. — *Densité.* Comme celle du calcaire ordinaire.

Dureté et cohésion. Très-variable; telle, quelquefois, qu'on peut en faire des pavés de route ; d'autres fois assez friable pour être employé sous le nom de *môle* à l'amendement des terres. Généralement, il présente la dureté et la consistance du calcaire ordinaire.

Structure. Compacte, grenue, grossière.

Cassure. Conchoïde.

Couleur. Blanche quand il est pur, souvent grise dans les roches de cette substance.

28. Gisement. — Les calcaires magnésiens se rencontrent principalement dans les terrains intermédiaires et dans le terrain pénéen. Ceux de notre pays, qui alternent avec les calcaires de transition, sont dans le premier cas, tandis que le *magnesian limestone* des Anglais est dans le second. Ils se présentent en couches plus ou moins puissantes, comme le calcaire ordinaire.

29. Qualités et défauts. — Les calcaires magnésiens, lorsqu'ils ont la consistance convenable, donnent de bonnes pierres à bâtir. Cependant ils sont peu employés en Belgique, bien qu'ils y soient assez répandus. Ils ont, en général, les qualités et les défauts des calcaires ordinaires. Souvent ils offrent une apparence tout à fait analogue aux petits granites qui peut-être, sont quelquefois de la dolomie (1).

30. Usages particuliers. — Le calcaire magnésien est parfois assez dur pour être employé en pavés d'une qualité médiocre, et d'autres fois assez réfractaire pour servir aux constructions pyrotechniques. On le désigne vulgairement, dans ce dernier cas, sous le nom de *pierre à feu*.

III. — GYPSE.

31. Composition. — A l'état de pureté, c'est un sulfate hydraté de chaux, contenant, sur 100 parties, 32,91 de chaux, 46,31 d'acide sulfurique et 20,78 d'eau.

---

(1) D'OMALIUS, *Géologie*, p. 313.

32. Caractères chimiques. — Soluble dans cinq cents fois son poids d'eau ; par la calcination donne une espèce de chaux, connue sous le nom de *plâtre*, qui durcit presque instantanément quand on la gâche avec un peu d'eau ; ne fait pas effervescence dans les acides.

33. Caractères physiques. — *Densité*. 2,26 à 2,31

Dureté. Très-tendre, rayé par l'ongle.

Structure. Compacte, granulaire, lamellaire, fibreuse.

Cassure. Conchoïde, droite.

Couleur. Blanche quand il est pur, souvent grise, jaune, rouge ou rose dans les roches de cette substance.

34. Gisement. — Les gypses ne se rencontrent que dans les formations secondaires et tertiaires, où ils se présentent en couches alternant avec des argiles. Celui qu'on exploite dans les environs de Paris, à la butte Montmartre principalement, fait partie du dernier étage supérieur du terrain parisien. Ce gypse est célèbre par les débris de mammifères qu'il contient, et qui ont donné lieu aux travaux si remarquables de l'illustre Cuvier. Il est calcarifère et donne un plâtre très-estimé : c'est de là que lui vient son nom vulgaire de *pierre à plâtre*.

35. Qualités et défauts. — Ces pierres sont généralement trop tendres et trop facilement altérables à l'air pour être employées aux constructions ; lorsqu'on doit s'en servir, il faut les réserver pour les intérieurs.

36. Usages particuliers. — La variété de gypse connue sous le nom *d'albâtre gypseux* est quelquefois employée à la décoration intérieure des édifices ; on s'en est notamment servi de cette manière au pavillon de Tervueren, près Bruxelles. Le gypse est principalement employé à la fabrication du plâtre.

37. Plâtre. — Le plâtre est une substance blanche ressemblant beaucoup à la chaux, mais qui a la propriété très-remarquable de se prendre presque immédiatement en une masse solide, lorsque après l'avoir réduit en poudre fine, on le gâche avec une certaine quantité d'eau. Il paraît n'être rien autre chose qu'un sulfate de chaux dépouillé de toute son eau de cristallisation.

Les fours dans lesquels s'opère, le plus généralement, la cuisson de la pierre à plâtre sont tout simplement formés de trois murs (*fig* 160, *pl.* II), disposés sur les côtés d'un rectangle de 3 mètres de large sur 6 de long, et recouverts d'un toit. La pierre à plâtre y est disposée en tas, sur des canaux voûtés *A*, formés eux-mêmes de pierre gypseuse et qui offrent, vers le haut, des interstices par lesquels la flamme peut circuler. On donne à ces canaux une élévation suffisante pour qu'un homme puisse s'y glisser, en rampant, jusqu'au fond du four. On allume sur le sol de ces canaux un feu de bois que l'on conduit d'abord modérément, mais qu'on pousse ensuite graduellement jusqu'au point déterminé. Les ouvriers reconnaissent que le plâtre est assez cuit en le maniant ; il faut qu'il soit doux au toucher et qu'il s'attache aux doigts. Quand il n'est pas assez cuit, il est aride, et ne forme pas une pâte assez solide ; quand il a été trop cuit, il n'a plus, lorsqu'on le gâche, ce que les ouvriers appellent *d'amour*, c'est-à-dire qu'il n'est pas assez gras.

Le plâtre étant une matière très-avide d'eau, on doit avoir soin de le tenir dans des

lieux parfaitement secs, autrement on s'expose à lui voir perdre bientôt de sa qualité : il est même convenable, pour ce motif, de ne le préparer qu'au fur et à mesure des besoins, lorsque la chose est praticable.

PIERRES SILICEUSES.

I. — QUARTZ OU SILEX PYROMAQUE, VULGAIREMENT PIERRE A FUSIL.

38. Composition. — C'est de la silice plus ou moins pure.

39. Caractères chimiques. — Insoluble dans les acides et inaltérable au feu.

40. Caractères physiques. — *Densité.* 2,81 environ.

Dureté. Très-dur, raye le verre, fait feu sous le choc du briquet.

Structure. Compacte.

Cassure. Largement conchoïde.

Couleur. Blonde plus ou moins foncée.

41. Gisment. — Les silex pyromaques se rencontrent généralement dans les assises supérieures du terrain crétacé, sous forme de rognons tuberculeux de diverses grosseurs ; ils y forment tantôt des bancs entiers et tantôt ils sont seulement disséminés dans la masse de la roche crayeuse.

42. Qualités et défauts. — Ce sont des pierres très-dures et fort résistantes ; faciles à équarrir au marteau. On doit observer que dans cet état elles adhèrent mal au mortier ; mais si l'on a soin de leur laisser l'enveloppe crayeuse qui les entoure ordinairement, cet inconvénient disparaît et l'on peut alors en former des maçonneries d'autant plus solides que les irrégularités des rognons en s'enchevêtrant les unes dans les autres, procurent une excellente liaison. L'on rencontre, sur un très-grand nombre de points de l'Angleterre et de la France, des maçonneries construites de cette manière. Quelquefois les faces qui forment parement sont équarries, tandis que les autres conservent leur irrégulatité naturelle.

43. Usages particuliers. — Leur inaltérabilité au feu permet de les employer à la construction des foyers, leur grande dureté permet d'en faire des pavés de route qui ont l'inconvénient de devenir très-glissants par l'usure. Les Anglais, qui les désignent sous le nom de *flint*, en font un très-grand usage pour la construction des routes *macadamisées*. On les emploie de la même manière dans la Hesbaye où elles sont très-communes.

44. Observation. — Le *jaspe* n'est qu'une variété de silex dans la composition duquel il entre un peu d'alumine et de fer. Le jaspe est employé aux travaux de décoration de la même manière que le marbre. Il en existe en Belgique une espèce qui est très-répandue, c'est le *phtanite* ou *jaspe schisteux*, qui est noir, à structure schistoïde, et qui se rencontre fréquemment, sous forme de *clous* ou de rognons de toute grosseur, dans les bancs du calcaire de transition. On pourrait, dans les lieux où il est fort commun, l'employer à l'empierrement des routes. Il ne paraît pas susceptible d'autre usage.

II. — MEULIÈRE.

45. Composition. — C'est, comme la précédente, une roche composée de silice plus ou moins pure et qui offre les mêmes caractères chimiques.

46. Caractères physiques. — *Dureté.* Très-dure, raye le verre, fait feu sous le choc du briquet.

Structure. Celluleuse.

Cassure. Conchoïde.

Couleur. Rougeâtre ou grisâtre.

47. Gisement. — On trouve des meulières :

1° Dans les assises supérieures du terrain parisien, en amas plus ou moins volumineux, dans des couches de calcaire siliceux.

2° Dans les sables des assises supérieures du terrain de molasse. Ces dernières sont coquillières tandis que les autres ne le sont pas ou que très-peu. Les coquilles les plus communes sont des *lymnées* (*fig.* 136), des *planorbes* (*fig.* 135), des *chara* ou *girogonites* (*fig.* 141).

48. Qualités et défauts. — Les meulières sont d'excellentes pierres à bâtir, faisant très-bien corps avec le mortier qui s'introduit dans les nombreuses cellules dont elles sont traversées en tout sens. Elles sont d'une résistance à toute épreuve, mais parfois d'une exploitation et d'une taille difficiles à cause de leur grande dureté. On emploie, pour en diviser les grandes masses, un moyen fort ingénieux et qui mérite d'être mentionné. Il consiste à faire, sur tout le pourtour du bloc, une rainure étroite et profonde et à y chasser ensuite, avec force, des coins de chêne très-sec. Après cela, on mouille ces coins, et la force d'expansion qui résulte de leur gonflement suffit pour faire éclater la pierre suivant le plan tracé.

On désigne sous le nom de *caillasse* une variété de meulière qui n'est pas celluleuse. Cette pierre, à l'inverse de la véritable meulière, adhère très-mal au mortier. Dans les travaux construits en meulière, on prescrit toujours le rejet de la *caillasse*.

La meulière est fort employée à Paris pour les constructions hydrauliques, les fosses d'aisances, les égouts, etc., les escarpes et contre-escarpes des fortifications de Paris ont leur parement fait avec cette pierre.

49. Usages particuliers. — Excellentes pierres réfractaires, on les emploie à la construction des fourneaux métallurgiques. On en fait un très-grand usage pour fabriquer les meules à moudre le grain.

III. — GRÈS.

50. Composition, caractères chimiques et physiques. — Le grès est une roche entièrement formée de grains de silex ou de quartz plus ou moins gros agglomérés. Il offre conséquemment les caractères chimiques et une partie des caractères physiques des deux espèces précédentes. On trouve des grès de toutes les couleurs, mais le blanc, le jaunâtre, le rougeâtre et le gris sont les plus communs.

51. Gisement. — Les grès se rencontrent comme les calcaires, avec lesquels ils alternent le plus souvent, dans presque tous les terrains de sédiment ; ils y forment des systèmes de couches plus ou moins puissantes et inclinées.

Leur alternance avec les bancs calcaires et les caractères géologiques assignés à ceux-ci, n° 21, suffiront, le plus souvent, pour déterminer à quelle formation ils appartiennent.

On distingue principalement parmi les grès :

1° Le *psammite*, agglomération de grains siliceux réunis par un ciment argileux et souvent parsemé de paillettes de mica (1) ; on le rencontre principalement dans les terrains silurien, dévonien et houiller. Dans ce dernier cas, on le désigne souvent sous le nom de *grès houiller*, *grès des houillères*. Le *vieux grès rouge* (*old red sandstone* des Anglais) est un psammite appartenant au terrain dévonien, très-commun, notamment dans le pays de Galles et dans quelques contrées voisines, où il est fort employé à la bâtisse ; fort répandu aussi en Belgique, comme on le verra plus tard.

2° Le *nouveau grès rouge* (*new red sandstone* des Anglais, *roth Liegende* des Allemands), qui appartient au terrain pénéen. Il est aussi très-commun en Angleterre et dans la Thuringe, où il alterne avec le zechstein.

3° Le *grès des Vosges* ou *grès vosgien*, qui appartient au même terrain, et dont sont formées en grande partie les montagnes des Vosges.

4° Le *grès bigarré*, qui appartient au terrain de trias (*bunter Sandstein* des Allemands), très-développé sur les bords de la Moselle ; il a été employé à la construction des édifices anciens et modernes de Trèves et des environs.

5° Le *grès de Luxembourg* et le *Quader-Sandstein*, ou *grès de Kœnigstein* des Allemands, appartenant aux étages inférieurs des terrains jurassiques ; la forteresse de Luxembourg est bâtie sur un massif de grès de cette espèce. Le Quader-Sandstein se laisse facilement diviser en carreaux plus ou moins parfaits.

6° Le *grès fistuleux*, appartenant au terrain parisien est très-répandu dans les environs de Bruxelles, où on le trouve au milieu des sables en masses tuberculeuses très-irrégulières.

7° Le *grès de Fontainebleau*, qui appartient au même terrain et qui est exploité à Fontainebleau sur une vaste échelle pour la fabrication des pavés.

8° Le *molasse*, grès argileux du terrain de molasse très-commun et d'un usage fort répandu dans les départements du sud-est de la France ; facile à tailler au sortir de la carrière, il ne tarde pas à prendre une grande dureté par l'exposition à l'air.

Toutes ces pierres renferment des débris fossiles fort nombreux et, en général, tous ceux qui sont caractéristiques des terrains auxquels ils appartiennent.

52. Qualités et défauts. — Les grès sont d'une ténacité extrêmement variable ;

---

(1) Silicate d'alumine ferrifère et de potasse, lithine, magnésie, etc., qui se présente souvent dans les roches en petites paillettes brillantes imitant l'or ou l'argent (*or de chat*, *argent de chat*).

tantôt ils sont tellement peu consistants qu'ils s'égrènent sous la simple pression des doigts; tantôt, au contraire, ils sont d'une dureté et d'une ténacité telles, qu'on a peine à les entamer avec les outils les mieux acérés ; tantôt, enfin, ils offrent une consistance qui les rend très-propres à former d'excellentes pierres de taille. Ces pierres sont quelquefois suffisamment réfractaires pour qu'on puisse les employer à la construction des foyers ; en général, elles prennent bien le mortier et forment de bonne maçonnerie (1).

53. Usages particuliers. — Les grès, lorsqu'ils sont trop durs pour être taillés, s'emploient à la confection de pavés qui sont généralement de très-bonne qualité. Suivant M. Coriolis, on ne doit employer au pavage des grandes routes que des grès pesant spécifiquement plus de 2,480 kil. et qui, immergés sous l'eau, n'absorbent, dans vingt-quatre heures, que 12 kilogrammes d'eau par mètre cube. — Les grès servent aussi pour faire des pierres et des meules à aiguiser les outils ; on s'en sert pour polir les marbres : quelquefois ils ont une structure schistoïde assez prononcée pour qu'on puisse en tirer, à peu de frais, des dalles, des carreaux de pavage et même des ardoises grossières.

54. Observations. — Nous rattachons aux grès les roches suivantes qui n'en sont, à proprement parler, que des variétés :

Le *quartz grenu*, qui n'est rien autre chose qu'un grès à tissu très-fin et très-serré ; il est très-abondant dans le terrain silurien de l'Ardenne.

Le *macigno*, qui n'est qu'un psammite plus ou moins mélangé de calcaire ; on le rencontre en très-grande abondance dans le terrain jurassique des Apennins et sur quelques points du territoire belge.

Le *poudingue*, roche formée d'une pâte de psammite dans laquelle se trouvent engagés des cailloux roulés et siliceux de toute grosseur. Le poudingue est très-abondant dans les sédiments anciens.

Le *gompholite* (*Nagel-Flug* des Allemands), poudingue à pâte de macigno assez commun dans les montagnes de la Suisse, où il fait partie du terrain parisien. On en trouve aussi dans plusieurs autres terrains ; le poudingue connu des houilleurs borains, sous le nom de *tourtia*, est un gompholite appartenant au terrain crétacé.

Les grès, en général, sont souvent mélangés de calcaire, qui s'y trouve en plus ou moins grande abondance. On les désigne alors sous le nom de *grès calcarifères* ou de *calcaires silicifères*, selon que l'une ou l'autre des deux substances se trouve prédominante. Ces pierres se dissolvent en partie dans les acides. — On en trouve aussi qui sont fortement imprégnées d'hydrate et d'oxyde de fer, qui les colorent en jaune ou en rouge plus ou moins foncé. Quelques collines des environs de Diest et de

---

(1) Sganzin émet l'opinion contraire (*Cours de Construction*, t. I, p. 8), mais je pense qu'il se trompe. Je cite, à l'appui de celle que je donne, l'excessive dureté d'un grand nombre de ruines de vieux châteaux construits dans l'Ardenne luxembourgeoise avec des pierres de cette espèce, et quelques vieux murs en moellons de psammite du château de Namur que j'ai eu occasion de faire démolir. L'adhérence du mortier aux moellons y était tellement grande que les ouvriers aimaient tout autant briser la pierre que de chercher à la détacher de sa gangue.

Bruxelles sont presque entièrement formées de grès de cette espèce, que l'on désigne sous le nom de *grès ferrifères* ou *ferrugineux*.

Toutes les pierres que nous venons de citer servent d'ailleurs aux mêmes usages que les grès proprement dits. Les poudingues sont quelquefois employés, en outre, à la fabrication des meules à moudre le grain et à la construction des creusets de hauts-fourneaux.

IV. — SCHISTE.

55. Composition. — Les pierres auxquelles on donne le nom de schistes sont des silicates à bases diverses, mais le silicate d'alumine est celui qui y domine le plus. Elles ne font point effervescence avec les acides.

56. Caractères physiques. — Les schistes se distinguent par leur aspect terreux ou satiné, leur fissilité en lames, esquilles ou feuillets, leur peu de dureté qui permet toujours à une pointe d'acier de les entamer. Ils ont souvent une apparence qui pourrait les faire prendre pour des argiles, s'ils n'étaient pas privés de la faculté de se délayer dans l'eau.

57. Gisement. — Ils sont très-communs dans la nature et se présentent en couches plus ou moins épaisses, alternant avec des grès ou des psammites auxquels ils passent par une foule de nuances. On doit principalement distinguer les *schistes argileux* et les *schistes-ardoises*. Les premiers sont particulièrement développés dans le terrain houiller et dans le terrain dévonien, et les seconds, dans les terrains silurien et cambrien. Ceux-ci sont seuls employés aux constructions ; les autres ne le sont point ou que très-peu, à cause de leur grande altérabilité à l'air. Très-durs au sortir du sein de la terre, quelques jours d'exposition à l'air et au soleil suffisent pour les réduire en poussière. Outre cette propriété caractéristique, les schistes argileux du terrain houiller se distinguent assez aisément des *schistes-ardoises*, 1° par leur moins grande dureté, qui est telle, très-souvent, qu'on peut les rayer par le cuivre ; 2° par leur couleur, qui est souvent d'un gris plus foncé et qui devient même tout à fait noire à l'approche des couches de houille; 3° enfin par de nombreuses empreintes de végétaux et notamment de joncs, de bambous ou de fougères (*fig.* 52 à 56) qu'on remarque à la surface de leurs feuillets, caractère dont sont totalement dépourvus les *schistes-ardoises*.

On trouve des schistes-ardoises en France, en Allemagne, en Angleterre, dans une grande partie de la Belgique et dans presque tous les pays du monde. Les schistes argileux sont aussi très-communs ; ils sont très-abondants en Belgique, comme nous le verrons plus tard.

58. Usage. — Les schistes-ardoises donnent des moellons et des pierres de taille de médiocre qualité, ainsi que des dalles de pavement fort belles. Quand leur fissilité commence à devenir assez prononcée, on en fait des espèces d'ardoises grossières appelées *faiseaux* ou *cherbains*. Enfin, quand cette fissilité est très-marquée, on en fait des ardoises, et c'est là leur principal usage.

59. Qualités et défauts. — La commission des matériaux indigènes (1) spécifie

(1) Cette commission était composée de feu M. CAUCHY, ingénieur en chef des mines, ROGET, ingénieur en chef des ponts et chaussées, et feu G. DANDELIN, colonel du génie.

ainsi qu'il suit les qualités essentielles d'une bonne ardoise, et la manière de les reconnaître *à priori :*

« 1° L'*homogénéité* est certainement une des conditions qui influent le plus sur la « solidité et sur la résistance aux phénomènes atmosphériques, dans les ardoises « comme dans toute autre espèce de matériaux.

« Il est essentiel qu'elles ne renferment point de ces substances susceptibles de se « décomposer à l'air, qui finiraient, par conséquent, par laisser des trous à leur « place. Celle de ces substances qui se trouve le plus fréquemment dans les ardoi- « ses est la pyrite de fer ; mais il faut distinguer soigneusement les deux variétés que « reconnaissent les minéralogistes et que doivent également bien discerner certains « industriels. En effet, celles qui sont jaunes et fort brillantes, surtout lorsqu'elles « sont cristallisées, ne s'effleurissent jamais à l'air et n'y éprouvent d'autre altération « que celle de se convertir à la longue, et à leur surface seulement, en hydrate de « fer, tandis que celles qu'on nomme blanches, bien qu'elles soient plus souvent « grises et qu'elles aient même encore quelquefois une teinte jaunâtre, s'effleurissent « très-promptement en une poudre blanchâtre et soluble dans l'eau de sulfate de « fer.

« 2° Elles doivent avoir un *grain fin et serré*, et, par suite, ce *luisant* que l'on re- « cherche généralement dans les ardoises. C'est sans doute de ces conditions que « dépendent principalement leur imperméabilité à l'eau, qui doit à la longue, par sa « congélation et son évaporation, les altérer couches par couches, écailles par « écailles, comme nous le remarquons sur nos toits, à la suite des hivers longs et ri- « goureux, et l'impénétrabilité aux graines de petites plantes (mousses, lichens, etc.) « que nous voyons souvent recouvrir nos toits et qui en accélèrent promptement la « destruction, en désagrégeant l'ardoise, et en y entretenant une humidité constante.

« 3° Le *long grain* (série de stries à peu près parallèles qu'on remarque dans toutes « les ardoises) doit être parallèle à leur longueur. On remarque en effet que les ar- « doises se laissent casser plus facilement dans un sens parallèle au long grain que « dans tout autre ; et l'on conçoit aisément, d'après la manière dont elles sont dispo- « sées sur un toit, que c'est dans le sens de leur largeur qu'elles doivent présenter la « plus grande résistance à la cassure. On peut en outre remarquer que, quand le long « grain est parallèle au long côté, si l'ardoise vient à casser, il y a bien peu de chan- « ces que la rupture ait lieu précisément dans un plan vertical passant par le joint « inférieur ; et il est d'ailleurs à présumer que chacun des deux morceaux restera « fixé encore à un clou, si l'on a eu soin d'en mettre au moins deux à chaque ardoise. « Quand le long grain est perpendiculaire au long côté (on dit alors que l'ardoise est « *traversine* ou *traversière*), elle cassera, suivant toutes les probabilités, entre les « clous et le *pureau* (1), de manière que le morceau inférieur se détachera et que la « pluie pourra entrer par les deux joints (supérieur et inférieur), mis en partie à « découvert. Quand le long grain a une position intermédiaire entre les deux que nous

(1) On appelle *pureau* la partie vue de chaque ardoise posée sur le toit.

« nons d'indiquer (on dit alors que l'ardoise est *biaise*), elle se trouvera dans les « conditions de minimum de solidité ; il s'en détachera facilement des coins qui « tomberont, et il pourra en résulter les mêmes inconvénients que de la rupture « d'une ardoise traversière ; mais il paraît que c'est principalement dans les transports « que ces ardoises souffrent beaucoup.

« Du reste, la bonne position du long grain dépend souvent de l'ouvrier qui façonne « l'ardoise ou de l'entrepreneur qui le paye ; mais il faut quelquefois, pour l'obtenir, « subir un déchet considérable. En effet, le banc d'ardoises se divise souvent, par « suite de sa structure toute particulière ou bien à cause des fissures à peine visibles « qui en interrompent à chaque instant la continuité, en fragments irréguliers d'une « surface assez petite, pour qu'on ne puisse en obtenir qu'une pile d'ardoises dont le « long grain est oblique ou perpendiculaire à leur longueur, ou bien une pile d'ar- « doises dont le long grain est parallèle à leur longueur, avec un morceau dont on ne « pourra plus tirer bon parti, tandis qu'il est possible d'en extraire deux piles d'ar- « doises défectueuses sous le point de vue qui nous occupe; et dans ce dernier « cas, le fendeur a trop d'intérêt à adopter le second parti pour songer même au « premier.

« 4° Nul doute que la matière des ardoises ne doive être assez *dure* pour qu'elle « puisse résister longtemps aux frottements continuels que doivent leur faire subir le « vent et la pluie. Cette dureté doit aussi être assez grande pour empêcher les trous « des clous de s'agrandir trop vite, sous la double influence du ballottement et de la « rouille des clous.

« 5° Les ardoises doivent avoir cette *ténacité* et cette *élasticité* qui, étant les con- « ditions principales de leur solidité, font qu'elles résistent aux chocs pendant le « transport, aux mouvements de la volige, à l'effet des ouragans, de la grêle, au poids « de la neige, à celui des échelles et des couvreurs.

« Les qualités que nous venons d'énumérer sont, selon nous, celles qui donnent aux « bonnes ardoises la *sonorité* métalloïde qu'elles présentent, après quelque temps « d'exposition à l'air, et dans laquelle nous reconnaissons avec tous les praticiens un « des meilleurs caractères de leur bonté.

« C'est sans doute aussi de ces qualités réunies que dépend, dans les ardoises, la « double propriété de se laisser tailler facilement, à vives arêtes, de manière que le « déchet à la taille et à la retaille est, pour ainsi dire, nul, et de se laisser percer d'un « nombre, pour ainsi dire, indéfini de trous, ce qui facilite la pose, permet de les « remployer un grand nombre de fois et diminue, par conséquent, les frais de con- « struction et de réparation des toits.

« 6° Elles doivent être *planes* et *unies*, ce qui permet de les appliquer bien exacte- « ment les unes sur les autres, et les empêche de donner accès au vent et à la pluie « qui, non-seulement nuisent aux édifices qu'elles sont appelées à garantir, mais accé- « lèrent aussi la destruction des toits et celle des ardoises elles-mêmes.

« 7° *Dimensions*. L'examen des formes et des dimensions en surface les plus con- « venables aux ardoises, est une des questions les plus compliquées que présente « l'art du constructeur. Nous ne l'aborderons pas et nous nous bornerons à faire con-

« naître la grande diversité qu'offrent, sous ce rapport, les ardoises que nous con-
« naissons.

« Les ardoises anglaises qui sont importées en Belgique et qui proviennent, dit-on,
« de deux localités (le Bangor et le Westmoreland), se font remarquer par leur grande
« surface. Il y en a six modèles dont voici les noms et les dimensions :

Doubles	25	sur 15	centimètres.
Ladies'	38	— 20	—
Countess'	56	— 33	—
Duchess'	66	— 38	—
Rags and queen's	99	— 69	—
Impérial and patent	81	— 66	—

« Les ardoises d'Angers, qui ont été longtemps employées en France, sont aussi
« fort grandes ; celles que l'on façonne à Fumay et en Belgique sont généralement
« beaucoup plus petites. Le tableau ci-après fait connaître les noms, la longueur et la
« largeur en pouces de France et en centimètres, des différents modèles que nous
« connaissons, le nombre d'ardoises de la plupart d'entre eux nécessaires pour couvrir
« un mètre carré de toit, et le nombre de mètres carrés de toit que l'on peut façonner
« avec un mille de quelques-uns d'entre eux (1).

NOMS.	LONGUEUR.		LARGEUR.		NOMBRE		POIDS
					au mètre carré.	de mètres carrés couverts par un mille.	approximatif du mille.
	Pouces.	Centim.	Pouces.	Centim.			kilogrammes.
Sans mesure	11 à 12	(30 à 33)	8 à 9	(22 à 25)	45	22,75 à 24	350 à 400
Carré fin (modèle d'Angers)	11	(30)	8	(22)	»	»	»
Grand Saint-Louis	11	(30)	7	(19)	54	»	»
Grandes voisines (à Viel Salm)		(28 ½)		(17 ½)	»	»	350 à 400
Grandes communes	10	(27)	7	(19)	68	15 à 15,50	325
Flamandes et blocs (flamandes épaisses)	10	(27)	6	(16)	85	12 à 13	245 à 250
Moyennes voisines (à Viel-Salm)		(23)		(15)	80	»	»
Grandes et petites flamandes	9	(24)	5	(13)	110	8 à 9	»
Petites communes	9	(24)	4	(11)	»	»	»
Petites	8 à 8 ½	(22 à 23)	4 à 4 ½	(10 à 11)	135	7 à 8	»
Petites voisines (à Viel-Salm)		(18 ½)		(11 ½)	128	»	»

(1) J'ai ajouté à ces renseignements le poids du mille de quelques-uns des modèles portés dans le tableau, poids que la commission donne dans une autre partie de son rapport.

« Quant à l'*épaisseur*, elle doit être suffisante et uniforme, car il est bien évident « que la solidité et la durée des ardoises dépendent, jusqu'à un certain point, de « cette dimension. C'est ce que savent fort bien les Anglais qui donnent à leurs ar- « doises une très-grande épaisseur ; mais c'est ce que méconnaissent, depuis long- « temps, les propriétaires des ardoisières d'Angers, et ceux de Fumay tendent mal- « heureusement à les imiter, en diminuant, pour ainsi dire tous les jours, l'épaisseur « de leurs ardoises.

« D'un autre côté, la finesse d'une ardoise est en raison directe de la *fissilité* de la « pierre qui l'a fournie, et dénote, par conséquent, le degré auquel celle-ci possède « la première des qualités requises pour pouvoir être débitée en ardoises ; mais on « peut dire de cette qualité, comme de bien d'autres, que poussée à l'excès elle de- « vient un défaut, car elle permet aux ouvriers fendeurs, qui sont payés au mille, « d'obtenir dans un bloc un trop grand nombre de feuilles, trop minces pour qu'elles « présentent encore toutes les garanties désirables de solidité et de durée. On con- « vient assez généralement aujourd'hui qu'une ardoise de la dimension dite *flamande* « doit avoir une ligne de France ou 2 $^1/_4$ millimètres d'épaisseur ; mais les avantages « que présentent la confection et le transport des ardoises plus minces portent « malheureusement à s'écarter trop souvent de cette règle. Les consommateurs « devraient donc toujours convenir du poids du mille d'ardoises qu'ils achètent.

« 8° *Couleur*. La couleur de l'ardoise est considérée par la plupart des consom- « mateurs comme un caractère de première valeur ; et parce qu'ils ont reçu pendant « longtemps de Fumay d'excellentes ardoises d'une teinte violacée, et qu'il leur en « est venu, de cette localité comme de plusieurs autres, de très-médiocres, ou même « de fort mauvaises, d'une couleur grise très-foncée, ils ont admis comme un axiome « que la couleur noire est l'indice certain de la plus mauvaise qualité d'ardoises ; « mais cette teinte est celle de certaines ardoises d'Angleterre, qui sont réputées fort « bonnes, et celle de la plupart des ardoises belges, parmi lesquelles il en est qui peu- « vent rivaliser avec les meilleures de Fumay.

« Nous ne pouvons donc attribuer à la couleur une aussi grande importance, et « nous pensons qu'elle ne peut influer que sur la beauté des toits, de manière qu'elle « ne doit guère être prise en considération que quand il s'agit de réparations ; car il « convient alors de choisir une ardoise qui ait à peu près même nuance que celles « dont le toit est déjà composé. Une observation analogue est applicable aux ardoises « versicolores, qui font un assez mauvais effet sur un édifice important dont le toit « n'est pas caché. »

Il serait difficile d'ajouter quelque chose à toutes ces considérations aussi justes que bien exposées.

60. Observation. — Le schiste se mélange quelquefois de calcaire et forme alors une roche à laquelle les minéralogistes donnent le nom de *calschiste*. Le calschiste lorsqu'il est cuit à point donne, en général, une matière très-hydraulique et très-utile, par conséquent, pour la fabrication des mortiers qui doivent être employés sous l'eau ou dans des lieux humides.

Les deux espèces de pierres que nous venons d'étudier en dernier lieu (grès et schistes) qui, comme nous l'avons déjà signalé, passent fréquemment de l'une à l'autre, forment le système de roches que les Allemands appellent *Grauwacke ;* nom sous lequel elles sont souvent désignées dans les auteurs qui traitent des constructions.

V. — GRANITE.

61. Composition. — Caractères chimiques et physiques. — Le granite est une roche à structure cristalline, composée de quartz, de feldspath (1) et de mica, dans laquelle ces trois substances se trouvent plus ou moins intimement mélangées, mais sans cesser d'être assez facilement discernables à l'œil. Le mica se distingue, tout d'abord, par son apparence en petites paillettes miroitantes, ordinairement noires, disséminées dans toute la masse. Le quartz et le feldspath sont plus difficiles à distinguer l'un de l'autre. Voici quelques indications fort simples qui suffiront pour y parvenir dans tous les cas :

1° Très-souvent, dans les affleurements, le feldspath est décomposé et se présente alors sous la forme d'une matière blanche pulvérulente, tandis que le quartz a conservé toute sa dureté.

2° Vu à la loupe, ce dernier présente une cassure irrégulière et vitreuse, tandis que le feldspath offre une série de surfaces planes et miroitantes dues à sa structure laminaire.

3° Le feldspath est fusible au chalumeau sur ses bords minces, tandis que le quartz est tout à fait inattaquable.

4° Enfin, soumis à l'action du chalumeau après avoir été, au préalable, humecté d'une dissolution concentrée d'azotate de cobalt, un fragment de feldspath devient bleu en se refroidissant, tandis que, dans les mêmes circonstances, un fragment de quartz conserve sa couleur primitive.

Les granites sont des pierres très-dures, faisant feu sous le choc du briquet; à cassure droite ou largement conchoïde ; ils sont généralement gris ou rougeâtres.

62. Gisement. — Le granite se présente fréquemment en masses considérables non stratifiées, ayant la forme de buttes souvent recouvertes de débris désagrégés et réduits à l'état sableux. D'autres fois, on le trouve intercalé en coulées ou en filons plus ou moins considérables dans les terrains sédimentaires dont il se distingue facilement; il est très-commun dans toutes les parties du globe, mais inconnu en Belgique. La France en possède des carrières importantes en Bretagne, en Auvergne, en Bourgogne, dans les Vosges, dans les Alpes et les Pyrénées.

63. Qualités et défauts. — Le granite est, sans contredit, une des meilleures pierres à bâtir connues ; mais son mode de gisement et sa grande dureté le rendent presque toujours d'une exploitation et d'une taille difficiles et coûteuses. Toutefois, à raison même de sa manière d'être dans la nature en masses non divisées, on peut en

(1) Silicate à base d'alumine et de potasse.

extraire des blocs beaucoup plus considérables que ceux qu'on tire, en général, des roches stratifiées.

64. Usages particuliers. — On le réserve particulièrement pour les ouvrages qui doivent offrir une grande résistance aux vagues de la mer ou à toute autre cause destructive très-puissante. Les Anglais l'ont employé à la construction de leurs grands ponts sur la Tamise et de quelques édifices publics. La plupart des pavés de la ville de Londres sont en granite, et un grand nombre de routes macadamisées sont faites avec des pierres de même espèce. Les Français en font un usage plus restreint, bien qu'il soit assez commun sur leur territoire ; ils en font principalement des bordures de route, des trottoirs, des bornes, des chasse-roues, etc. Le granite est surtout très-propre aux constructions monumentales. Les Egyptiens et les Romains en ont fait souvent usage ; on cite des monuments qui datent de plus de trois mille ans et dans lesquels on ne remarque pas d'altération sensible.

Le granite est souvent susceptible de recevoir un beau poli, et il donne alors ce qu'on appelle un *marbre dur*. Il résiste bien au feu et sert à la construction d'appareils pyrotechniques.

65. Observation. — La composition des granites peut subir des modifications plus ou moins importantes, par l'absence de quelques-uns des principes constituants et leur remplacement par d'autres ; les minéralogistes appellent :

Gneiss, une variété de granite d'apparence feuilletée, due à l'abondance du mica ;

Protogyne, une autre variété dans laquelle le mica est remplacé par du talc ou de la stéatite (silicate de magnésie) ;

Arkose, une roche composée, comme le granite, de quartz et de feldspath, mais dans laquelle on ne remarque pas de mica ; les poudingues quartzeux et les grès renferment quelquefois du feldspath et passent ainsi à l'arkose. On en trouve de cette espèce sur quelques points de la Belgique ;

Hyalomycte, une roche composée de quartz et de mica. Quand elle est d'apparence feuilletée, elle prend le nom de *micaschiste*.

VI. — PIERRES FELDSPATHIQUES.

66. Composition et caractères. — Ce sont des silicates simples ou des mélanges très-compliqués de silicates à bases diverses, remarquables par leur fusibilité au chalumeau en émail blanc ou en verre bulleux, et presque toujours, par une excessive dureté jointe à une très-grande ténacité. On distingue principalement parmi les pierres de cette espèce l'eurite, le porphyre, la siénite, le diorite et le trapp.

L'*eurite* n'est rien autre chose qu'un feldspath compacte ou grenu, jouissant de toutes les propriétés de cette substance.

Le *porphyre* est une eurite dans laquelle se trouvent disséminés des cristaux de feldspath plus pâles que le fond, qui est rouge, brun, noir ou vert.

La *siénite*, un porphyre dans lequel les cristaux de feldspath sont remplacés par

de l'amphibole (1) ; à cette différence près, elle offre tous les caractères du porphyre.

Le *diorite*, une siénite dans laquelle il y a simplement changement de rôle entre les deux substances ; la pâte est d'amphibole, les cristaux engagés sont de feldspath.

Le *trapp*, un diorite dans lequel les deux substances composantes sont indiscernables à l'œil. Cette dernière roche est souvent confondue avec le basalte.

67. Gisement. — Ces diverses roches ont un gisement tout à fait analogue à celui des granites, mais elles ont cependant plus de tendance à se présenter en dykes souvent très-considérables. Elles sont aussi très-répandues dans toutes les parties de l'Europe.

68. Qualités et défauts. — Les porphyres et les siénites sont les pierres les plus durables connues, mais elles sont bien souvent encore plus difficiles à exploiter et à tailler que les granites ; elles prennent d'ailleurs mal le mortier. Les diorites et les trapps sont à peu près dans le même cas.

69. Usages particuliers. — Les anciens ont souvent employé les porphyres et les siénites dans leurs monuments; ils en faisaient des colonnes, des autels, des baignoires, des urnes sépulcrales, des tables, etc.

De nos jours, on ne les emploie presque plus aux mêmes usages, à cause de la difficulté de leur taille et de leur cherté ; mais on en fait souvent des pavés fort solides ou des moellons. Les pavés verdâtres que l'on remarque dans les rues de Bruxelles sont des diorites ou des porphyres qu'on extrait dans les environs de Quenast et de Lessines. Les porphyres et les siénites sont susceptibles de recevoir un beau poli et donnent des marbres durs fort estimés.

VII. — SERPENTINE.

70. Composition et caractères. — Les serpentines sont des mélanges de silicate et d'hydrate de magnésie, souvent solubles en partie dans les acides. Ce sont des matières compactes, tendres, mais tenaces, à cassure plus ou moins esquilleuse et d'un éclat gras, dont la poussière, et souvent la masse même, est grasse au toucher.

Les couleurs de la serpentine, généralement sombres, varient du vert au noir et au brun plus ou moins foncé. Toutes les teintes se trouvent souvent réunies par taches, par espèces de veines sur le même échantillon, ce qui donne à la matière quelque ressemblance avec une peau de serpent. On nomme, en général, *serpentines nobles*, les variétés dont les couleurs sont plus vives et plus tranchées et qui ont un certain degré de translucidité.

71. Gisement. — Analogue à celui des granites, porphyres et autres roches de ce genre. Ces matières sont fort abondantes à la surface de la terre ; il en existe en Bretagne, en Limousin, dans les Pyrénées ; les Alpes en renferment dans un très-grand nombre de lieux, et surtout dans les parties qui regardent l'Italie ; toute la côte de

(1) Silicate double de magnésie et de chaux, fusible au chalumeau en émail, opaque ou translucide ; devenant rouge par le refroidissement quand on l'a humecté d'azotate de cobalt.

Gênes en est pour ainsi dire formée. La Saxe en présente des dépôts considérables, surtout aux environs de Zœblitz. L'Angleterre, l'Écosse, l'Amérique septentrionale, etc., en offrent également beaucoup ; on en cite en Afrique, en Asie, etc.

72. Usages particuliers. — Employées comme marbres très-estimés, à la décoration intérieure des édifices. On en fait des colonnes, des garnitures de cheminée, des plaques de revêtement, etc., etc.

VIII. — PIERRES VOLCANIQUES.

73. Composition et caractères. — L'on désigne sous le nom de *volcaniques* toutes les pierres d'origine évidemment ignée et qui offrent bien visiblement des traces de fusion ou de l'action du feu. Ce sont, en général, des mélanges intimes, mais très-variables, de silicates de diverses bases (alumine, magnésie, chaux, potasse, fer), fusibles à un feu violent.

Nous rangeons parmi ces pierres :

1° Le *basalte*, pierre de couleur noire ou tirant sur le noir, à surface mate, à structure compacte, quelquefois un peu lamellaire, plus souvent un peu grenue, difficile à casser, très-dure, rayant le verre et faisant feu sous le choc du briquet, agissant quelquefois sur l'aiguille aimantée ; fusible, à une haute température, en émail noir.

2° Les *trachites* et les *laves*, pierres compactes, grenues, grossières ou celluleuses, d'un aspect mat et rugueux, ressemblant souvent à des scories de forges, de couleurs variées, unies ou bigarrées, très-dures et souvent tenaces, rayant le verre.

3° Les *ponces*, qui se distinguent par leur texture poreuse et fibreuse tout à la fois, à pores allongés dans le sens des fibres, d'un éclat nacré, âpres au toucher et fort légères.

74. Gisement. — Le basalte offre souvent une disposition remarquable ; il forme d'énormes massifs de colonnes prismatiques plus ou moins régulières à trois, quatre, cinq et six pans, accolées les unes aux autres et présentant l'aspect d'immenses monuments d'architecture ou de ruines imposantes. Ces massifs sont souvent désignés sous le nom de *Chaussées de géants*. D'autres fois, il présente la structure schistoïde à un assez haut degré pour être aisément débité en plaques minces servant à la couverture des toits.

Quant aux autres roches, elles forment quelquefois à elles seules d'immenses chaînes de montagnes (les Andes dans l'Amérique méridionale, les monts Dômes en Auvergne, les Sept-Montagnes dans la Prusse rhénane) ; d'autres fois, on les observe sous forme de coulées partant d'un ancien cratère et s'étendant plus ou moins loin sur le terrain sous-jacent, suivant la pente du sol. Ces roches sont inconnues en Belgique, mais elles sont très-communes en France, en Allemagne, en Italie, etc., etc.

75. Qualités et défauts. — Les basaltes sont généralement trop durs pour être taillés aisément, et ils adhèrent mal au mortier ; aussi ne les emploie-t-on aux maçonneries que là où ils sont très-communs, et à défaut d'autres pierres.

Quant aux autres roches volcaniques, elle offrent souvent, au contraire, toutes les conditions désirables pour faire d'excellentes pierres de taille et autres.

76. Usages particuliers. — La forme prismatique qu'affectent parfois les basaltes, jointe à la faculté qu'ils ont de pouvoir aisément être divisés en tronçons, les rend très-propres à être employés sous forme de bornes, chasse-roues, pavés et carreaux de pavement, d'une mise en œuvre fort commode à cause de leur régularité. Certaines espèces de trachytes ou de laves sont suffisamment dures pour donner de bonnes meules à moudre le grain ou les écorces.

C'est une pierre de cette espèce qui est connue dans le commerce sous le nom de *pierre meulière* du *Rhin*, ou d'*Andernach*, lieu de son exploitation.

Enfin, réduites en poudre, la plupart de ces matières ont la propriété de rendre plus ou moins hydrauliques les mortiers dans la composition desquels on les fait entrer.

77. Observations. — Les minéralogistes distinguent encore un grand nombre d'autres pierres plus ou moins susceptibles d'être employées à la bâtisse ; mais nous croyons superflu d'entrer dans de plus grands détails. Celles que nous avons étudiées sont les plus usuelles, et d'ailleurs la plupart des espèces que nous passons sous silence n'en sont, bien souvent, que des variétés assez mal déterminées. Ceux qui voudront acquérir une plus ample connaissance à ce sujet, pourront consulter les ouvrages spéciaux qui traitent de ces matières.

BITUME.

Nous ne pouvons toutefois nous dispenser de mentionner encore une substance qui joue un certain rôle dans les constructions, et qui paraît se rapporter plus à cette catégorie de matériaux qu'aux suivantes ; nous voulons parler du *bitume*.

78. Caractères distinctifs. — Les bitumes sont des corps tantôt liquides, souvent visqueux, tantôt solides ; exhalant naturellement ou par le frottement une odeur particulière et presque aromatique ; brûlant avec flamme, une fumée épaisse, et répandant alors une odeur très-pénétrante et très-caractéristique.

79. Gisement. — Ces matières sont assez rarement isolées dans la nature ; le plus souvent elles imprègnent la plupart des pierres que nous avons étudiées précédemment, en plus ou moins grande quantité, et quelquefois à tel point qu'elles en suintent naturellement sous forme de gouttelettes ou de veines liquides. Les roches qui présentent le plus souvent cet accident sont les calcaires, les grès, les schistes, les psammites et quelques pierres volcaniques. Les houilles en contiennent aussi une quantité variable.

80. Usages. — Les bitumes s'emploient de deux manières différentes :

1° A l'état liquide, comme enduits conservateurs des charpentes et des ferrures principalement ; on les désigne alors sous les noms de *malthe* ou de *goudron minéral*.

2° A l'état de mélange avec des poudres calcaires. Ils forment, dans ce dernier cas, des *mastics* fusibles à une assez faible température et applicables à une foule d'usages économiques. Les mastics dits de Seyssel, de Lobsann, de Rabonneau, dont on fait les dallages dits d'*asphalte*, ne sont rien autre chose que des mélanges de cette espèce

fabriqués et mis en œuvre par des procédés qui seront décrits dans la deuxième partie du cours.

Le malthe ou goudron minéral se recueille, dans un grand nombre de localités, des roches dont il suinte naturellement ; mais on l'obtient plus souvent par la distillation de ces mêmes roches.

ARTICLE III.

RESSOURCES DE LA BELGIQUE EN PIERRES A BATIR.

81. — Nous avons, dans ce qui précède, envisagé les pierres à bâtir de la manière la plus générale, indiquant, en passant, les espèces que renferme le sol belge ; mais ces notions ne sauraient donner une idée suffisante des ressources du pays.

Nous allons maintenant nous occuper de remplir cette lacune.

Pour cela, il y a deux marches à suivre.

La première consisterait à énumérer nos principales carrières, à indiquer leur importance, le nombre, l'épaisseur et la bonté relative des bancs exploités, etc. Mais on conçoit sans peine que de pareils détails statistiques ne peuvent trouver place dans un cours. En second lieu, il est à remarquer que cette énumération sèche et aride, quoique d'un très-grand intérêt sans aucun doute, n'atteindrait que fort imparfaitement le but que nous nous proposons ; elle ne nous donnerait des indications que sur un très-petit nombre de points du territoire, et combien n'en laisserait-elle pas en dehors sur lesquels on peut être appelé à opérer !

La seconde consiste à donner une description assez exacte de la constitution géologique du sol ; elle est incontestablement bien plus complète que l'autre, en même temps que bien plus propre à fixer les faits dans l'esprit. Elle n'exclut pas d'ailleurs les détails précédemment indiqués ; au contraire, elle leur offre un cadre dans lequel ils viennent se classer tout naturellement et qu'on pourra compléter autant qu'on le voudra. Mais un immense avantage qu'elle présente surtout sur la précédente, c'est de révéler, dans bien des cas, des ressources dont le vulgaire ne soupçonne même pas l'existence. Souvent un ingénieur, tant soit peu géologue, saura qu'il suffit d'ouvrir le sol que d'autres foulent avec insouciance pour y trouver des matériaux qu'on va chercher au loin et à grands frais, ou pour remplacer par des pierres excellentes, de mauvaises pierres que la routine exploite et emploie de temps immémorial. Outre cela, la connaissance de la constitution géologique du sol sera d'une grande utilité, lorsqu'on devra faire un projet de route, de chemin de fer, de canal, de forteresse ou de tout autre ouvrage important dans l'une ou l'autre partie du royaume ; elle permettra de préjuger les difficultés qu'on aura à vaincre, et des ressources que pourront offrir les déblais mêmes qu'il faudra effectuer.

C'est cette dernière marche que nous adopterons ; toutefois, nous devons poser des limites à notre étude, car si nous voulions la faire complète, il nous faudrait rapporter en grande partie les savants écrits de MM. d'Omalius, Cauchy, Drapiez, Dumont, Steininger, Galeotti, et autres, ou tout au moins copier, presque en son entier, l'excellent

résumé de M d'Omalius, intitulé : *Coup d'œil sur la géologie de la Belgique.* Nous tâcherons, dans ce qui va suivre, tout en condensant la matière, de n'omettre aucun fait qu'il nous importe de connaître, et nous renvoyons pour plus de détails aux ouvrages des géologues cités plus haut.

82. Idée générale de la constitution géologique du sol. — Le sol de la Belgique est formé de trois grands dépôts très-distincts et qui offrent, sous le rapport qui nous occupe, des ressources bien différentes. Ils divisent le territoire en trois zones limitées ainsi qu'il suit (*pl.* V) :

La première est comprise entre la mer du Nord et une ligne passant aux environs de Tournai, Ath, Hal, Nivelles, Wavre, Gembloux, Perwez, Avesnes, Bodegnée, Liége, Herve et Verviers ; c'est-à-dire qu'elle renferme les deux Flandres, les provinces d'Anvers et du Limbourg, presque la totalité de celle du Brabant, et une partie de celles du Hainaut, de Namur et de Liége.

La seconde est contiguë à la précédente et elle est limitée au sud par une ligne passant par Ober-Colpach, Schockweyler, Habay-la-Neuve, Habay-la-Vieille et Houdemont ; elle comprend presque en entier les provinces du Hainaut, de Namur, de Liége et de Luxembourg.

La troisième, enfin, s'étend sur la partie sud de la province de Luxembourg jusqu'à la limite méridionale du royaume.

Les deux dépôts extrêmes (septentrional et méridional) reposent en stratification discordante sur le dépôt central, le plus ancien des trois et le plus riche.

83. Constitution du dépôt septentrional. — Le premier dépôt appartient en entier aux terrains secondaires, tertiaires et d'alluvion. Les pierres à bâtir y sont assez rares, mais par contre les terres, les sables et les argiles propres à la fabrication des pierres artificielles, y sont très-abondants.

Terrains secondaires. — Le terrain *crétacé*, le seul étage des terrains secondaires qui se montre à la surface et sur lequel reposent les premières assises des terrains tertiaires qui viennent ensuite, n'occupe qu'une étendue assez limitée ; il constitue la contrée connue sous le nom de *Hesbaye* et de *pays de Herve*, qu'on peut considérer comme bornée à l'ouest et au nord par une ligne passant dans les environs d'Avesnes, de Jodoigne, de Waremme, de Tongres et de Maëstricht, et au sud par la limite même de la zone.

Les pierres qu'on exploite dans cette contrée sont la craie, dont on fait de la chaux et une matière blanche appelée *petit blanc* qui sert comme couleur grossière et à la fabrication du mastic de vitrier ; des silex tuberculeux, tantôt noirs, tantôt blonds, qu'on emploie comme moellons ou à l'empierrement des routes ; le tuffeau, dans lequel sont creusées les immenses carrières de la montagne Saint-Pierre, et finalement des grès blancs ou jaunâtres passant quelquefois au silex qu'on exploite sur plusieurs points, et notamment à Gemmenich, pour en faire des pavés.

Le tuffeau, la seule d'entre ces pierres qui soit exploitée sur une vaste échelle, est d'assez médiocre qualité ; il est facilement attaquable par les intempéries, mais, en revanche, il est d'une exploitation et d'un débit très-faciles ; il prend bien le mortier et sa présence au milieu d'un pays dénué de meilleurs matériaux, sur les bords de la

Meuse qui permet de le transporter aisément en Hollande, pays totalement dépourvu de pierres, suffit d'ailleurs pour expliquer le grand développement qu'a pris son exploitation. Le tuffeau est exploité sur le territoire belge dans les environs de Jodoigne et de Landen.

Le terrain crétacé se montre encore à Grez, au nord-est de Wavre, où l'on exploite de la craie pour faire de la chaux ; il paraît qu'il forme en cet endroit un petit lambeau totalement isolé du massif que nous venons d'indiquer.

Terrains tertiaires. — Les terrains tertiaires sont divisés en deux grands étages : l'inférieur appartient au terrain parisien et pose immédiatement sur la craie. Le supérieur appartient aux terrains subapennins et recouvre presque partout le précédent, mais le plus souvent sur une petite épaisseur. Ces terrains tertiaires couvrent toute la première zone, à l'exception de la Hesbaye et du pays de Herve et d'une bordure assez étroite vers les bords de la mer et de l'Escaut, formée de terrains d'alluvion.

Le premier étage fournit : 1° les pierres blanches (calcaires grossiers silicifères ou grès calcarifères) que l'on exploite dans les environs de Bruxelles et de Louvain, à Vilvorde, à Gobertange ainsi que dans beaucoup d'autres endroits et dont on fait des pierres de taille de petit appareil. Tous les anciens édifices de Bruxelles et d'un grand nombre de villes du Brabant et de la Flandre sont construits avec des pierres de cette espèce. On peut reconnaître par l'inspection de ces édifices qu'elles sont plus ou moins attaquables par les intempéries. Ces pierres sont aussi employées, sur quelques points, à la fabrication d'une chaux de très-médiocre qualité. 2° Des grès blancs ou jaunâtres dont on fait des pavés. 3° Des grès ferrugineux qui servent parfois aux mêmes usages, mais dont on fait plus souvent des moellons et quelquefois des pierres de taille. Ces grès sont surtout très-connus dans le pays renfermé par une ligne passant par Louvain, Diest, Beeringen et Herenthals, et dans celui compris entre l'Escaut et la Dendre, de Tournai à Renaix. 4° Des pierres de formes tuberculeuses connues sous le nom de *grès fistuleux* qu'on rencontre, sur un très-grand nombre de points, au milieu des sables et qui servent, dans tout le Brabant, à faire des fondements de murs, ou des constructions d'un caractère rustique, comme des murs de clôture, des grottes artificielles ou des fabriques d'un aspect bizarre. 5° Des calcaires marneux propres à la fabrication d'un ciment hydraulique d'excellente qualité. Ces calcaires ont généralement la forme de gros tourteaux aplatis dont le diamètre atteint quelquefois quatre mètres, et l'épaisseur quarante centimètres, ou de rognons ovoïdes plus ou moins gros dont le centre est ordinairement creux et rempli d'une eau claire et limpide. On les trouve principalement au confluent du Rupel avec l'Escaut, dans une couche épaisse d'argile marneuse exploitée pour la fabrication des pierres artificielles, dans laquelle ils sont régulièrement disposés par couches horizontales. Ces pierres sont tout à fait semblables, quant à leur gisement, leurs caractères et leur composition, à celles que les Anglais exploitent sur les bords de la Tamise pour la fabrication de leur *ciment romain*, et auxquelles ils ont donné le nom de *septaria*.

Le second étage ne renferme que des sables, des argiles et des cailloux roulés.

Alluvions. — Les terrains modernes occupent, comme nous l'avons dit plus haut,

une bande assez étroite le long de la mer et de l'Escaut ; on peut les considérer comme limités par une ligne passant dans les environs de Bergues, Furnes, Dixmude, Ostende, Bruges, Aardenbourg, Sas-de-Gand, Hulst, Anvers et Berg-op-Zoom. Ils ne renferment pas de pierres à bâtir.

* **84. Constitution du dépôt central.** — Le dépôt central est beaucoup plus riche en matériaux de construction que le précédent, bien que son étendue superficielle soit moindre. Il contient des roches appartenant aux terrains silurien, devonien, houiller, pénéen et crétacé, et de plus quelques massifs de roches feldspathiques appartenant aux terrains non stratifiés.

Terrain silurien. — Le terrain silurien, qui constitue comme la base sur laquelle reposent les sédiments plus récents, paraît former un vaste bassin dont les limites septentrionale et méridionale sont celles mêmes de la zone occupée par le dépôt central. Mais ce bassin, au lieu d'avoir sa plus grande concavité vers sa partie centrale, s'y relève de manière à présenter une espèce d'arête qui le divise en deux, et qui vient se montrer seulement sur quelques points à la surface du sol (*pl.* V, Coupe).

Il résulte de cette disposition que le terrain silurien constitue en Belgique trois bandes : l'une au sud, qui occupe toute l'étendue de l'Ardenne ; l'autre au nord, qui a son principal siége dans le Brabant ; et la troisième dans le milieu, passant dans l'*Entre-Sambre et Meuse* et le *Condroz*.

Ce terrain est particulièrement caractérisé par la présence du *schiste-ardoise*, ce qui l'a fait désigner par nos géologues sous le nom de *terrain ardoisier* (1). Les roches qui y sont le plus abondamment répandues, après celle-là, sont les quartz grenus, les grès, les psammites et les poudingues, qui passent quelquefois à l'arkose ; le calcaire y est extrêmement rare.

L'exploitation des ardoises a ses principaux siéges dans l'Ardenne, notamment à Herbeumont, à la Géripont et à Viel-Salm. Suivant la commission des matériaux indigènes, les ardoises provenant de ces localités peuvent rivaliser de qualité avec les meilleure ardoises de Fumay. Les ardoises d'Herbeumont renferment souvent des cristaux cubiques de pyrite de fer, mais il est bien constaté aujourd'hui qu'ils appartiennent à la variété qui ne se décompose pas ; aussi la présence de ce minéral, loin d'être considérée comme un défaut par les consommateurs, est-elle regardée au contraire comme une sorte de cachet de ces ardoises dont l'excellente qualité est généralement reconnue. Les ardoises de Viel-Salm ont une apparence particulière qui les rend très-reconnaissables et qui ressemble à ce qu'on appelle la *chair de poule ;* mais les papilles arrondies auxquelles elle est due sont disposées suivant les lignes du long grain et constituent des fibres qui rappellent assez bien le nerf du fer fort. Elles se distinguent encore de celles des autres localités par leur couleur qui est violacée, tandis que les autres sont, en général, d'un gris tirant sur le noir. Les couvreurs de Bruxelles assignent aux ardoises d'Herbeumont et de la Géripont une durée de 70 à 75 ans et un déchet qui varie de 1/7 à 1/10 à la pose.

(1) Terrain *Ardennais* et *Rhenan* de Dumont.

Les ardoises sont encore exploitées sur un grand nombre d'autres points, mais les exploitations sont de beaucoup moindre importance, ou bien la qualité des produits est inférieure, ou imparfaitement constatée jusqu'à présent. Nous citerons notamment, parmi ces lieux d'exploitation, Martelange, Fays-les-Veneurs et Laviaux dans l'Ardenne luxembourgeoise, le Cul-des-Sarts, le Bruly-de-Couvin dans la province de Namur, et Oignies dans celle du Hainaut. Toutes ces ardoisières sont ouvertes dans la bande méridionale. On n'en cite aucune en exploitation dans les deux autres. On prétend seulement qu'il y en a existé anciennement dans les environs d'Enghien, de Gembloux et de l'abbaye de Villers. On a fait plus récemment quelques recherches dans la bande médiane, qui se montre principalement dans les environs de Fosses (dans l'Entre-Sambre et Meuse), de Vierde (au sud de Namur) et de Huy ; mais, jusqu'à présent, elles n'ont conduit à aucun résultat satisfaisant.

Le schiste-ardoise est en outre exploité sur un très-grand nombre de points, dans les trois bandes, pour en faire des moellons, des carreaux de pavage, des dalles et même des pierres de taille de médiocre qualité. Toutes les maisons de l'Ardenne luxembourgeoise, à très-peu d'exceptions près, sont construites avec des pierres de cette espèce, ce qui leur donne un aspect tout particulier.

Les grès, les psammites et les quartz grenus sont également exploités sur un grand nombre de points et employés aux mêmes usages. En quelques endroits, on en fait de plus des pierres et des meules à aiguiser les outils. On peut citer notamment, pour les exploitations de cette dernière espèce, les environs de Viel-Salm et de Houffalise dans l'Ardenne et ceux d'Enghien dans le Brabant.

L'on ne connaît, dans tout le terrain ardoisier, qu'un ou deux bancs de calcaire à structure schistoïde et passant au schiste-ardoise que l'on a observés notamment à Moncy-Notre-Dame, à Alle et dans quelques autres lieux entre Mézières et Bouillon. Ce calcaire donne de la chaux hydraulique par la cuisson.

Les massifs de roches feldspathiques se trouvent principalement dans la bande septentrionale du terrain ardoisier. Ce sont, selon toutes les apparences, des têtes de culots ou de dykes qui percent à travers ce terrain. On les exploite sur une très-grande échelle pour en faire des pavés à Quenast et à Lessines, et on les connaît encore à Pitet, sur la Mehaigne, et à Hozemont, à l'ouest de Liége, mais elles n'y sont pas exploitées. Ces roches appartiennent aux espèces *eurite* et *porphyre;* elles offrent le plus souvent l'apparence d'une pâte verdâtre compacte, toute tachetée de points blancs. Les pavés de Quenast et de Lessines sont d'une très-grande solidité, mais deviennent glissants par l'effet de l'usure ; ils sont très-employés à Bruxelles, dans tout le Brabant, dans les Flandres et dans les provinces d'Anvers ; on les exporte même jusqu'en France.

Une roche de même espèce a été observée assez récemment par M. Dumont, à Beuzet, près de Fosses, dans la province de Namur, au milieu de la bande médiane du terrain ardoisier ; mais elle n'y est pas exploitée.

Terrain devonien. — Les dépressions du bassin silurien ou ardoisier que nous venons de décrire sont remplies par le terrain devonien désigné par nos géologues

sous le nom d'*anthraxifère*. Ce terrain affecte lui-même la forme de deux vastes bassins dont les dépressions sont remplies à leur tour par le terrain houiller (1).

Le terrain devonien ou anthraxifère de la Belgique est principalement composé de roches siliceuses et calcareuses disposées par couches plus ou moins inclinées, mais en stratification concordante. Les principales roches qu'on y exploite comme pierres à bâtir sont, parmi les pierres siliceuses, des grès, des psammites et des poudingues et parmi les pierres calcaires, des calcaires, désignés sous le nom de *carbonifères*, gris, noirs, bleus, ou colorés de diverses manières, et des dolomies.

L'ensemble de ce dépôt a été divisé en quatre systèmes distincts, alternativement calcaires et siliceux, formant des espèces de bassins ou de fragments de bassins emboîtés les uns dans les autres.

Le premier est composé de roches quartzeuses et schisteuses très-variées; la couleur rouge, quelquefois bigarrée de verdâtre, y est très-fréquente. Les schistes tendent à s'y rapprocher de l'ardoise, mais sont en général trop décomposables à l'air pour être employés à cet usage ; les psammites y passent au *poudingue*, ainsi que cela se voit notamment à Burnôt, entre Namur et Dinant. Ces particularités ont fait désigner ce système sous le nom d'étage du *poudingue de Burnot ;* il correspond d'ailleurs au vieux grès rouge des Anglais (2).

Le second système dans l'ordre ascendant est principalement composé de calcaire renfermant ordinairement des bancs de dolomie dans sa partie moyenne. C'est à cet étage, qui d'ailleurs se rencontre assez généralement sur toute la bordure des dépôts inférieurs, qu'appartiennent les beaux escarpements de Givet. Cette circonstance lui a valu le nom d'étage du *calcaire de Givet*, sous lequel on le désigne (3).

L'étage suivant est principalement composé de *psammites* qui recouvrent la majeure partie des plateaux du centre du *Condroz ;* cette roche forme en général la partie supérieure de l'étage, tandis que la partie inférieure est surtout composée de schistes dans lesquels il y a fréquemment des amas ou des petits bancs subordonnés de calcaire, qui est souvent du marbre rouge. On le désigne sous le nom d'*étage des psammites de Condroz* (4).

Finalement, le dernier étage est, comme le second, composé de calcaire renfermant de la dolomie dans sa partie moyenne. Il se montre, entre autres, dans les carrières de Visé, et a été désigné, pour cette raison, sous le nom d'étage du *calcaire de Visé.* C'est à cet étage qu'appartiennent la plupart des calcaires *petits granites*, qu'on exploite dans un grand nombre de lieux comme pierre de taille, ou comme marbre (5).

La disposition des quatre systèmes ou étages en bassins emboîtés les uns dans les autres, fait que la contrée dans laquelle ils sont développés est divisée, à la surface, en bandes plus ou moins larges alternativement siliceuses et calcaires, dans lesquelles

---

(1) Dumont comprend le terrain houiller dans le terrain anthraxifère.
(2) Etage quartzo-schisteux du système *Eifelien* de Dumont.
(3) Etage calcareux du système Eifelien de Dumont.
(4) Étage quartzo-schisteux du système *Condrusien*, *idem*.
(5) Étage calcareux du système condrusien, *idem*.

sont ouvertes nos carrières les plus importantes. Ces bandes, ainsi que les couches dont elles sont composées, ont une direction générale assez constante, de l'ouest vers l'est, jusque vers le milieu du bassin, c'est-à-dire, jusqu'à un axe passant par Namur et Rochefort; mais à partir de là, cette direction s'infléchit vers le nord.

L'on compte quatre de ces bandes appartenant au terrain anthraxifère entre le massif septentrional et le massif central du terrain ardoisier, et sept entre ce dernier et le massif méridional du même terrain. Nous croyons utile de renseigner quelques-unes des principales carrières qui sont ouvertes dans chacune d'elles.

La première, c'est-à-dire la plus septentrionale, appartient tout entière à l'étage du poudingue de Burnot; on n'y connaît qu'un petit nombre d'exploitations, assez peu importantes.

La seconde, en allant vers le sud, renferme des calcaires appartenant à l'étage du calcaire de Givet et des roches siliceuses appartenant aux psammites du Condroz. Les calcaires sont généralement souillés d'argile, et donnent par la cuisson des chaux plus ou moins hydrauliques; ils offrent généralement une couleur d'un bleu foncé ou noirâtre, et une structure compacte.

Le troisième appartient à l'étage du calcaire de Visé. C'est dans cette bande que se trouvent ouvertes les belles carrières de *petit granite* de Soignies, d'Arquennes, de Feluy et des Écaussines dans le Hainaut, et de Ligny dans la province de Namur (1). Ces pierres sont remarquables, non-seulement par leur excellente qualité, mais encore par la grandeur des blocs qu'on peut extraire de quelques-uns des bancs en exploitation. Les belles colonnes monolithes, qui décorent la façade du palais du roi, à Bruxelles, ont été tirées des carrières de Soignies; elles ont un mètre de diamètre à la base et dix mètres de hauteur.

C'est également à la même bande que paraissent devoir être rapportées les carrières des environs de Tournai, de Viesville et de Thiméon dans la province du Hainaut, de Potriaux et de Humerée dans celle de Namur, les carrières à marbre noir de Golzines; que sont ouvertes la plupart des carrières des environs de Namur, et notamment celles de Lives et de Namèche, qui fournissent des pierres de taille recherchées pour les constructions sous l'eau, celle des Grands-Malades (2), qui fournit un très-beau marbre noir, et des pierres de taille très-employées, mais qui ont malheureusement le défaut de se laisser fortement attaquer par la gelée; que s'exploitent le marbre de Marche-les-Dames, espèce de *faux portor* à fond gris rougeâtre, veiné de jaune brillant, et la *roche blanche* de Samson (sous Namur). Cette dernière se compose d'un banc de quatre à cinq mètres d'épaisseur d'un gris très-pâle, et qui a la propriété de se laisser

---

(1) Je donne, plus loin, un tableau des bancs exploités aux carrières de Ligny qui m'a été fourni par M. le conducteur des mines Éloin; il fera voir combien est variable, dans une même carrière, non-seulement l'épaisseur, mais encore la qualité des bancs. J'y joins quelques renseignements que j'ai reçus de M. l'ingénieur en chef des mines Gonot, sur les carrières de Soignies et des Écaussines.

(2) Le tableau des bancs exploités aux carrières des Grands-Malades se trouve à la suite des précédents.

diviser assez aisément en tranches de quatre à cinq centimètres d'épaisseur, ce qui permet d'en faire de beaux carreaux de pavage à peu de frais.

La dolomie se montre sur plusieurs points en grandes masses stratifiées, au milieu des couches calcaires appartenant à cette bande ; nous citerons entre autres les beaux escarpements de Marche-les-Dames, près de Namur ; mais elle n'est exploitée comme pierre à bâtir que dans un petit nombre d'endroits, et ces carrières sont de peu d'importance.

La quatrième et dernière bande, située au nord de l'arête centrale du bassin ardoisier, appartient tout entière à l'étage du poudingue de Burnot. Les poudingues quartzeux, qui y sont développés, sont exploités notamment dans les environs de Huy, comme pierres réfractaires propres à la construction des creusets de hauts-fourneaux, et à Gesves (province de Namur), pour la fabrication de meules de moulin fort estimées.

A partir du point où nous sommes arrivés et en avançant toujours vers le sud, on rencontre successivement de nouvelles bandes : 1° des schistes, poudingues et psammites appartenant à l'étage du poudingue de Burnot ; celle-ci se lie dans beaucoup de points à la précédente, de façon à former avec elle une bande unique qui a jusqu'à 10 et 15 kilomètres de largeur ; 2° de roches appartenant au calcaire de Givet et aux psammites de Condroz ; 3° de roches appartenant au calcaire de Visé ; 4° de couches appartenant au calcaire de Givet et aux psammites du Condroz ; 5° de roches appartenant au calcaire de Visé, et occupant tout le pays connu sous le nom de *Condroz ;* 6° de psammites du Condroz et de calcaire de Givet, formant tout le pays connu sous le nom de *Famène ;* 7° enfin des roches appartenant à l'étage du poudingue de Burnot. Cette dernière bande, qui forme la bande septentrionale de l'*Ardenne*, s'arrête à une ligne passant aux environs de Fumay (France), de Nassogne, près de Rochefort, de Spa et d'Eupen (Prusse).

Un très-grand nombre d'exploitations sont ouvertes dans toute cette région. Les pierres calcaires donnent sur un très-grand nombre de points des marbres très-estimés ; nous citerons particulièrement le *florence* des fonds de Lesves, dans la province de Namur, le *Sainte-Anne* des environs de Thuin ; les marbres noirs de Dinant, de Bouvignes et de Denée, qui, jouissant de la structure schistoïde, sont employés à faire des carreaux de pavage ; les *petits granites* de Spontin ; les marbres rouges-gris de Rance, de Malplaquet, près Philippeville, de Franchimont et de Saint-Remy ; les brèches de Waulsort et le marbre noir de Theux. En général, les marbres colorés autrement qu'en gris et en noir appartiennent à l'étage du calcaire de Givet.

Les pierres siliceuses sont aussi l'objet d'exploitations importantes sur plusieurs points ; nous nous bornons à citer la carrière de Lustin, sur la Meuse, à deux lieues au sud de Namur, ouverte pour la fabrication de pavés.

Ce serait du reste se faire une idée fausse que de croire que les bandeaux calcaires ou siliceux dont nous venons de parler présentent sur tout leur développement une largeur uniforme et qu'ils s'étendent sans interruption de l'ouest à l'est du royaume ; il faut, au contraire, concevoir qu'ils se renflent en certains points et se rétrécissent sur d'autres de manière à disparaître tout à fait sous les dépôts voisins et que, sauf les

quatre premières bandes qui restent distinctes, les autres viennent se réunir en pointe vers la frontière prussienne. L'inspection de la carte donnera une idée de ces accidents.

Terrain houiller. — Nous avons dit plus haut que les dépressions du terrain anthraxifère étaient remplies par le terrain houiller. Les plus importantes de ces dépressions sont situées au nord de la bande centrale du terrain ardoisier. L'une est designée sous le nom de bassin houiller de Charleroi, et l'autre sous celui de bassin houiller de Liége. Elles sont à peu près dans le prolongement l'une de l'autre et viennent se terminer en pointe dans les environs de Namur, tandis qu'elles vont en s'évasant à partir de ce point. La Sambre de Charleroi à Namur, et la Meuse de cette dernière ville à Liége, coulent presque constamment au milieu de ces bassins houillers ; ils sont du reste compris, en grande partie, entre la troisième et la quatrième bande du terrain anthraxifère. C'est dans ces dépôts que sont ouvertes nos principales houillères, mais ce serait sortir du cadre de nos études que d'entrer dans des détails sur ces riches exploitations. Nous pouvons nous borner à dire, pour l'objet qui nous occupe, que sur un grand nombre de points du terrain houiller on trouve ouvertes des carrières de grès et de psammites, où l'on fabrique des pavés en général fort estimés. Nous citerons notamment celle de la *Gueule du Loup*, près de Namur, parmi les plus importantes.

Au sud de la bande centrale du terrain ardoisier, on ne connaît que deux très-petits bassins houillers, l'un situé un peu au-dessous de Bouvignes, à cheval sur la Meuse, l'autre situé dans le *Condroz*, dans les environs de Bande et de Borsu.

Terrain pénéen. — Le terrain pénéen n'est que fort peu développé ; il forme dans les environs de Stavelot et de Malmédy un petit massif reposant sur le terrain ardoisier et composé presque entièrement de poudingues souvent rougeâtres, passant au psammite, au macigno et au schiste.

Terrain crétacé. — Le terrain crétacé est aussi fort peu développé dans la région que nous décrivons. Il ne s'étend que sur une très-petite portion du Hainaut, où il recouvre, en s'avançant vers Tournai, Mons et Binche, une certaine étendue du bassin houiller de Charleroi et du terrain anthraxifère. Ces dépôts crétacés sont nommés, par les mineurs du Hainaut, *morts terrains*, parce qu'ils n'y rencontrent jamais de houille ; les roches susceptibles d'être employées à la bâtisse qu'on y trouve sont la craie, des silex tuberculeux, le gompholite (appelé *tourtia* par les mineurs) et le tuffeau ; cette dernière est notamment exploitée à Ciply, près de Mons.

Terrains tertiaires et d'alluvion. — Les dépôts que nous venons de décrire ne se montrent pas partout au jour, ils sont souvent recouverts sur une plus ou moins grande épaisseur par des terrains meubles, appartenant aux formations tertiaires ou aux alluvions, mais dans lesquels on ne rencontre que très-peu de pierres propres aux constructions. Nous mentionnerons seulement comme telles le tuf calcaire, ainsi que les stalactites et les stalagmites qui tapissent un grand nombre de grottes ou de fissures qu'on rencontre dans le calcaire. L'un des dépôts les plus importants de tuf est celui de Rouillon, à l'ouest de Namur, où cette roche forme de petites collines qui barrent, pour ainsi dire, un vallon qui débouche dans la Meuse ; il en existe encore

d'autres, mais plus petits, à Marche-les-Dames, en aval de Namur, et dans la vallée du Houyoux, près de Huy. Le tuf, lorsqu'il est assez consistant, est recherché pour la construction des cheminées et des voûtes à cause de sa grande légèreté.

Parmi les grottes les plus célèbres par leurs concrétions stalactiformes, nous citerons celles de Han-sur-Lesse et de Remouchamps sur la Vesdre.

85. Constitution du dépôt méridional. — Ce dépôt n'est que fort peu développé, comme nous l'avons dit, sur le territoire belge. Il est formé de roches appartenant au terrain de trias et au terrain jurassique.

Les premières forment, le long de l'Ardenne, une bordure étroite qui s'étend depuis Ober-Colpach jusqu'à Houdemont. A l'est, cette bordure occupe la largeur comprise entre Schockweyler et la rivière d'Atter, mais elle se rétrécit vers l'ouest et n'a plus que quelques centaines de mètres à Houdemont. Au delà de ce point, on n'en trouve plus que des lambeaux isolés dont le plus éloigné est situé à Muno. Le terrain jurassique occupe le restant de la zone.

Terrain de trias. — Les roches appartenant au terrain de trias sont :

1° Des cailloux roulés parfois réunis par un ciment et formant de véritables poudingues, qui constituent la première assise de ce terrain. Ces pierres sont ordinairement colorées en rouge.

2° Des calcaires ordinairement d'un blanc grisâtre passant à la dolomie, qui se présentent en bancs intercalés dans les lits de marne. On les exploite notamment à Post, près d'Attert, pour la fabrication d'une chaux reconnue hydraulique.

3° Des grès blanchâtres, jaunâtres ou rougeâtres, assez consistants sur quelques points pour être employés à la bâtisse.

Terrain jurassique. — Dans le terrain jurassique on trouve :

1° Des calcaires d'un gris bleuâtre, souvent marneux, et propres à la fabrication de chaux hydraulique caractérisés par la présence d'une très-grande quantité de gryphées arquées. Ces calcaires ont une grande analogie avec le *lias* des Anglais. On les exploite à Hachy, à Nantimont, à Martinsart, à Rossignol, à Jamoigne, à Pin, à Florenville, à Sainte-Cécile, à Muno, à Sainte-Marie et à Étalle, pour la fabrication d'excellentes chaux hydrauliques.

2° Des grès généralement jaunâtres et calcarifères dont on fait, sur un grand nombre de points, des pierres de taille assez bonnes, mais peu résistantes à l'usure. Nous citons comme l'une des carrières les plus importantes où cette pierre est exploitée, celle d'Orval, près de Virton.

La forteresse de Luxembourg est bâtie sur des rochers escarpés de grès de cette espèce, et leur a donné son nom, ainsi que nous l'avons dit (n° 51).

I

TABLEAUX DES PRINCIPAUX MARBRES EMPLOYÉS EN BELGIQUE.

LIEUX D'EXPLOITATION.	PROVINCE.	DÉNOMINATION.	DESCRIPTION.
		1° Marbres noirs.	
Bouvignes	Namur.	»	Fond noir taché de gris foncé, taches et veines blanches, petites et rares.
Dinant	Namur.	»	Noir, taché de gris très-foncé, presque noir.
Golzinnes.	Namur.	»	Noir pur.
Theux	Liége.	»	Fond gris foncé et nuancé, avec taches noires anguleuses.
Basècles.	Hainaut.	»	Fond noir tacheté de gris, veines grises, rares.
		2° Marbres gris.	
Montigny-Saint-Christophe . . .	Hainaut.	Pieds de souris.	Fond gris tacheté de gris plus pâle et marqué de petites traces blanches qui représentent assez bien des pistes de souris.
Montigny-Saint-Christophe . . .	Hainaut.	Brèche impériale.	Fond gris presque noir, parsemé de taches d'un gris plus clair dues à la présence de coquilles disséminées dans la masse et dont on reconnaît parfois assez bien les formes, mais généralement très-altérées.
Lens.	Hainaut.	Petite granite.	Fond noir piqué de gris.
Ligny	Namur.	Idem.	Idem.
Spontin.	Namur.	Idem.	Fond noir piqué de gris et parsemé de débris d'*eutroques* réduits en chaux carbonatée blanche et qui tranchent fortement sur le fond : les taches de toute espèce sont groupées de façon à former des espèces de stries dirigées toutes dans le même sens.
Fosse	Namur.	»	Fond gris relevé par un grand nombre d'empreintes de coquillages coniques réduits en chaux carbonatée blanche.
Barbançon	Hainaut.	Petit antique.	Fond noir, taches irrégulières et veinules grises et blanches disséminées dans la masse d'une façon assez régulière.
Barbançon	Hainaut.	Idem.	Comme le précédent, mais taches blanches plus grandes et plus irrégulières ; veines plus grandes aussi, et suivant des directions à peu près parallèles ; piqûres d'un gris plus ou moins foncé.

LIEUX D'EXPLOITATION.	PROVINCE.	DÉNOMINATION.	DESCRIPTION.
Barbançon	Hainaut.	Petit antique.	Taches blanches moins nombreuses que dans les deux précédents, injectées fort irrégulièrement dans la masse ; taches et veines grises irrégulières.
Écaussines	Hainaut.	Petit granite.	Fond noir parsemé de petites taches très-variées de forme d'un gris brunâtre, ressemblant beaucoup au petit granite de Ligny.
Landelies.	Hainaut.	Idem.	Fond noir taché comme le précédent, mais de façon à ce que ces taches forment par leur groupement des espèces de bandes parallèles. — Nombreuses *terrasses* en tous sens.
Fresnes.	Namur.	»	Fond gris, jaunâtre par places, grands fragments noirs ou blonds disséminés irrégulièrement dans la masse ; taches plus petites et vermiformes noires et groupées, veinules blanchâtres et jaunâtres.
Vaulsort	Namur.	Brèche.	Pâte d'un blanc rosâtre, fragments irréguliers et anguleux, gris, noirs, blonds, jaunâtres, rouges ; — veines blanches.
Vaucelle	Namur.	»	Fond gris un peu roussâtre, taches d'un gris plus ou moins foncé affectant la forme de petits croissants, dues à des coquillages.
Vodelée	Namur.	Violon.	Fond gris foncé nuancé de gris plus clair et un peu roussâtre ; veines nombreuses, affectant un certain parallélisme, traversées par d'autres veines plus irrégulières et plus blanches.
Vodelée	Namur.	Grand courtil.	Fonds analogue au précédent, mais à nuances plus fondues, — grandes veines blanches et ramifiées.
Landelies.	Hainaut.	Frédéric.	Fond rougeâtre, veines assez rares, d'un blanc jaunâtre, très-droites et s'entrecoupant sous toutes sortes d'angles.
Fontaine-l'Évêque.	Hainaut.	»	Fond noir marqué de gris rougeâtre disposé en nids ; veinules grises et blanches disposées en tous sens.
Fontaine-l'Évêque.	Hainaut.	»	Fond noir coupé de veinules blanches s'entre-croisant en tous sens, mais généralement assez droites.
Lesves.	Namur.	Florence.	Fond gris cendré pâle, taches grises irrégulières répandues d'une manière assez uniforme ; veinules d'un blanc jaunâtre dans le fond, mais qui ne s'étendent pas sur les taches.
Philippeville. . . .	Namur.	Idem.	Assez semblable au précédent mais plus foncé en couleur et sans veinules sur le fond.

LIEUX D'EXPLOITATION.	PROVINCE.	DÉNOMINATION.	DESCRIPTION.
Philippeville. . . .	Namur.	Léopard.	Fond gris rougeâtre, taché de gris plus foncé et de noir ; veinules de chaux carbonatée cristalline et quelquefois un peu chatoyantes, faisant assez l'effet des cours d'eau sur les cartes géographiques.
Philippeville. . . .	Namur.	Florence.	Même fond et mêmes taches que le précédent, mais sans veinules.
Thon.	Namur.	»	Fond plus rougeâtre que les précédents, nuancé de noir et rehaussé de taches blanches rares.
Samson.	Namur.	»	Même fond que le précédent, mais plus pâle, nuancé de gris rougeâtre rehaussé de noir affectant la forme de bandes plus ou moins parallèles.
Landelies.	Hainaut.	»	Fond rougeâtre, noir, par places, taches rougeâtres plus pâles que le fond, veines blanches recoupant le tout en tout sens.
Fontaine-l'Évêque.	Hainaut.	Brèche.	Fond rougeâtre un peu chiné, taches grises très-petites, veinules blanches.
Lautenne.	Namur.	»	Fond gris un peu verdâtre avec taches irrégulières plus foncées, rehaussé de grandes taches et veines blanches.
Lavalle – Chaudeville	Hainaut.	Sainte-Anne.	Fond gris avec taches et veines d'un gris cendré fort irrégulières.
Boussu-lez-Walcourt.	Hainaut.	Idem.	Même fond que le précédent, mais un peu plus rougeâtre, rehaussé de gris rougeâtre et de blanc disposé en taches et en veines affectant des allures assez régulières.
Barbançon	Hainaut.	Idem.	Même fond que les précédents et ressemblant assez au Sainte-Anne de Lavalle-Chaudeville, avec cette différence que les taches sont plus fondues dans le fond.
Barbançon	Hainaut.	Brayelle Sainte-Anne.	Fond noir un peu roux, avec taches grises, rehaussé de taches blanches assez semblables à celles qu'on ferait en jetant une éponge blanchie sur un tableau noir.
Fontaine-Valmont.	Hainaut.	Sainte-Anne.	Comme le précédent ; mais les blancs sont plus nombreux et plus larges, formant des pâtés de veines convergentes sur certains points et très-rares dans d'autres.
La Buissière. . . .	Hainaut.	Idem.	Comme le précédent ; les veines blanches sont plus nombreuses, elles affectent une direction parallèle dans un seul sens.
Solre-sur-Sambre.	Hainaut.	Idem.	Comme le précédent ; les taches blanches sont encore plus prononcées, elles forment des pâtés très-nombreux tranchant sur le fond dont une notable partie reste à découvert et est traversée par de petites veinules blanches seulement.

LIEUX D'EXPLOITATION	PROVINCE.	DÉNOMINATION.	DESCRIPTION.
Soulme.	Namur.	»	Assez analogue aux Sainte-Anne ci-dessus, mais à veines blanches très-larges et moins ramifiées.
Lesves.	Namur.	»	Fond gris un peu jaunâtre brouillé de taches irrégulières et très-nombreuses, tantôt plus foncées, tantôt plus pâles que le fond.
Montigny-St-Christophe.	Hainaut.	»	Fond gris avec rubans noirs ombrés rendant assez bien l'effet du moiré des étoffes de soie.
Montigny-St-Christophe.	Hainaut.	Sainte-Anne.	Fond gris foncé et presque noir, par places, tout parsemés de taches d'un gris pâle souvent vermiformes.
Montigny-St-Christophe.	Hainaut.	Idem.	Même fond que le précédent, mais un peu plus jaunâtre, strié de gris et de blanc un peu sale, stries parallèles et assez larges.
Leugnies.	Hainaut.	Idem.	Assez semblable au précédent, mais les stries sont disposées moins régulièrement et sont d'un blanc plus pur.
Hautes-Wiheries .	Hainaut.	Idem.	Fond gris plus pâle que dans les précédents, nuancé de gris plus ou moins foncé, disposé en taches qui paraissent superposées et taché de blanc fondu dans le gris.
Sorle-Saint-Géry. .	Hainaut.	Idem.	Très-peu différent du précédent.
		3° Marbres versicolores.	
Richemont	Namur.	»	Fond rougeâtre traversé en tous sens de larges veines blanches formant des pâtés en certains points et se terminant ordinairement par des filets très-minces faisant des angles très-prononcés avec les grosses veines.
Saint-Remy. . . .	Namur.	»	Taches rougeâtres entourées de noir ou de gris très-foncé fondu sur les bords, rehaussé de grosses veines blanches assez semblables à celles du précédents.
Malplaquet	Namur.	»	Fond jaune rougeâtre pâle, parsemé de dessins qui rappellent assez bien la représentation des archipels sur les cartes géographiques. Le fond, qui figure la mer, se fonce vers l'endroit où il est limité par ce que l'on pourrait prendre pour la représentation des terres.
Heer.	Namur.	»	Fond rougeâtre nuancé de gris pâle, coupé de veines d'un blanc sale ou d'un blanc jaunâtre, assez rares.
Cochenée.	Namur.	»	Fond chocolat nuancé de rouge, veines et taches grises plus ou moins larges, mais assez rares.

LIEUX D'EXPLOITATION.	PROVINCE.	DÉNOMINATION.	DESCRIPTION.
Onhaye.	Namur.	»	Fond noir brunâtre assez foncé, nuancé de parties plus pâles, taches et veines grises, ou d'un blanc sale tranchant peu sur le fond.
Cochenée.	Namur.	Luçon caillouté.	Fond gris foncé, taché de gris pâle, de rouge et de blanc, disposés en larges pâtés.
Marche-les-Dames.	Namur.	Faux-portor.	Fond jaune d'ocre, taché de gris foncé et veiné de jaune, terrasses très-nombreuses.
Franchimont . . .	Namur.	»	Fond rouge pâle, veiné de gris et de blanc, assez semblable au *Richemont*, mais d'un rouge plus prononcé.
Cerfontaine. . . .	Namur.	»	Ressemblant beaucoup au *Richemont*, mais le fond rouge est un peu plus foncé.
Agimont	Namur.	»	Ressemblant au *Richemont*, mais d'un rouge plus foncé.
Vieux-Cochenée .	Namur.	»	Fond d'un rouge de brique foncé, taches grises et blanches très-irrégulière et fondues sur les bords, mais tranchant fortement sur le fond.
Renlies	Hainaut.	»	Fond rouge tirant sur le gris, encore plus foncé que le précédent ; taches quelquefois très-minces, parfois très-larges, d'un blanc rougeâtre ou grisâtre ; les taches grises se détachent peu.
Rance	Hainaut.	»	Assez semblable au précédent, mais d'un fond un peu plus clair ; les taches et les veines blanches y sont beaucoup plus rares.
Haye-des-Saules .	Hainaut.	»	Presque le même que le précédent, mais de couleurs encore moins heurtées ; on y rencontre assez souvent des traces de fossiles vermiformes très-adhérents à la pâte et colorés en rouge vif, qui y font un bel effet.
Saint-Gérard. . .	Namur.	»	Fond chocolat pur, veiné et taché de chocolat au lait et de café au lait.
Landelies	Hainaut.	Guillaume.	Fond café au lait très-pâle, un peu teinté, par places, de même couleur plus foncée.
Chénu, près de Dinant.	Namur.	»	Le même que le précédent, mais plus foncé ; taché de clair, mais rarement.
Malplaquet. . . .	Namur.	1re qualité.	Fond noir tout couvert de grands dessins d'un gris rougeâtre, ombrés sur les bords, imitant assez bien la représentation de stalactites et de stalagmites.

II

BANCS DE CALCAIRE CARBONIFÈRE EXPLOITÉS AUX CARRIÈRES DE LIGNY

(PROVINCE DE NAMUR)

Nos	NOMS DES BANCS.	ÉPAISSEUR.	QUALITÉ.	OBSERVATIONS.
1	Dur.	0m,59	Mauvaise.	Trois grandes carrières sont en pleine exploitation ; deux machines d'épuisement y sont établies. L'extraction annuelle peut s'évaluer à 1,500 mètres cubes de pierre à bâtir et à 500 à 600 mètres cubes de blocs pour marbre (petit granite), qui revient de 130 à 150 francs le mètre cube.
2	Sans nom.	0 ,35	Id.	
3	Id.	0 ,35	Id.	
4	Platiats.	0 ,29	Id.	
5	Banc des crèches.	0 ,53	Id.	
6	Vieux Ligny.	0 ,59	Très-bonne.	
7	Jaune croûte.	0 ,47	Médiocre.	
8	Id.	0 ,35	Id.	
9	Id.	0 ,41	Bonne.	
10	Javar.	0 ,26	Id.	
11	Id.	0 ,47	Id.	
12	Id.	0 ,88	Médiocre.	
13	Laid banc.	0 ,29	Id.	
14	»	0 ,41	Id.	
15	»	0 ,53	Très-bonne.	
16	»	0 ,53	Id.	
17	»	0 ,35	Id.	
18	»	0 ,735	Id.	
19	»	0 ,26	Médiocre.	
20	»	0 ,24	Id.	
21	Petit dur.	0 ,26	Id.	
22	Platiats.	0 .26	Id.	
23	»	0 ,735	Bonne.	
24	»	0 ,24	Id.	
25	Blanc pain.	0 ,88	Id.	
26	Ruches.	0 ,29	Id.	
27		0 ,29	Id.	
28		0 ,35	Id.	
29		0 ,26	Id.	
30	Clarebeau.	0 ,53	Id.	
31	Clinquans.	0 ,29	Id.	
32		0 ,29	Id.	
33		0 ,29	Id.	
34		0 ,29	Id.	
35	Blanc banc.	0 ,21	Id.	
36	Petit roux.	0 ,29	Id.	
37	Rechetaux.	0 ,29	Id.	
38	»	0 ,47	Id.	
39	»	0 ,88	Id.	
40	Carpe.	0 ,29	Id.	
41	Café.	0 ,29	Id.	
42	Crèche.	0 ,29	Id.	
43	Servais.	0 ,53	Id.	
44	Pouillu.	0 ,35	Id.	
45	Noir.	0 ,53	Id.	
46	Pouillu.	8 ,35	Id.	
47	Gros gris.	0 ,59	Id.	
48	De banc.	0 ,47	Id.	
49	»	0 ,735	Id.	
50	Dureau moitié.	0 ,53	Id.	
51	Savirante.	0 ,59	Id.	
52	Marchaux.	0 ,41	Id.	

III

NOTE SUR LES CARRIÈRES DE SOIGNIES ET DES ÉCAUSSINES

Les bancs de pierre de la carrière de Soignies se trouvent à une profondeur moyenne de 3 mètres ; les premiers ne donnent guère que de la pierre à chaux ; l'épaisseur de ceux qui suivent varie de $0^m,30$ à $2^m,20$; la qualité de tous les bancs est à peu près la même, cependant les bancs supérieurs sont ordinairement d'une couleur un peu plus foncée et plus durs à la taille.

La carrière de Thiermont, aux Ecaussines, est recouverte de 6 mètres environ de terre ; l'on trouve d'abord de mauvaise pierre fort noire que l'on appelle *rache*, ensuite des bancs de 5 à 10 centimètres dont on fait des pavements à la pointe, puis des bancs successivement plus épais (cette épaisseur va jusqu'à 1 mètre), moins gris et de meilleure qualité Les travaux ont atteint la profondeur de 35 mètres au-dessous du sol. Ce sont les bancs que l'on rencontre de 15 à 20 mètres qui se débitent le mieux en tables de marbre (petit granite) par le sciage.

La grande carrière, située sur le chemin de Marche aux Ecaussines, présente d'abord, au niveau du sol, une épaisseur de 5 à 6 mètres de mauvaise pierre propre seulement à empierrer les routes, et ensuite des bancs successivement plus épais et plus blancs jusqu'à 28 mètres de profondeur, où se trouve un banc de 2 mètres d'épaisseur. Les bancs dits de granite se rencontrent aussi à une profondeur de 18 à 20 mètres.

Dans ces carrières, l'on peut se procurer des blocs de toutes dimensions dans le sens de la direction et de l'inclinaison. Chaque carrière peut fournir annuellement 2,500 mètres cubes de pierre façonnée.

IV

BANCS DE CALCAIRE CARBONIFÈRE EXPLOITÉS AUX CARRIÈRES DES GRANDS MALADES

(PRÈS NAMUR)

Nos	NOMS DES BANCS.	ÉPAISSEUR.	QUALITÉ ET EMPLOI.	OBSERVATIONS.
1	Gros banc des clous.	0m,84	Rempli de clous de phtanite, impropre à la taille.	Les pierres de cette carrière sont en général très-gélives; c'est à ce défaut qu'est due la ruine presque totale de la belle façade de l'église Saint-Loup à Namur.
2	Banc des baches (bacs).	0 ,54	On le considère comme le meilleur de la carrière.	
3	Petite baleine.	0 ,30	Exploités pour moellons.	
4	Grande baleine.	0 ,90		
5	Bredeau.	0 ,24	Passable, renfermant des clous de phtanite.	
6	Croûte du chien.	0 ,09	Exploités pour dalles de pavement.	
7	Chien.	0 ,42		
8	Jaune banc.	0 ,24	Passable.	
9	Croûte des clous.	0 ,09	Marbre noir; on en fait des carreaux de pavement.	
10	Bon tenne banc.	0 ,18	Marbre noir.	
11	Croûte du velours.	0 ,09	Marbre noir; on en fait des carreaux de pavement.	
12	Velours.	0 ,24	Marbre noir.	
13	Fier banc.	0 ,18	Employés à faire des meules propres à écraser les graines oléagineuses, le sulfate de baryte, la craie, etc.	
14	Banc des molettes.	0 ,42		
15	Pastouria ou petit banc des clous.	0 ,15	Employé à faire des jambages de portes et de croisées.	
16	Dur et laid.	0 ,42	Pierre de taille.	

ARTICLE IV.

RESSOURCES DE LA FRANCE EN PIERRES A BATIR.

86. Il suffit de jeter un coup d'œil sur une carte géologique de la France (voir pl. VI) pour se convaincre que nos voisins du Midi sont largement dotés de matériaux pierreux.

Si la France ne possède pas, comme la Belgique, cette belle formation carbonifère qui constitue notre principale richesse, par contre la nature y a développé sur une vaste échelle, des terrains et des roches que nous ne possédons pas ou dont notre sol ne renferme que des lambeaux insignifiants. La France possède en effet de puissants massifs de roches granitiques et volcaniques, et la plus grande partie de son territoire est formée de roches des terrains secondaires et tertiaires qui fournissent des pierres de toutes qualités et dimensions, éminemment propres à la bâtisse.

La quantité de carrières, d'ardoisières, d'exploitations de pavés, de pierres à chaux et à plâtre, et de marbres que possède l'empire français est presque innombrable, et son énumération serait une entreprise considérable. Rondelet, dans son *Traité de l'art de bâtir*, a consacré trente-deux pages in-4° à l'indication sommaire des principaux marbres et pierres qu'on trouve dans les 86 départements, et cette liste est certes bien loin d'être complète.

Nous n'entreprendrons pas une semblable tâche. Pour donner une idée des ressources de la France en pierres à bâtir, nous nous bornerons, la carte géologique sous les yeux, à procéder comme nous l'avons fait pour la Belgique, persuadé que nous atteindrons ainsi bien mieux notre but.

87. Idée générale de la constitution géologique. — Les principaux terrains développés en France sont les terrains de transition et primitif, les roches volcaniques, les terrains jurassique et crétacé et les terrains tertiaires. Les terrains houiller, pénéen et de trias y existent également, mais relativement sur une petite étendue.

Nous allons entrer dans quelques détails sur chacun de ces terrains en particulier.

88. Terrain de transition. — Presque tout le territoire des départements des Côtes-du-Nord, de la Manche, du Finistère, du Morbihan, d'Ille-et-Vilaine, de la Mayenne, de la Loire-Inférieure, de la Vendée, des Deux-Sèvres, du Calvados, de l'Orne, de Maine-et-Loire, c'est-à-dire de toute l'ancienne Bretagne et d'une partie de la Normandie, est formé du terrain de transition. Il en existe en outre des dépôts plus ou moins étendus dans les départements des Pyrénées, de l'Ariége, de l'Hérault et des Ardennes, où ils se lient avec les terrains de l'Ardenne belge.

Les roches qui entrent dans sa composition ont une grande ressemblance avec celles de notre terrain ardoisier. Ce sont des schistes plus ou moins fissiles dont on fait des moellons, des dalles et des ardoises, des psammites, des grès et des quartz grenus plus ou moins durs et résistants dont on fait des moellons, des pavés et des pierres de taille. On les exploite pour ces usages notamment à Penaereach, à Querhouenec, à

Gorsmoulic (environs de Quimper, Finistère), près de Grand-Champ et de Kiboulec (environs de Vannes, Morbihan), à Soucelles (Maine-et-Loire), à Fontenay-le-Comte (Vendée), dans les environs de Nantes (Loire-Inférieure) et de Carcassonne (Aude), etc., etc.

Les pricipales ardoisières de France sont celles d'Angers (Maine-et-Loire) et de Fumay (Ardennes). Il en existe, en outre, dans les environs de Charleville, de Rimogne et de Deville-sur-Meuse. Les ardoises d'Angers sont surtout employées à Paris ; celles de Fumay ont longtemps, à peu près seules, été employées en Belgique et elles font encore une rude concurrence aux ardoises de notre Ardenne. On trouvera, dans le tableau suivant, des renseignements sur les dimensions et le poids des ardoises françaises.

INDICATION DES ARDOISES.	DIMENSIONS			POIDS d'un MILLIER.	QUANTITÉ nécessaire pour un mètre carré de couverture.
	LONGUEUR.	LARGEUR.	ÉPAISSEUR.		
Grands carrés d'*Angers*.	0^m,298	0^m,217	0^m,003	610^k,98	42
Cartelette d'*Angers*. . .	0 ,217	0 ,162	0 ,003	340 ,20	76
Grand échantillon de *Charleville*	0 ,271	0 ,189	0 ,003	482 ,65	56
De bateau de *Fumay*. .	0 ,244	0 ,162	0 ,003	204 ,61	80
De chariot de *Fumay*. . .	0 ,244	0 ,162	0 ,0035	292 ,72	80
Des communes de *Fumay*.	0 ,260	0 ,140	»	»	»

Indépendamment de ces dimensions, les ardoises d'Angers, du Fumay, Rimogne et Deville fabriquent des ardoises qui ont les dimensions des ardoises anglaises, *ladies, countess', duchess', queens'*, etc. (59). Les carrières d'Angers fabriquent annuellement 140,000,000 d'ardoises, celles de Rimogne, 51,000,000, de Fumay 45,000,000 et de Deville 28,000,000. On voit d'après cela que les ardoisières d'Angers sont, à elles seules, plus importantes que toutes les autres réunies.

89. Terrain primitif. — Les terrains de transition dont nous venons de parler sont accompagnés, en Bretagne et en Normandie, de massifs considérables de granites et de gneiss dans lesquels sont ouvertes d'importantes carrières. On cite parmi les meilleures, celles de Flamanville, près de Cherbourg, de Saint-Pois, Saint-Sever, le Gast, Coulouvray, Villedieu, Saint-Clair (Calvados), Sainte-Honorine-la-Guillaume (Orne) ; diverses carrières de Reville, près Cherbourg et des environs d'Alençon, de Saint-Brieuc, Honnion, Trenier, Dinan et Saint-Malo fournissent des granites d'une qualité inférieure. Enfin on trouve encore des carrières de granite de plus ou moins bonne qualité dans les environs de Quimper, de Lorient, de Nantes et de la Rochelle. Les ouvrages des ports de Saint-Malo, de Granville et de Cherbourg sont construits en granite tiré des carrières voisines.

Indépendamment des massifs granitiques qui se trouvent ainsi au milieu des terrains

de transition des départements de l'Ouest, il existe des masses considérables de ces roches ainsi que les roches porphyriques, dans les départements du Puy-de-Dôme, de la Creuse, de l'Yonne, de la Côte-d'Or, de la Haute-Vienne, de la Haute-Loire, de l'Allier, du Rhône, de Saône-et-Loire, de la Nièvre, de l'Ardèche, de la Lozère, de la Corrèze, du Cantal, de l'Aveyron, du Tarn et de l'Hérault. C'est à ce massif qu'appartiennent les granites dits de *Bourgogne* qu'on emploie à Paris, concurremment avec les granites de *Bretagne*. On cite comme particulièrement beaux ceux d'Avallon (Yonne), de Semur, de Rouvrai et d'Agey (Côte-d'Or), de Montbrisson (Saône-et-Loire).

90. Roches volcaniques. — On trouve au milieu des massifs de granite que nous avons décrits en dernier lieu, des formations considérables de roches volcaniques (trachytes, basaltes, laves) qui sont exploitées sur un grand nombre de points comme pierres à bâtir ou pour les divers usages indiqués en traitant de ces pierres. Les laves d'*Auvergne*, dont on fait des dalles de trottoirs, sont des pierres de cette espèce qu'on exploite principalement dans les environs de Volvic.

91. Étendue des terrains granitique, volcanique et de transition. — Il existe encore des lambeaux granitiques de moindre importance que ceux décrits au § 89, mais dans lesquels se sont cependant ouvertes des exploitations, dans le département de l'Ariége, près de la ville de Pamiers et dans ceux des Pyrénées, des Hautes-Alpes, des Bouches-du-Rhône (près de Pennafort), des Vosges et du Haut-Rhin.

En somme, les terrains granitiques, volcaniques et de transition dont nous venons de parler occupent plus du tiers de la superficie de la France.

92. Terrain houiller. — Le terrain houiller est relativement peu développé en France ; cependant, il y occupe encore une superficie d'environ 400,000 hectares, principalement dans les départements du Nord et du Pas-de-Calais, de la Loire, de Saône-et-Loire, de l'Allier et du Gard. Il offre, comme en Belgique, des alternances de couches de schistes, de houille et de grès à grains plus ou moins grossiers, passant souvent au poudingue, dans les assises inférieures et à l'arkose. Les grès sont exploités comme matériaux de construction en divers endroits, notamment à Saint-Étienne (Loire). Les schistes sont généralement trop tendres et trop peu résistants aux influences atmosphériques pour servir au même usage.

93. Terrain pénéen. — Ce terrain n'est pas beaucoup plus développé en France que le précédent. On ne le trouve guère qu'au pied des montagnes des Vosges, recouvrant les terrains anciens qui en constituent la partie centrale et culminante. Il y est représenté par des couches de galets, de conglomérats (galets agglomérés par un ciment) et de grès à grains plus ou moins grossiers connus sous le nom de *grès vosgiens*. Ces grès ont souvent une grande analogie d'aspect avec les grès *bigarrés* et les grès *de Luxembourg*, qui appartiennent aux formations plus récentes. C'est probablement à ces grès ou à ceux du terrain de trias qu'on doit rapporter les pierres qui s'extraient près de Forges, Saint-Dié et Senones (Vosges), et de Colmar (Haut-Rhin) ; le grès de Phalsbourg (Meurthe), dont on fait usage pour le soubassement du palais de l'Industrie à Paris est un grès bigarré appartenant également au terrain de trias.

94. Terrain de trias. — Le terrain de trias recouvre le précédent de manière à former une bande d'une certaine étendue qui se développe, parallèlement au Rhin, de-

puis Épinal jusqu'au delà de Trèves et qui contient des couches de *grés bigarré* souvent fort puissantes, donnant des pierres de taille très-belles et très-résistantes ; des couches de calcaire conchylien (*Muschelkalk*) produisant des chaux souvent hydrauliques, et, dans les assises supérieures de la formation, des couches de gypses qui sont exploitées pour la fabrication du plâtre.

Il existe aussi quelques lambeaux détachés de ce terrain sur les pentes des Cévennes, des montagnes de l'Aveyron et des Pyrénées.

95. Terrain jurassique. — Le terrain jurassique occupe en France une place importante. Il forme, au centre, une vaste zone qui s'étend depuis Luxembourg jusqu'à la Rochelle, et qui, à la hauteur de Poitiers, se ramifie en deux branches se dirigeant, l'une vers le nord, jusqu'à Caen, l'autre vers le sud, jusqu'à Montpellier. De plus, il constitue tout le massif des montagnes du Jura, depuis Vesoul jusqu'à Grenoble, et une grande partie du versant méridional des Alpes.

Il occupe ainsi, en tout ou en partie :

Dans le centre.

Les départements des Ardennes, de la Moselle, de la Meuse, de la Meurthe, de la Haute-Marne, de la Côte-d'Or, de l'Yonne, de la Nièvre, du Cher, de l'Indre, de l'Allier, de Vienne, des Deux-Sèvres, et de la Charente-Inférieure ;

Dans l'ouest.

Ceux de la Haute-Saône, du Doubs, du Jura, de l'Ain, de l'Isère, de la Drôme, des Hautes et Basses-Alpes, de Vaucluse, du Var et des Bouches-du-Rhône ;

A l'est.

Ceux de la Charente, de la Dordogne, du Lot, de Tarn-et-Garonne, de l'Aveyron, de l'Hérault, de Maine-et-Loire, de la Sarthe, de l'Orne et du Calvados.

Ce terrain ne renferme que des roches calcaires et des dépôts argileux et siliceux. Les roches calcaires fournissent, sur un très-grand nombre de points, des pierres de taille de toutes dimensions et d'excellente qualité. Nous nous bornerons à citer, parmi les plus connues ou les plus renommées, celles de Jaumont, d'Amvillers, de Servigny et de Longueville, dans les environs de Metz (Moselle), celles de Tonnerre (Yonne), ouvertes principalement dans les environs d'Ancy-le-Franc, d'Anstrude, de Coutarnoux, de l'Ile-sur-le-Serein, et de Grimaud (canton de Noyers) qui donnent une *roche* excellente, parfaitement résistante aux pressions et aux intempéries ; celles de Châtillon-sur-Seine (Côte-d'Or), d'où l'on extrait des pierres lithographiques et une *roche* fort estimée et fort employée à Paris, les pierres de Caen (Calvados) d'un grain très-fin et homogène qui les rend propres à la sculpture (1) ; les pierres dites de *Choin* (Ain) dont on fait un grand usage à Lyon, enfin les carrières des environs de Besançon (Doubs), de Montpellier (Hérault). Les pierres *froides* qu'on emploie à Marseille se tirent des environs d'Aix.

---

(1) Les principales carrières de Caen sont celles d'Aubigny, d'Allemagne, de Cauvicourt, Ancrais, Fontenay, Rauville. Les pierres d'Aubigny et d'Allemagne sont particulièrement recherchées pour la sculpture, et celles de Rauville pour les constructions hydrauliques.

96. Terrains crétacé, tertiaire et d'alluvion. — Tout le reste du territoire français est formé des terrains crétacé, tertiaire et d'alluvion qui, à eux seuls, occupent à peu près 22,000,000 d'hectares, c'est-à-dire les deux cinquièmes environ du sol de l'empire. Le terrain d'alluvion, dont la superficie est évaluée à environ 500,000 hectares, occupe particulièrement les vallées dans lesquelles coulent les grands fleuves. Il ne contient guère que des sables et des cailloux roulés qu'on emploie pour fabriquer les mortiers ou pour l'empierrement des routes. Le terrain crétacé recouvre environ 6,250,000 hectares et est surtout développé dans les départements formés de la Champagne et de la Picardie, ainsi que dans ceux de la Gironde, de Lot-et-Garonne et du Tarn.

Les terrains tertiaires occupent le restant de la France ; ces derniers forment trois vastes dépôts, dont l'un à Paris comme centre et a reçu, pour cette raison, le nom de *bassin de Paris*. Le second constitue le versant septentrional des Pyrénées et s'avance au delà de la Garonne jusqu'aux environs de Cahors et d'Alby. Les villes de Bordeaux et de Toulouse sont assises sur ce bassin, l'une vers l'extrémité nord, l'autre vers l'extrémité sud. Un troisième dépôt, sur lequel sont bâties les villes de Moulins, Châlon-sur-Saône, Mâcon, Valence et Avignon, occupe les limites nord-ouest de l'empire français.

C'est de ces vastes formations que s'extraient presque partout et à peu de frais, les matériaux de construction les plus employés en France. Généralement les pierres d'appareil proviennent d'exploitations ouvertes dans des bancs de calcaire plus ou moins siliceux et de tuffeau, qui offrent des variétés de structure et de dureté souvent considérables, les uns étant durs et résistant au point d'être susceptibles d'être polis, les autres tendres au point de se laisser égrener sous la pression des doigts. Les pierres de *liais*, le *cliquart*, la *roche*, le *banc-franc*, la *tambourde*, le *banc-royal*, le *conflanc*, le *saint leu*, le *vergelé*, que nous avons déjà cités (21) comme étant principalement employés à Paris, sont en quelque sorte des types qu'on remplace ailleurs et même dans cette capitale par des pierres de qualités analogues. Les types se tirent principalement des départements de la Seine, de l'Oise et de Seine-et-Oise et arrivent à Paris où il y en a de vastes dépôts, soit par eau, soit par chemin de fer.

Les principales carrières qui approvisionnent Paris sont :

1° Pour le *liais*, celles de Bagneux, d'Arcueil et de Clamart, qui fournissent le liais *dur*, et le liais *ferault* ou *faux liais*, qui diffère du liais dur en ce que son grain est plus grossier; celles de Maison-Alfort, de Creteil et de l'Ile-Adam, qui fournissent le liais *rose* employé particulièrement pour faire des carreaux de pavage, ainsi que des tablettes et des chambranles de cheminées ;

2° Pour le *cliquart*, les carrières de Montrouge, de Vaugirard et de Val-sous-Meudon. On exploite aussi cette pierre dans les plaines de Bagneux et de Clamart

3° Pour la *roche*, les carrières du fond de Bagneux, de Châtillon-sous-Bagneux, de la Butte-aux-Cailles, près Bièvre, d'Arcueil, de Bel-Air, de Fleury, de Montrouge, d'Ivry, de Vitry, de Saillancourt, de l'Ile-Adam, de Silly, de Sainte-Marguerite de Château-Landon, de Crouy ;

4° Pour le *banc-franc*, les carrières de Montrouge, Bagneux, Châtillon, Arcueil, l'Ile-Adam, Ivry et Charenton.

Ces quatre espèces de pierres constituent, ainsi que nous l'avons déjà dit (21), la classe des pierres dites *dures*, c'est-à-dire qui ne peuvent se débiter qu'avec la scie à eau et à sable ; elles ne diffèrent guère entre elles que par la finesse du grain et l'épaisseur des bancs, qui varie de 25 à 70 centimètres. Elles sont principalement employées, savoir :

La *roche* pour les soubassements, les piles, culées et parapets de ponts et, en général, toutes les parties des édifices qui doivent offrir une grande résistance.

Le *liais*, le *cliquart* et le *banc-franc*, pour les marches d'escalier, les cymaises, tablettes et acrotères des balustrades, les carreaux et dalles de parement, etc., etc.

La *lambourde*, le *conflans*, le *banc-royal*, le *vergelé*, le *saint-leu* et le *parmin* sont de la classe des pierres *tendres* se débitant avec la scie à dents. Leurs principales carrières sont :

1° Pour la *lambourde*, celles de Saint-Maur, qui fournit la pierre la plus estimée, de Carrière-au-Bois, près Saint-Germain-en-Laye, de Gentilly, Nanterre, Carrière-Saint-Denis, Houilles, Montesson, qui fournissent une lambourde de qualité inférieure ;

2° Pour le *conflans* et le *banc-royal*, celles de Conflans, Sainte-Honorine et de Mery-sur-Oise.

Pour le *parmin*, le *vergelé* et le *saint-leu*, pierres qui ont une grande ressemblance entre elles, les carrières ci-dessus dénommées et celles de Silly, l'Ile-Adam, Saint-Vaast, près Creil.

Ces diverses espèces de pierres ne se distinguent également entre elles que par la finesse du grain et l'épaisseur des bancs, qui porte depuis 40 centimètres jusqu'à plus d'un mètre. Le vergelé est celle dont le grain est le plus grossier, le banc royal a le grain très-fin et est très-propre aux ouvrages de sculptures ou aux parties des édifices qui doivent recevoir de fines moulures.

Bordeaux emploie des pierres d'espèces analogues aux précédentes, qui se tirent sur les bords de la Garonne, du Lot, de la Dordogne et de la Vezère, particulièrement dans les environs de Langoiran, de Cerons, Cadillac, Brassac, Saint-Macaire et Rausans, d'où sont venues les pierres employées au célèbre théâtre de cette ville. Toulouse tire ses pierres du département de l'Aude. Rouen reçoit les siennes de Caumont et de Vernon, dont les carrières fournissent un très-beau liais ; Valence emploie des pierres tirées des carrières de Châteauneuf-d'Isère (espèce de molasse), et de Camboin (calcaire ayant l'apparence de marbre et susceptible de recevoir le poli).

C'est, comme nous l'avons dit (47), dans les assises supérieures des terrains tertiaires (parisien et de molasse) qu'on rencontre les meulières ; celles qu'on emploie à Paris se tirent des environs de Corbeil, de Châtillon, de Villeneuve-Saint-Georges, de Mongeron, de Versailles, de Buch et de Burnoy. Les meulières dures de Corbeil et de Châtillon sont réputées les meilleures. Celles de Versailles, de Buch et de Burnoy qu'on a employées à la construction des quais de la Seine sont plus tendres, et elles ont l'inconvénient de se recouvrir, au bout d'un certain temps, d'une couche verdâtre de végétaux parasites qui y entretiennent une humidité nuisible.

Ces terrains renferment aussi :

1° Des quantités considérables de gypse et de gypse calcarifère qui ont énormément développé l'emploi du plâtre à Paris et dans ses environs. Nous avons déjà cité les carrières de Montmartre (près Paris) (34) comme les plus importantes pour l'exploitation de cette espèce de pierre ;

2° Des banc de grès plus ou moins durs et propres à la fabrication de pavés. Dans les environs de Paris on cite comme les plus importantes carrières de pavés celles de Montbisson, Palaiseau, Pontoise, Belloy, Sceaux, Belain, Lozaire, Orsay, Lacave, Train et de la forêt de Fontainebleau ;

3° Enfin, des amas et des bancs de silex pyromaques propres à l'empierrement des routes et aux constructions rustiques.

97. Marbres. — La France possède, ainsi que nous en avons déjà fait la remarque, une très-grande variété de marbres. Rondelet estime que leur nombre est au moins de deux cents. Il en a dressé (*Art de bâtir*, p. 46 et suiv.) la liste d'une centaine des plus connus, parmi lesquels il distingue les blancs, les bleus, les bruns, les gris cendrés, les jaunes, les noirs, les rouges, les verts, et ceux où chacune de ces diverses couleurs domine. Ces marbres se trouvent principalement dans les terrains sédimentaires anciens et dans le terrain jurassique et offrent les plus grandes ressources pour les travaux de décoration.

Le tableau suivant, que nous extrayons des « Rapports du jury mixte international » de l'exposition universelle de 1855, contient l'indication des principaux marbres français employés à Paris.

MARBRES PRINCIPAUX EXPLOITÉS EN FRANCE.

DÉPARTEMENTS ET ENDROITS dans lesquels SE TROUVENT LES CARRIÈRES.		NOM COMMERCIAL DES MARBRES.	PRIX DU MÈTRE CUBE	
			sur la CARRIÈRE.	à PARIS.
Alpes (Hautes-). — Saint-Crépin		Brèche portor	300	600
Ariége. — Aubert, près Saint-Girons		Grand antique	300	765
Aude.	Felines-Hautpoul	Griotte	400	1050
	Cannes	— œil-de-perdrix	500	1150
	Id	— fleurie	500	1150
	Id	— panachée	400	1050
	Id	Grand incarnat	300	775
	Id	Incarnat turquin	300	775
	Id	Cervelas (dit rosé vif)	300	775
	Id	Gris agathise	280	685
	Id	— — (dit Californie)	280	685
	Entre Villartel et Cannes	Vert moulin	375	900
	Id	Rouge antique	500	1250
	Id	Indienne	350	800
	Id	Isabelle	275	710

DÉPARTEMENTS ET ENDROITS dans lesquels SE TROUVENT LES CARRIÈRES.		NOM COMMERCIAL DES MARBRES.	PRIX DU MÈTRE CUBE sur la CARRIÈRE.	PRIX DU MÈTRE CUBE à PARIS.
	Montagne de Sainte-Victoire	Brèche Ste-Victoire (grand mélange)	250	800
	Id.	Brèche Ste-Victoire (rouge)	250	800
B.-du-Rhône.	Id.	Brèche dite de Memphis.	300	875
	Alet	— — d'Alep	275	825
	Aix	Poudingue	250	800
	Thonolet	Brèche galifet	250	800
Côte-d'Or. —	La Doix, près Beaune	Rouge joyeux	150	425
	Saint-Beat	Blanc statuaire	405	900
	Id	— ordinaire	225	575
Garonne (H.-)	Mentions	Nankin coquillier	200	635
	Hers	Jaune uni des Pyrénées	190	575
	Cierp	Brèche de Cierp	200	610
	Molinges	Brocatelle jaune foncé	260	725
	Id.	— — clair	240	700
	Id.	— violette	290	725
	Id.	— rosée	270	710
	Gratz	Jaune fleuri	300	800
Jura.	Vaux	— Lamartine	275	700
	Saint-Gérard	— rosé	200	610
	Id	Ronceux	400	950
	Saint-Amour	Granite rouge de St-Amour	225	560
	Id	— gris de St-Amour	225	560
	Bouëre	Sarrancolin de l'Ouest	250	475
Mayenne	Id.	Rose en jugeraie	225	450
	Id.	— fleuri	250	475
	Id.	Grès panaché	200	425
Meuse. —	Forêt d'Argonne	Marbre d'Argonne dit aussi racine de buis de Lumachelle	225	485
	Corbigny	Bourbonnais	200	550
Nièvre.	Clamecy	Jaune de la Nièvre	250	630
	Cousoire	Cousoire	125	310
	Id	Rouge foncé	200	400
	Id	Sainte-Anne français	150	350
	Hergies	— (Hergies)	125	380
	Hurtebise	— (Hurtebise)	225	425
	Glageon	Glageon	150	375
	Id	Saint-Gillon	150	350
Nord.	Houdain	Noir boules de neiges	120	325
	Id	— à amandes	120	325
	Bellignies	— à pois (poité)	100	300
	Id	— uni	175	425
	Boussois	— coquillier	125	325
	Rocq	Rocq	130	325
	Hestrud	Rouge	200	400
	Id	— Dozoir	150	503
	Marquise et environs	Lunelle blanc	100	300
	Id	— fleuri	175	375
	Id	Napoléon rosé	250	450
P.-de-Calais.	Id	— fleuri	250	450
	Id	— gris	250	450
	Id	Notre-Dame	275	475
	Id	Joinville	175	375

DÉPARTEMENTS ET ENDROITS dans lesquels SE TROUVENT LES CARRIÈRES.		NOM COMMERCIAL DES MARBRES.	PRIX DU MÈTRE CUBE sur la CARRIÈRE.	PRIX DU MÈTRE CUBE à PARIS.
P.-DE-CALAIS.	Marquise et environs	Caroline rubanée	210	410
	Id	Caroline	200	400
	Id	Henriette blonde	250	450
	Id	— brune	225	425
	Id	Stinkal doré	175	375
	Id	Stinkal	150	350
PYRÉNÉES (B.-)	Vallée d'Ossan, entre Oloron et Arudi	Sainte-Anne des Pyrénées	175	425
	Id	Brèche grise	200	475
	Id	Gris perlé	200	475
	Id	Solitaire	150	400
	Louvie-Soubiron	Bleu tigré	225	525
	Id	— de ciel	225	525
PYRÉNÉES (H.-)	Héchet	Lumachelle noire	200	575
	Montag. de la Barousse	Rosé clair	275	660
	Communes de Esbareich et Sost	Héréchède	225	625
	Id	Griotte des Pyrénées	225	650
	Id	— de Sost	215	625
	Id	Vert rubané	250	660
	Campan	Campan vert clair	275	725
	Id	— Isabelle	300	760
	Id	— Hortensia mélangé	325	785
	Id	— rouge	300	760
	Id	— mélangé	300	760
	Id	— vert foncé	325	785
	Ilhet	Sarrancolin doré	325	800
	Id	— couleur chair à flammes	350	825
	Id	— foncé	325	800
	Id	— clair	325	800
PYRÉNÉES (H.-) (*Suite.*)	Beyrède	Beyrède sanguin	350	825
	Id	— sanguin-brèche	350	825
	Bagnères-de-Bigorre	Brèche Caroline	600	850
	Troubat	— Portor	275	725
	Aspin et Ossen	Aspin fouré	200	575
	Id	— clair	175	550
	Mauléon	Brèche infernale	250	625
PYRÉNÉES-ORIENTALES. — Baivas		— dite de Portugal	225	625
SARTHE. — Juigne		Noir de port-étroit	153	400
VAR	Ampus	Jaune d'Ampus	300	675
	Mont. de Ste-Beaume	Brèche jaune de Ste-Beaume	325	725
VOSGES.	Schirmeck	Napoléon des Vosges	275	675
	Id	Brèche Napoléon	275	675
	Framont	— Framont	250	650
	Russ	Buss brun	225	625
	Id	— vert	225	625
	Chippal	Chippal	275	700
	Laveline	Laveline	275	700
	Framont	Framont	225	625
	Mirecourt	Acajou rubané	250	650

ARTICLE V.

DES SABLES.

98. Classification. — Les sables, comme les roches dont ils ne sont souvent que des détritus, se divisent en sables *calcaires* et sables *siliceux*. Les premiers se dissolvent en totalité dans les acides, les autres sont inattaquables. Dans la nature, l'on rencontre souvent des mélanges des deux espèces qui se dissolvent alors en partie.

Les sables *siliceux* sont aussi désignés sous les noms de sables *quartzeux*, *granitiques* ou *volcaniques*, selon qu'ils sont entièrement composés de grains de silice pure, de grains de cette substance, entremêlés de débris de feldspath et de paillettes de mica, ou qu'ils proviennent de la désagrégation de roches volcaniques. Ces derniers sont souvent désignés sous le nom de *pouzzolanes*.

L'on divise encore les sables suivant la grosseur et la régularité de leurs grains. On nomme :

Sables, ceux qui sont formés de grains très-petits, sphériques et réguliers.

Graviers, ceux dont les grains, plus ou moins irréguliers, atteignent la grosseur d'une lentille ou d'un petit pois.

Arènes, les espèces intermédiaires. Ces derniers sont souvent mélangés d'argile à un certain état qui leur communique des qualités précieuses pour la fabrication des mortiers.

Les sables sont généralement blancs, gris, jaunes, rouges ou verts ; ces couleurs sont dues le plus souvent à des oxydes métalliques.

99. Gisement. — Les sables sont des matières très-répandues dans la nature. Tantôt ils forment des atterrissements ou des *bancs* plus ou moins considérables au fond des mers ou des fleuves, et tantôt ils se présentent sous forme de systèmes puissants de couches, de filons ou d'amas, au milieu des roches qui composent l'écorce solide du globe. On désigne les premiers sous le nom de sable de *rivière* ou de *mer*, et les seconds sous celui de sable de *mine* ou de *fouille*. Ces sables sont très-souvent mélangés d'une certaine quantité de terre ou d'argile, dont il est facile de constater la présence et de déterminer la quantité au moyen de l'expérience suivante :

On projette dans un verre d'eau claire une certaine quantité de sable ; si la liqueur reste parfaitement claire, le sable est tout à fait pur ; si elle se trouble, c'est un signe qu'il est mélangé de matières terreuses. Comme le sable se dépose plus vite que la matière terreuse, il sera facile de séparer les deux substances par quelques lavages et décantations, et d'en apprécier ainsi la quantité relative.

Avec un peu d'habitude, on estime assez bien le degré relatif de pureté de divers échantillons de sable en les broyant entre les doigts. Leur rudesse au toucher est d'autant plus grande et le *cri* qu'ils font entendre d'autant plus strident, qu'ils contiennent moins de matières terreuses. On désigne souvent sous le nom de *sable rude* ou de *sable graveleux* le sable pur ou presque pur, et sous celui de *sable doux*, le sable mélangé d'une plus ou moins forte proportion de terre ou d'argile.

100. Usages. — Les sables sont principalement employés en construction : 1° mélangés avec la chaux et les ciments, à la fabrication des mortiers ; 2° aux travaux de pavage : on recherche les plus purs pour cet usage.

ARTICLE VI.

DES ARGILES.

101. Composition et caractères. — Les argiles sont des mélanges naturels ou des combinaisons, en proportions très-variables, de silice et d'alumine, auxquelles viennent souvent s'adjoindre de la chaux, de l'oxyde de fer et diverses autres substances. Elles sont quelquefois tout à fait blanches, mais plus souvent colorées en gris, en rouge ou en vert. Elles jouissent toutes indistinctement de la propriété de se délayer dans l'eau et de former avec ce liquide des pâtes plus ou moins fluides et liantes. Exposées à la chaleur rouge, elles durcissent quelquefois au point de faire feu sous le choc du briquet et elles perdent la propriété de se délayer ultérieurement dans l'eau. Souvent l'action de la chaleur augmente l'intensité de leur couleur naturelle, mais quelquefois elle les décolore tout à fait. Le premier cas a lieu en général, quand la coloration est due à des oxydes métalliques, et le second, quand elle due à des matières charbonneuses ou végétales. L'action du feu produit en outre, sur les argiles, un retrait plus ou moins considérable, et en diminue, en même temps, la densité.

102. Classification. — Les argiles sont classées d'après leur degré de finesse et de pureté et les usages auxquels elles sont propres. Parmi celles qui sont employées aux constructions ordinaires, nous devons citer :

L'*argile plastique* ou *terre à pipe*, qui est compacte, douce et presque onctueuse au toucher ; elle se laisse même polir par le doigt. Elle prend beaucoup de liant avec l'eau et donne une pâte tenace. Elle est infusible au feu de porcelaine (environ 140 degrés du pyromètre de Wedgwood) et y prend une grande solidité. Les argiles plastiques sont souvent grises et deviennent blanches par la cuisson ; quelquefois elles sont jaunâtres et deviennent alors d'un rouge plus ou moins vif. Lorsqu'elles sont moulées sous forme de pièces épaisses, elles se déforment souvent au feu. Ces argiles contiennent des quantités de silice et d'alumine qui varient respectivement de 73 à 57 et de 27 à 43 p. 100. La quantité maximum de peroxyde de fer qu'on y a découvert est de 2,7, souvent on n'en rencontre que des traces. On en fait usage principalement pour la confection des briques et des mortiers réfractaires, ainsi que des creusets nécessaires pour certaines opérations de l'industrie métallurgique. On recherche pour cela les argiles les plus pauvres en oxyde de fer. On s'en sert aussi quelquefois pour la construction des digues et des batardeaux.

L'*argile figuline* ou *terre à potier*. Cette argile a presque tous les caractères extérieurs de l'argile plastique ; souvent elle est, comme elle, douce au toucher, et fait avec l'eau une pâte assez tenace ; mais elle est en général moins compacte, plus friable ; elle se délaye plus facilement dans l'eau. L'argile figuline est parfois très-colorée et,

loin de perdre cette couleur par la cuisson, elle devient ordinairement d'un rouge très-vif. Quelques argiles de cette espèce font une effervescence légère avec les acides, et ces dernières se rapprochent tellement des marnes qu'il est difficile de les distinguer. La chaux et le fer qu'elles contiennent les rendent fusibles à une chaleur souvent inférieure à celle que les argiles plastiques peuvent supporter sans altération. On les emploie principalement à la fabrication des poteries grossières ; on en fait notamment des tuyaux de cheminées, et de conduite pour les eaux et le gaz d'éclairage.

L'*argile marneuse* ou *terre à briques*. Elle varie de consistance, mais elle n'est jamais assez dure pour ne pouvoir point se délayer dans l'eau ; elle est au contraire plus ordinairement très-friable ; et même quelquefois pulvérulente. Le passage de l'humidité à la sécheresse suffit souvent pour en désunir les parties ; elle tombe en poussière dans l'eau et forme avec elle une pâte qui n'a point de liant. Elle fait une violente effervescence avec l'acide azotique, et souvent cet acide dissout plus de la moitié du mélange ; elle se fond facilement au chalumeau. Ces argiles contiennent quelquefois jusqu'à 50 p. 100 de carbonate de chaux. On les emploie : 1° pour en faire des mortiers qui servent aux constructions grossières ou passagères ; 2° et principalement, à la fabrication des briques, des tuiles et de quelques autres espèces de pierres artificielles.

103. Gisement. — On trouve des argiles au milieu de tous les terrains sédimentaires, elles y forment des couches, des amas ou des filons parfois très-considérables ; mais c'est surtout dans les terrains tertiaires qu'on en rencontre les plus grandes masses ; elles y forment souvent d'immenses systèmes de couches alternant avec des sables. Les terres à briques se trouvent presque partout en dessous de la terre végétale.

ARTICLE VII.

DES PIERRES ARTIFICIELLES.

I. — BRIQUES.

104. Espèces diverses. — On divise les briques en briques *crues* ou durcies au soleil, briques *cuites* ou durcies au feu, briques *ordinaires*, briques *réfractaires*, briques *pleines* et briques *creuses*.

Les premières ne sont que fort rarement employées dans nos climats, mais on en fait un grand usage dans les contrées méridionales. On en a trouvé des exemples remarquables parmi les anciens monuments de l'Égypte, et notamment dans les ruines que l'on suppose appartenir à la tour de Babel.

Les secondes, au contraire, sont d'un usage extrêmement répandu dans tous les pays du monde. Les briques réfractaires servent, ainsi que leur nom l'indique, à la construction des fourneaux et en général des appareils qui ont à supporter une haute température ; l'on fait quelquefois usage, dans ce cas, de briques crues. Les briques creuses sont réservées à la confection d'ouvrages légers.

105. Fabrication. — Les procédés de fabrication sont les mêmes, à quelques petites différences près, pour toutes les espèces de briques. Ces différences portent principalement sur le choix, la préparation de la terre et le moulage. Nous les ferons connaître en peu de mots après avoir décrit la fabrication des briques ordinaires, qui peut être considérée comme un type.

Cette fabrication comprend quatre opérations distinctes :

1° Le choix et la préparation de la terre ;

2° Le moulage ;

3° La dessiccation ;

4° La cuisson.

106. Choix des terres. — Une bonne terre à briques ne doit être ni trop argileuse ni trop sablonneuse ; trop argileuse, elle a souvent le désavantage de donner une pâte qui se déforme et se gerce par la dessiccation, et surtout par la cuisson ; trop sablonneuse, elle offre l'inconvénient de donner des produits poreux, absorbants, friables et sans consistance. Il faut choisir un juste milieu entre ces qualités. Si la terre est trop maigre, on peut y ajouter de l'argile ou de la terre plus grasse ; si c'est le contraire qui a lieu, on y ajoute du sable ou de la terre plus sablonneuse. Les mélanges de terres plus au moins grasses, pour en obtenir une pâte convenable, s'effectuent plus facilement que des mélanges d'argile et de sable, et il faut toujours les préférer quand la chose est possible ; mais en général il ne faut recourir à ces mélanges, qui sont toujours coûteux, que quand on ne peut faire autrement. On doit, en outre, veiller à ce que la terre ne contienne ni petits cailloux susceptibles d'altérer l'homogénéité de la pâte, ni corps susceptibles de se décomposer à la température de la cuisson : des pyrites, du calcaire, par exemple. Cette dernière substance est surtout très-dangereuse, en ce qu'elle se réduit alors en grumeaux de chaux qui, absorbant par la suite l'humidité de l'air, se gonflent et font éclater les briques qui les contiennent.

Ce qu'il y a de mieux à faire pour apprécier, avec une certaine exactitude, la bonté d'une terre à briques, c'est d'en faire un essai en petit. Pour cela, on en forme une ou plusieurs petites briquettes, on les fait lentement sécher, puis on les fait cuire dans un four de potier. Ces briquettes sont alors soigneusement examinées sous tous les rapports, et cet examen permet d'estimer à l'avance, avec assez de certitude, quelle sera la qualité du produit fabriqué en grand. On verra, par exemple, si la terre a bien conservé les formes données par le moulage, si le produit est suffisamment compacte et dur, s'il est suffisammsnt tenace et résistant, s'il est inattaquable par la gelée (au moyen du procédé de Brard) ; en un mot, s'il offre toutes les qualités qu'on exige d'une bonne pierre à bâtir. De plus, on aura soin d'estimer, le plus exactement qu'il sera possible, quel est le retrait total que prend la terre par la dessiccation et par la cuisson, afin de fixer les dimensions du moule en conséquence.

Comme on le voit, ce simple essai en apprendra beaucoup plus que ne pourrait le faire l'indication la plus détaillée de certains caractères difficiles à décrire et à apprécier surtout, et qui conduiraient encore bien souvent à des erreurs.

107. Préparation des terres. — Quand on sera bien fixé sur la qualité de la terre, on procédera à sa préparation. Cela se réduit à la diviser le plus qu'on peut par des

moyens quelconques, à la purger des matières nuisibles, et à en former ensuite une pâte aussi homogène que possible par les moyens les moins dispendieux. Pour arriver plus sûrement et à moins de frais à ces résultats, il est d'usage d'extraire la terre avant l'hiver et de la laisser exposée aux intempéries de l'air tout au moins jusqu'au printemps suivant (1). On conçoit aisément qu'ainsi soumise à l'action des météores, la terre se divise et s'ameublit d'elle-même ; que certaines parties pierreuses se désagrégent, se délitent et tombent en poussière ; que les matières décomposables et solubles qu'elle contient peuvent être délavées et entraînées par les pluies, etc., etc. ; en résumé, qu'il se fait ainsi, sans frais, un travail avantageux qu'il serait quelquefois difficile et toujours coûteux d'opérer par des moyens mécaniques.

Au printemps, la terre est gâchée avec de l'eau et réduite en pâte, de la consistance de celle à faire le pain. Cela s'obtient soit par le piétinement des hommes ou des animaux, soit par le corroiement au moyen de pelles, de râbles ou d'autres instruments de ce genre, soit au moyen de machines de diverses espèces.

La plus simple consiste en une espèce de moulin composé d'une auge carrée A (*fig.* 161, *pl.* VII) (2) formée de madriers cloués sur quatre forts piquets implantés dans le sol, au centre de laquelle se trouve un arbre vertical B armé de couteaux disposés en hélice. Cet arbre est mis en mouvement par un manége. La terre jetée dans l'auge, grossièrement débattue avec la quantité d'eau nécessaire, en sort par un orifice *d* (ménagé à la partie inférieure d'une des parois), parfaitement gâchée et prête à être moulée.

Les Anglais, qui apportent un grand soin à cette préparation, d'où dépend en grande partie la bonté des briques, se servent toujours d'appareils de ce genre et qui ne diffèrent de celui qui vient d'être décrit qu'en ce que l'auge est circulaire. (Nous ne pensons pas que cette forme, qui est d'une construction plus difficile, ait une influence bien marquée sur le résultat de l'opération.) En Belgique, on se borne le plus souvent, tout simplement à piétiner ou à *marcher* la terre ; mais on n'obtient ainsi qu'une pâte bien moins homogène et des produits bien moins résistants. On a constaté, par des expériences précises, que la résistance d'une brique faite avec de la terre bien corroyée était souvent presque double de celle d'une brique faite avec les soins ordinaires.

Les Anglais ajoutent aussi ordinairement à la terre, avant de la faire passer au moulin, une certaine quantité de poussière de coke passée au tamis ou à la claie. Cette poussière a pour premier effet de décolorer la brique, chose à laquelle on tient beaucoup dans plusieurs villes de l'Angleterre, et, en second lieu, de la rendre plus légère, plus poreuse et moins susceptible de se déformer pendant la cuisson, ce qui est beaucoup plus important. On arriverait au même résultat avec de la sciure de bois, dont on a quelquefois sous la main des tas considérables.

108. Moulage. — On donne généralement aux briques la forme d'un parallélipi-

---

(1) Dans quelques pays, cette exposition aux intempéries se prolonge pendant plusieurs années consécutives.

(2) A Niel et à Boom ces auges ont environ $1^m,20$ de hauteur, sur $0^m,80$ de côté dans-œuvre.

pède rectangle ayant en longueur deux fois sa largeur et trois ou quatre fois sa hauteur à peu près (les briques anglaises ont pour épaisseur un tiers de la longueur, les nôtres un quart). Les dimensions en longueur et en largeur sont d'ailleurs déterminées par la nécessité de satisfaire à certaines conditions qui dérivent de la manière de de construire les murs. Il faut, pour que la liaison régulière soit possible, que deux largeurs de briques, plus le joint de mortier qu'on interpose entre elles, soient égales à la longueur. Quant à l'épaisseur, sa détermination paraîtrait devoir reposer sur le degré de résistance de la matière et la perfection des surfaces du solide ; mais, d'un autre côté, la convenance d'employer la moindre quantité de mortier, tout en conservant aux briques une bonne assiette, doit aussi entrer en ligne de compte. C'est ce qui explique pourquoi les Anglais, qui emploient en général d'excellentes pâtes, donnent cependant à leurs briques des épaisseurs relatives plus grandes qu'on ne le fait en Belgique où, dans bien des cas pourtant, la résistance de cette pierre artificielle est beaucoup moindre. A cet égard-là, nous pensons qu'il est en général convenable de suivre l'usage des lieux.

Bien que la forme parallélipipédique soit la plus fréquente, on en emploie pourtant quelquefois d'autres. Ainsi, pour la construction des voûtes et des maçonneries circulaires d'un petit rayon, comme celle des puits, des colonnes, etc., on fait usage de briques en forme de coin, qui se prêtent mieux au travail. On en fait aussi pour la confection des moulures, qui présentent la forme de cavets, de quarts de rond, de tores, etc. ; pour la construction des cheminées d'habitations, on fabrique de grandes briques plates offrant des échancrures en portion de cercle ou d'éllipse propres à former, par leur assemblage, des tuyaux de section circulaires ou elliptiques, (briques *Gourlier* fort employées à Paris).

Toutes ces formes s'obtiennent par le moulage, qui s'exécute presque partout par des ouvriers qui en font leur métier.

On a imaginé bien souvent des machines destinées à les remplacer, mais les bons briquetiers possèdent une si grande habileté dans leur art, qu'elles n'ont pu, jusqu'à présent, leur faire une concurrence bien avantageuse ; ce qui fait qu'elles sont encore d'un usage fort peu répandu.

Procédé belge. — Nous décrirons d'abord le travail d'un atelier de mouleurs tel qu'il s'exécute dans toutes nos provinces.

Les outils dont ils se servent se composent :

1° D'une table grossière A (*fig.* 162) appelée *selle*, sur laquelle se trouve un baquet rempli d'eau D et une certaine quantité de terre gâchée ;

2° D'un second baquet, porté sur quatre pieds et à moitié rempli de sable B ;

3° De deux moules composés de quatre planchettes en bois blanc fortifiées par des bandelettes en fer C (*fig.* 162 et 163) ;

4° D'une petite palette de bois, ou *plane* dans laquelle se trouve implantée une broche qui remplit l'office de manche (*fig.* 164).

L'atelier se compose d'un maître mouleur et d'un ou deux enfants ou apprentis qui lui servent d'aides. Les ouvriers qui démêlent et corroient la terre dans les fosses ont, en outre, pour tâche de fournir constamment de pâte la table du mouleur.

Les deux moules se trouvent dans le baquet à sable, et la plane dans le baquet à eau.

Tout étant ainsi disposé et la table chargée de terre gâchée, le maître mouleur prend place sur le devant, saisit un des deux moules, le saupoudre de sable et le pose à plat sur la table. Après cela, avec les mains, il découpe un morceau de pâte suffisant pour former une brique, le jette dans le moule où il l'étend et le presse ; puis il en égalise la surface supérieure d'un coup de plane qu'il rejette aussitôt dans le baquet à eau.

En troisième lieu, il passe le moule ainsi rempli à l'un des deux aides et répète immédiatement les opérations avec le second moule, et ainsi de suite.

L'apprenti, aussitôt qu'il a reçu le moule rempli des mains du maître, court le décharger sur le sol, préalablement bien nivelé et sablé, de la briqueterie, et le rejette dans le bac à sable en venant reprendre des mains du mouleur un autre moule rempli pendant l'intervalle de cette allée et venue, qui se répète jusqu'à la fin du travail.

La rapidité de ces diverses opérations est tel qu'un bon atelier de mouleurs, organisé ainsi qu'on l'a dit, peut mouler de 6 à 8,000 briques par jour.

Cette grande rapidité de fabrication a sans doute des avantages; mais si l'on considère qu'elle est souvent achetée au prix de la beauté et de la bonté du produit, on sera amené à reconnaître que, pour les grands travaux d'art et d'utilité publique, tout au moins, pour ces travaux qui doivent traverser les siècles, il serait convenable d'adopter des procédés un peu moins grossiers, dût-il en résulter une certaine perte de temps et un léger surcroît de dépense. Les procédés suivis en Angleterre donneront à cet égard d'utiles indications. Ils feront saisir la raison de l'énorme différence qui se remarque entre les produits des briqueteries anglaises et des nôtres.

Nous allons les décrire tels que nous les avons étudiés sur les lieux.

Procédé anglais. — Les instruments de moulage dont se servent les briquetiers anglais ont beaucoup de ressemblance avec les nôtres ; seulement ils sont en général exécutés avec plus de soin. Ainsi les moules sont non-seulement garnis sur leurs bords de bandelettes en fer poli, mais les parois intérieures elles-mêmes sont doublées de lames de même métal, polies et ajustées avec le plus grand soin. Le banc de moulage est formé d'un madrier dont la face supérieure est parfaitement dressée, porté sur quatre pieds assez grossiers. A l'une de ses extrémités (à gauche du mouleur) se trouvent deux petites cases A (*fig.* 165) ; l'une remplie de sable pour saupoudrer le moule, l'autre contenant une trentaine de petites planchettes en bois blanc, bien plane et d'une superficie un peu plus grande que la plus grande face de la brique. A la même extrémité viennent s'assembler deux solives B, placées dans une position perpendiculaire à l'arête intérieure de la table et soutenues horizontalement par des pieds. Ces deux solives laissent entre elles un petit espace maintenu constant par une planche clouée sur leur face inférieure. Leur face supérieure affleure celle de la table et elle est garnie de deux tringles en fer carré formant une sorte de petit chemin de fer. On verra plus loin l'usage de cet attirail.

Le moulage se fait comme nous l'avons décrit plus haut ; mais au lieu de passer le moule plein à l'apprenti qui court le décharger sur le sol de la briqueterie, le mouleur dégage lui-même la brique de la manière suivante: il prend l'une des planchettes dont nous venons de parler, la pose sur le dessus du moule et retourne le tout sens dessus dessous ; puis, soulevant le moule par ses oreilles, il laisse la brique sur la planchette. Cette dernière ainsi chargée est placée sur le petit chemin de fer et poussée aussi loin que possible. Cette opération faite, le mouleur saupoudre son moule de sable, forme une seconde brique absolument de la même manière, et continue indéfiniment ce manége.

Quand le petit chemin de fer est chargé de 10 à 12 briques, l'apprenti commence à les enlever pour les porter à sécher sur le sol de la briqueterie. Pour cela il se sert d'une brouette que nous avons représentée *fig.* 166, sur le plancher de laquelle il dépose successivement et avec précaution 24 briques. Arrivé au point où il doit opérer le déchargement, il trouve une planchette semblable à celle sur laquelle sont posées les briques ; il la prend, la pose sur la surface supérieure de la brique qu'il veut transporter de sa brouette sur le sol, et tenant ainsi la brique serrée entre les deux planchettes (*fig.* 167), il la dépose de champ. Quand les 24 briques sont placées sur l'aire de la briqueterie, il répare, au moyen de la même planchette dont il se sert comme d'une batte, les angles ou les arêtes qui pourraient avoir souffert, puis il retourne auprès du mouleur avec les 24 planchettes, et bientôt il peut prendre une nouvelle charge.

Toutes ces opérations marchent encore fort rapidement ; un bon atelier de mouleurs anglais, composé d'un ouvrier qui prépare la terre, d'un mouleur et d'un apprenti peut ainsi fabriquer, en 15 heures de travail, 4 à 5,000 briques, qui équivalent en volume à 6 ou 8,000 des nôtres (1).

L'on voit ainsi que, malgré une bien plus grande perfection d'exécution, le prix de revient de la main-d'œuvre des briques qui entrent dans la confection d'un mètre cube de maçonnerie, n'est pas augmenté ; et s'il y avait augmentation sur ce point, elle serait compensée par la bien moins grande quantité de mortier nécessaire pour les lier entre elles.

L'on fabrique souvent en Angleterre des briques offrant, sur l'une de leurs grandes faces, une dépression de peu de profondeur. Cela s'obtient en complétant le moule ordinaire par un fond présentant un relief qui produit le creux. Ce fond (*fig.* 168), garni d'une plaque de tôle polie, comme les parois latérales, est fixé à demeure sur le banc de moulage, et les opérations se font exactement de la même manière que dans le cas ordinaire. Le creux est fait dans l'intention de pouvoir interposer plus de mortier entre les tas de briques, tout en conservant pourtant des joints très-serrés à l'ex-

---

(1) Les briques de Londres ont $0^m,23$ de longueur, $0^m,11$ de largeur et $0^m,065$ d'épaisseur, soit $0^{m3},0016$. Les plus fortes briques de Boom n'ont pas respectivement $0^m,20$, $0^m,10$, $0^m,05$, soit $0^{m3},0010$.

térieur. Ces briques sont surtout employées pour la construction des citernes et des aqueducs.

109. Dessiccation. — Dans le procédé belge, les briques portées sur l'aire de la briqueterie y sont d'abord déposées à plat, comme l'indique la figure 169. Elles prennent dans cette position un premier degré de dessiccation, et lorsqu'elles ont acquis assez de consistance pour être remuées sans se déformer, on les redresse de champ (*fig* 170). Dans le procédé anglais, on les pose immédiatement de champ, ainsi que l'indique la figure 171. Elles restent ainsi, dans l'un et l'autre cas, sur le sol de la briqueterie un temps plus ou moins long et qui dépend de l'état de l'atmosphère. Pour en achever la complète dessiccation, on les empile ensuite sous de grossiers hangars, ainsi que l'indique la figure 172, de manière à ce que l'air puisse librement circuler dans toute la masse. C'est ce que l'on appelle *mettre en haie*. Les haies ont rarement plus de 2 mètres de hauteur. Assez souvent on se borne à les abriter au moyen de paillassons amovibles. Quelquefois, en mettant en haie, les ouvriers *parent* les briques, c'est-à-dire qu'ils raclent leurs angles avec une petite palette de bois pour les aviver.

110. Cuisson. — La cuisson s'opère soit au bois, soit à la tourbe, soit à la houille. Dans les deux premiers cas, on se sert toujours de fours construits exprès pour cet usage ; dans le second, on s'en passe souvent en suivant le procédé que nous allons d'abord décrire, et qui est connu sous le nom de *cuisson en tas*.

Ce mode de cuisson est surtout en usage dans les pays houillers ; les autres sont, au contraire plus fréquemment employés dans ceux où le charbon de terre est rare. Ainsi, c'est le seul en usage dans les provinces de Liége, de Namur et du Hainaut, tandis qu'en Flandre et dans la province d'Anvers, la cuisson au bois est plus souvent usitée.

Cuisson ordinaire ou en tas. — Voici comment s'opère la cuisson en tas : Sur une aire bien nivelée et bien asséchée au moyen de fossés et de rigoles convenablement disposés, on pose, de champ, une première couche de briques **1** (*fig*. 173), en ayant soin de laisser, entre chaque rang, un vide égal à l'épaisseur d'une brique. Ce vide, que l'on nomme *clair-champ*, est rempli de menu combustible (1). Sur cette première couche, on en pose une autre **2** de la même manière, mais dans un sens perpendiculaire. Cette dernière est interrompue, à distance de trois briques des angles, par un intervalle d'une brique de longueur A, que l'on répète successivement sur toute la longueur du tas, de cinq en cinq briques ; le troisième tas **3** se pose comme le premier, et le quatrième **4** comme le second, mais l'un et l'autre respectent les vides marqués par le second. Ces vides doivent former autant de canaux destinés à communiquer le feu à toute la masse (2). Les clairs-champs s'arrêtent au troisième tas ; dans les suivants les briques sont posées jointives et séparées seulement de deux en deux tas (ou de

(1) On se sert ordinairement, comme pour la cuisson de la chaux, des plus mauvaises qualités de charbon.

(2) On doit prendre la précaution, autant que possible, de diriger l'axe de ces canaux dans un sens perpendiculaire à celui dans lequel soufflent les vents dominants.

trois en trois tas suivant la qualité du combustible) par un lit de menue houille de deux à trois centimètres d'épaisseur ; les cinquième et sixième tas se posent comme on l'a indiqué dans la figure qui fait voir que le cinquième tas empiète de chaque côté de 1/4 de brique sur l'espace réservé aux canaux, et que le sixième les ferme entièrement par le haut. On y ménage seulement, de distance en distance et au droit des canaux, des espèces de cheminées carrées B, par lesquelles on jette de la houille enflammée pour porter le feu partout en peu de temps. On a d'ailleurs soin, avant de recouvrir les canaux, de les remplir de brindilles de bois sec et de morceaux de grosse houille.

Les choses en étant à ce point, on met le feu partout, et il se propage bientôt avec rapidité. Au bout de dix-huit à vingt heures, toute la masse se trouve incandescente ; on bouche alors, avec quelques briques et de l'argile, l'orifice des canaux ainsi que les cheminées, afin de modérer l'activité du feu ; puis l'on continue le chargement du four, au moyen de couches successives et croisées à angle droit de briques posées de champ et jointives, séparées par des couches de houille menue appelées *charbonnées*.

Ce chargement exige une foule de précautions, qu'il serait trop long de décrire ici, pour diriger le feu d'une manière uniforme, tout en n'employant que la quantité de combustible strictement nécessaire ; c'est en cela que réside le talent d'un bon chauffeur.

Au fur et à mesure que le massif s'élève, on recouvre ses parois d'un placage d'argile (*Chemise*) mélangée de sable et de paille, afin de diminuer le retrait, et de donner de la consistance à l'enduit ; l'on recouvre de la même manière le dernier tas de briques.

Le tout a alors la forme d'un tronc de pyramide (*fig.* 174), dont les dimensions varient. On fait des fournées qui contiennent jusqu'à un million de briques, mais elles sont très-difficiles à diriger et donnent de très-grands déchets. L'on dépasse rarement cinq cents milliers, et le plus communément on fait les fournées de deux cent mille pièces. Elles ont alors environ trois mètres cinquante centimètres de hauteur et neuf mètres de côté (mesuré à demi-hauteur).

Il faut environ huit jours pour l'établissement complet d'une telle fournée, et douze à treize jours pour la cuisson complète, à partir de la mise en feu.

Quant à la quantité de charbon, elle varie, suivant sa qualité et l'habileté du chauffeur, d'environ 130 à 280 kilogrammes par mille briques.

On conçoit, d'ailleurs, que malgré toutes les précautions prises dans le montage des tas et la répartition des charbonnées, il est bien difficile de diriger la cuisson d'une manière uniforme dans toute la masse. On y parvient, cependant, jusqu'à un certain point, en débouchant tantôt l'un, tantôt l'autre des orifices des fourneaux, et en abritant les parties exposées aux vents dominants par des toiles tendues sur des perches (A, *fig.* 174) ou par des paillassons.

Néanmoins, il arrive presque toujours que les briques placées vers le centre se trouvent vitrifiées, tandis que celles qui avoisinent la chemise ont à peine reçu un premier degré de cuisson. Ces dernières, dans une fabrication suivie, servent à former la base d'une fournée subséquente. Quant aux autres, elles ne sont propres

qu'à des ouvrages grossiers et cachés : on peut les utiliser avantageusement dans les massifs de fondation.

Klamp de Rupelmonde. — Dans quelques localités, et notamment à Rupelmonde, sur les bords de l'Escaut, la chemise d'argile dont on recouvre les parois du tas est remplacée en tout ou en partie par une enceinte en maçonnerie, qui forme alors un véritable four, auquel on donne, dans les localités citées ci-dessus, le nom de *klamp*. A Rupelmonde, ces fours ont généralement la forme de chambres carrées de 7 mètres de côté, dont les murs ont environ 3 mètres de hauteur sur $1^m,50$ d'épaisseur. Ils sont percés dans les faces antérieure et postérieure de trois trous ou créneaux des dimensions indiquées (*fig.* 175), qui servent d'orifices aux foyers. Dans les murs latéraux sont pratiquées, à des niveaux différents, des portes voûtées, par lesquelles s'opère l'enfournement. Cette opération s'exécute comme à l'ordinaire par couches alternatives de briques et de menu charbon : on prend soin seulement de disposer les canaux des foyers dans le prolongement des axes des orifices pratiqués dans les murs antérieur et postérieur : la partie du tas qui s'élève au-dessus des murs est recouverte d'un placage d'argile comme à l'ordinaire.

Fours de Hémixem. — A Hémixem, ces fours ont été récemment modifiés d'une manière heureuse, et qui donne d'excellents résultats. On les a transformés en chambres rectangulaires voûtées d'environ 3 mètres de large, 6 mètres longueur, et 4 mètres de hauteur sous clef.

Une porte d'enfournement, qui occupe toute la hauteur du four, est pratiquée dans le mur de face, et quelques trous rectangulaires, ménagés à travers la voûte, donnent issue aux produits de la combustion.

L'enfournement s'effectue comme à Rupelmonde, mais au lieu de ménager trois canaux pour la mise en feu, on n'en pratique qu'un seul, que l'on place dans le sens de l'axe longitudinal de la chambre.

La conduite de ces fours est beaucoup plus aisée que celle des tas ordinaires ; ils donnent moins de déchet, et une économie très-notable en combustible.

Ordinairement les chambres sont accolées au nombre de trois, ainsi que nous l'avons représenté (*fig.* 176).

Fours de Boom. — A Boom, sur le Rupel, la cuisson se fait au bois ou à la houille, dans des fours qui ont une certaine ressemblance avec ceux de Hémixem ; ils ont la forme (*fig.* 177, pl. VIII) d'une chambre rectangulaire, couverte par une voûte en plein cintre, ayant dans-œuvre environ $5^m,90$ de longueur, $3^m,10$ de largeur et $3^m,10$ de hauteur sous clef. Les murs longitudinaux ont $0^m,70$ d'épaisseur, et la voûte une brique ou 20 centimètres seulement ; la paroi antérieure a $1^m,26$, et le mur du fond 1 mètre à peu près ; les murs longitudinaux sont contre-butés par un massif de terre, dont le pied est soutenu par un petit mur massif qui, tout en s'opposant à la poussée au vide, empêche aussi la déperdition de chaleur.

La face antérieure du four est percée, vers le bas, de trois créneaux A (*fig.* 177 élévation), qui ont environ 28 centimètres de largeur, sur le double de hauteur. La face postérieure est munie de deux créneaux semblables A′, qui se trouvent dans le prolongement des précédents, et d'une porte B, par laquelle s'opère le chargement.

Enfin, la voûte est percée en plusieurs endroits de petites cheminées ou évents, de 15 à 20 centimètres de section en carré, qui servent à évacuer les produits de la combustion, et à diriger le feu. Le four est placé entre deux hangars sous lesquels se placent les hommes de service et les matériaux destinés à la cuisson.

L'enfournement s'opère de la manière suivante : On commence par établir, dans le prolongement des créneaux A, trois canaux voûtés qui s'étendent d'une extrémité à l'autre du four, et l'on a soin de ménager, dans la voûte qui les recouvre, cinq ou six ouvertures de 15 à 20 centimètres de côté, par où la flamme pourra s'échapper. Le restant de la capacité intérieure de la chambre est ensuite rempli de tas recroisés de briques empilées de champ et à claire-voie.

Les matériaux étant ainsi rangés, on bouche la porte de chargement, au moyen d'une maçonnerie grossière de briques et d'argile, et l'on clôt de la même façon les deux créneaux adjacents.

L'ouvrier chargé de la cuisson commence alors sa besogne. Il a près de lui un tas de fagots de sapin, ayant environ 20 centimètres de diamètre sur un mètre de long. Il en prend successivement trois, les allume et les pousse avec un bâton ou une fourche dans les canaux. Il pousse ensuite de la même manière, de nouvelles bourrées de fagots de sapin, suivant le besoin et de manière à graduer insensiblement la violence du feu, jusqu'à porter toute la masse au rouge blanc. Alors il bouche hermétiquement tous les orifices, et laisse refroidir le four qui est ouvert et déchargé, dès qu'il est descendu à une température assez basse pour permettre aux ouvriers d'y entrer. La cuisson dure ordinairement quarante-huit à cinquante heures.

On s'assure que le feu se propage régulièrement, en pratiquant de temps à autre un regard dans la maçonnerie qui bouche la porte de chargement. Quand le cas le requiert, on débouche les créneaux A', et l'on enfourne des fagots des deux côtés à la fois, activant le feu vers les points où l'on s'est aperçu que la chaleur n'était pas suffisamment intense, et relentissant ailleurs, de manière à rétablir l'équilibre.

On obtient, en opérant comme nous venons de le décrire, des briques d'un rouge plus ou moins vif. On les colore quelquefois en gris de fer ou en bleu sale, au moyen d'un tour de main qui se pratique tout à la fin de l'opération, et qui consiste à enfumer le four le plus qu'on le peut. Pour cela, quand on s'aperçoit que les matériaux sont arrivés à la température de la chaleur blanche, on introduit dans les canaux des fagots de bois vert et mouillé, garni de feuilles ; on bouche immédiatement ensuite tous les orifices, on recouvre le dessus du four d'une couche de sable mouillé, puis on laisse refroidir.

Le four, tel que nous l'avons décrit, exige l'emploi du bois comme combustible ; mais on l'a rendu propre à l'emploi de la houille à longue flamme, au moyen d'une petite modification. Le fond des créneaux A et A' est garni d'une grille composée de barreaux en fonte, et placé au-dessus d'un cendrier pratiqué dans le massif des ondations. Il existe une grille semblable dans l'axe de la porte de chargement, et, quand on la ferme, on a soin de ménager dans la maçonnerie un créneau de même grandeur que les autres, au-dessus de cette grille. L'on forme, de cette manière,

six foyers mis en communication, deux à deux, par les canaux longitudinaux. On y allume le feu en même temps, et on le pousse graduellement et de manière à répandre uniformément la chaleur sur tous les points. La cuisson à la houille est beaucoup plus économique en temps et en argent que l'autre, et on l'y a substituée dans un grand nombre de briqueteries. Elle ne dure guère plus de trente-huit à quarante heures, et elle revient à environ 1 fr. 50 c. de moins par 1,000 briques.

Fours du Hainaut. — On se sert dans le Hainaut, mais seulement pour la cuisson des briques réfractaires, des pannes et des carreaux, et de quelques autres poteries grossières, de fours semblables à ceux que nous avons représentés (*fig.* 178), et dans lesquels on remarque ;

1° Une chambre A voûtée, longue de 5^m, large de $2^m,50$ en son millieu et haute de $2^m,10$ sous clef, sous le pavé de laquelle se trouvent pratiqués deux canaux B, qui se développent le long des deux longs côtés et qui sont terminés supérieurement par des voussures en terre réfractaire, de la forme représentée *fig.* 179.

Ces voussures se posent sur les pieds-droits, à $0^m,20$ l'une de l'autre, et supportent des rangées de briques réfractaires qui les recroisent à angle droit et qui laissent également entre elles des intervalles de 15 à 20 centimètres. A leur origine, les canaux B ont 60 centimètres de largeur sur autant de hauteur, mais ils vont en se rétrécissant jusqu'à ne plus avoir que 20 centimètres de hauteur à l'extrémité opposée.

On entre dans la chambre A par une porte C, pratiquée dans la face postérieure du four, porte qui se bouche, ainsi que les orifices C' des canaux, au moyen d'une maçonnerie grossière, lorsque le chargement du four est terminé. Les orifices C n'ont d'autre but que de faciliter le ramonage des canaux après chaque cuisson.

2° Un foyer D, placé sur le devant du four, qui n'offre de particulier que la construction de sa grille, dont les barreaux sont faits en argile réfractaire et ont la forme représentée *fig.* 180.

Ce foyer est muni d'une porte de chargement qu'on peut ouvrir ou fermer à volonté.

3° Enfin une cheminée E de 3 à 4 mètres d'élévation sur 30 à 35 centimètres en carré de vide intérieur, placée à l'opposite du foyer et débouchant dans la voûte de la chambre A.

Les maçonneries sont fortifiées par des contre-forts F et maintenues par des ancrages qui les empêchent de pousser au vide et de se disloquer par l'effet des grands changements de température.

Toutes les parois intérieures de la chambre et du foyer sont en briques réfractaires.

L'enfournement et la cuisson se dirigent exactement de la même manière que dans les fours de Boom.

Nous nous dispenserons de parler de quelques autres espèces de fours, qui ne sont pas en usage en Belgique, et qui se rapprochent d'ailleurs plus ou moins de ceux que nous avons décrits. Nous renvoyons pour cela aux ouvrages spéciaux ; mais nous ferons remarquer que, quelle que soit l'espèce de four et de combustible employés,

la masse entière d'une fournée de briques n'obtient pas le même degré de cuisson. Presque toujours les pièces les plus voisines du feu sont vitrifiées ou déformées, tandis que les plus éloignées ont à peine subi un premier degré de cuisson. Ces dernières peuvent repasser une seconde fois dans le four, mais les autres doivent être considérées comme pièces de rebut. Toute l'attention du chauffeur doit se porter à en diminuer le nombre.

111. Qualités requises d'une bonne brique. — Une bonne brique doit être parfaitement moulée, à vives arêtes, sans ébréchures ; elle doit rendre un son clair quand on la frappe avec un corps dur ; avoir le grain fin, serré et homogène dans sa cassure : ne renfermer aucun élément décomposable à l'air et susceptible de la dégrader après sa mise en œuvre ; elle doit pouvoir résister à l'action de la gelée et des intempéries.

112. Briques réfractaires. — On exige de plus, dans quelques circonstances, qu'elle puisse résister sans se fondre ou se déformer à l'action d'une forte chaleur. On satisfait généralement à cette dernière condition en employant des argiles plastiques ou figulines très-pauvres en chaux et en oxyde de fer.

113. Briques creuses. — Nous ne dirons que peu de chose des briques creuses, dont l'usage est beaucoup moins répandu que celui des briques ordinaires. Leur fabrication se dirige à peu près comme celle de ces dernières ; mais elle exige une argile moins grossière et des procédés de moulage plus compliqués. Les briques creuses, dont l'usage est le plus répandu, sont celles dites de *Borie* de la fabrique Borie frères, à Paris. Elles sont faites au moyen d'une machine spéciale qui lamine la terre en prismes tubulaires qu'on découpe en fragments plus ou moins longs, et qui permet ainsi d'obtenir des briques de la forme indiquée par les fig. 181, 181a, 181 et 181c, pl. VII.

On fait aussi des briques creuses ayant la forme d'un tronc de cône terminé par un prisme carré, avec lequel il se raccorde (*fig.* 182), d'autres ayant la forme d'un prisme hexagonal (*fig.* 183), etc., etc. — Ces dernières servent principalement à la construction des planchers et des voûtes légères, tandis que les briques Borie sont particulièrement employées à la construction des murs.

II. — TUILES.

114. — On fabrique des tuiles d'un grand nombre de formes ; mais les plus communément employées sont : les tuiles *plates*, qui ont la forme d'une ardoise assez épaisse; les tuiles *creuses*, qui ont celle d'un auget tronc-conique, et les tuiles *flamandes* ou *pannes*, qui ont, dans leur section transversale, la forme d'un S. Nous avons représenté ces trois espèces de tuiles dans les figures 184, 185 et 186 (1).

---

(1) On fabrique, depuis un certain nombre d'années, une espèce de tuile connue sous le nom de leurs fabricants, *Josson* et *Delangle* d'Anvers, qui sont actuellement très-fréquemment employées. Ces tuiles ont une forme qui se rapproche de celle d'un losange, et elles présentent par-dessus et par-dessous, vers les bords, des rainures et des saillies, qui s'emboîtent les unes

La fabrication de ces matériaux de couverture ressemble beaucoup à celle des briques ; seulement, elle exige un peu plus de soins et une terre moins grossière. Il nous suffira, pour en donner une idée, de décrire la fabrication des *pannes* telle qu'elle se fait à Boom, sur le Rupel.

115. Préparation de la terre. — La terre s'extrait, comme pour la fabrication des briques, avant l'hiver, et elle reste exposée aux intempéries jusqu'au printemps suivant. Le corroyage s'effectue au moyen de la machine décrite au numéro 107 ; mais avant d'être portée au mouleur, la pâte, en sortant du moulin, passe par les mains d'un ouvrier qui la manipule avec soin, en extrait les pierrailles et les pyrites, puis la découpe en tranches ou *vasons* susceptibles de donner chacun une tuile.

116. Moulage. — Le moulage exige deux opérations ; la première consiste à former une plaque régulièrement épaisse et ayant la grandeur de la panne développée. On se sert pour cela d'un châssis formé de tringles en fer ayant la forme représentée *fig.* 187, et l'on opère exactement comme pour le moulage d'une brique. La seconde consiste à plier la panne, ce qui s'effectue de la manière suivante :

Quand les plaques dont il vient d'être question se sont un peu ressuées, l'ouvrier les prend une à une, les pose successivement sur une espèce de selle représentée *fig.* 188, et leur en fait prendre la courbure. Il en polit, en même temps, la surface vue en la frottant avec la main mouillée, et il forme l'S en recourbant la portion de la plaque qui dépasse le moule contre le bord de celui-ci, comme on le voit dans la figure 188 *bis*. Le crochet de la panne se fait au moyen d'un coup de pouce appliqué à l'endroit de la cavité *q* existant dans le moule. La dépression produite de cette manière est ensuite remplie avec de la pâte. Pour dégager la panne du moule sans la déformer, l'ouvrier pose dessus une palette cylindrique (*fig.* 189), puis il retourne le tout sens dessus dessous.

117. Dessiccation. — Les tuiles sont transportées au moyen de la palette cylindrique sur une étagère à claire-voie placée sous un hangar, et elles y sont posées les unes à côté des autres, la convexité tournée vers le haut. Quand elles sont suffisamment sèches pour ne plus se déformer par le transport, on les dresse de champ et au soleil sur le sol de la fabrique, et elles y achèvent ainsi leur dessiccation complète.

118. Cuisson. — L'enfournement et la cuisson s'opèrent exactement de la même manière que pour les briques ; on les colore quelquefois en bleu sale en enfumant la fournée à la fin de l'opération. Assez souvent on cuit dans la même fournée non-seulement des briques et des pannes, mais encore des carreaux de pavage dont nous parlerons tout à l'heure.

119. Qualités requises d'une bonne tuile. — On exige d'une bonne tuile qu'elle

---

dans les autres. Les toitures faites avec cette espèce de tuiles sont fort bonnes quand elles sont exécutées avec soin. On peut, en combinant les tuiles rouges avec les tuiles bleues, produire avec cette espèce de tuiles des dessins extrêmement variés, qui font en général un bon effet, surtout dans les constructions rurales.

soit inattaquable par la gelée, bien moulée et suffisamment résistante pour que, placée sur le sol, la convexité tournée en l'air, elle puisse supporter le poids d'un homme qui monte dessus à pieds joints. On exige de plus qu'elle rende, quand on la frappe avec un corps dur, un son franc, clair et presque métallique. Un son sourd et faux indique toujours des félures qui doivent la faire rejeter. On demande enfin qu'elle soit tout à fait imperméable, mais cette dernière qualité se rencontre assez rarement dans les tuiles neuves. Les meilleures tuiles de Boom laissent filtrer dans les premiers temps de leur emploi des quantités d'eau assez notables ; mais au bout de peu de temps les pores se bouchent et l'inconvénient disparaît. Dans quelques localités, on évite cet inconvénient en les vernissant. Le vernis se donne au moyen d'une bouillie composée d'argile dans laquelle on incorpore vingt parties de litharge broyée et trois parties d'oxyde de manganèse, qu'on étend avec une brosse. On leur donne notamment cette façon à Châtelet, mais ce vernis s'écaille assez rapidement.

III. — CARREAUX DE PAVAGE.

120. La fabrication des carreaux de pavage se conduit à très-peu de chose près comme celles des tuiles.

Les moules (*fig.* 190) sont en bois, mais leur vide intérieur est plus grand et plus épais qu'il ne le faut pour obtenir les dimensions exactes du carreau.

Les carreaux, en sortant du moule, sont déposés à plat sur le sol de la fabrique et ensuite redressés de champ. Quand ils ont pris un certain degré de consistance, on les soumet aux opérations suivantes :

1° On pose le carreau à plat, sur une table solide et bien plane, et on le comprime fortement en le frappant deux ou trois coups avec une batte de bois assez épaisse (*fig.* 191); 2° on place sur le carreau ainsi rebattu un patron carré (*fig.* 192), formé d'un morceau de planche coupé à vives arêtes, garni sur tout son pourtour d'une bandelette en fer poli, et pourvu de quatre petites pointes qui l'affermissent sur le carreau, et l'on tranche avec un couteau tout ce qui dépasse le patron.

On obtient ainsi le carreau à vives arêtes comme on le demande dans le commerce. On exige, en outre, pour qu'il soit réputé de bonne qualité, qu'il rende un son clair quand on le frappe avec un corps dur, qu'il soit inattaquable à la gelée, et assez dur et tenace pour résister à l'usure.

On vernit parfois les carreaux de la même façon que les tuiles, mais il faut prendre garde de n'appliquer le vernis que sur les faces qui ne doivent pas être mises en contact avec le mortier. Dans l'enfournement, on a soin d'empêcher qu'ils ne se touchent, car sans cela ils se colleraient les uns aux autres et il en résulterait des pertes ou des dégradations.

Ces dernières observations s'appliquent aux autres matériaux en terre cuite aussi bien qu'aux carreaux.

IV. — TUYAUX DE CONDUITE.

121. On fait un fort grand usage de tuyaux en terre cuite pour la conduite des eaux (tuyaux de drainage) et des gaz. On en trouve, dans le commerce, de cylindriques et de tronc-coniques.

Pour faciliter les assemblages, ils sont terminés, dans ce dernier cas, à leur extrémité la plus large, par un évasement qui permet l'introduction d'un lut dans la jointure (fig. 194). Lorsqu'ils sont cylindriques, ils sont ordinairement terminés et assemblés comme on le voit dans la figure 193.

Ces tuyaux se fabriquent sur le tour, comme la plupart des objets de poterie, ou à la machine. Ils sont soumis ensuite à une dessiccation bien ménagée, et cuits dans des fours de formes assez variées, mais qui tous ont pourtant plus ou moins d'analogie avec ceux précédemment décrits.

Parfois on donne à ces poteries un vernis particulier qui s'obtient en projetant du sel marin dans le four vers la fin de la cuisson. La soude contenue dans cette substance réagit sur l'argile et détermine la vitrification de la surface extérieure. On leur donne alors le nom de *grès*.

Les tuyaux tronc-coniques sont particulièrement employés pour les conduites horizontales. On s'en est servi dans quelques-unes de nos villes (1) pour la conduite du gaz d'éclairage ; mais soit qu'ils fussent trop faibles pour résister aux charges des lourds chariots passant sur le pavé, soit qu'ils eussent été mal posés dès le principe, on n'a pas toujours eu lieu de s'applaudir de leur emploi. A Namur, les casses et les fuites de gaz étaient si nombreuses et si souvent répétées, qu'au bout d'une couple d'années on a dû les remplacer par des tuyaux en fonte de fer.

ARTICLE VIII.

RENSEIGNEMENTS SUR LES PIERRES ARTIFICIELLES DE BELGIQUE.

122. Lieux de fabrication. — Les plus importantes briqueteries de Belgique se trouvent situées au confluent du Rupel avec l'Escaut, sur les communes de Boom, de Niel, de Hémixem, de Rupelmonde, etc., etc. Les produits de ces établissements sont, et à juste titre, renommés pour leur bonne qualité. On en fabrique pourtant sur plusieurs points du royaume qui peuvent rivaliser avec eux, et dans bien des cas il suffirait de mettre un peu plus de soin qu'on ne le fait généralement dans le choix, la préparation des terres et le triage, pour obtenir d'excellentes briques là où l'on est habitué à n'en avoir que d'une qualité bien inférieure.

Beaucoup de constructeurs, sans s'inquiéter des économies qu'ils pourraient réaliser

---

(1) A Fontaine-l'Évêque, Charleroi, Namur.

avec un peu plus de réflexions, font venir à grands frais des briques de Boom, tandis qu'il leur suffirait parfois d'une partie des dépenses absorbées par le transport, pour obtenir mieux ou tout aussi bien sur les lieux mêmes où ils travaillent et pour faire ainsi progresser l'industrie, qui reste stationnaire, grâce à l'apathie ou à l'esprit de routine.

Les fabriques de tuiles et de carreaux les plus importantes sont aussi celles des bords du Rupel, qui envoient leurs produits dans tout l'intérieur du pays et à l'étranger. On peut citer, après elles, celles des environs de Mons et de Tournay, de Châtelet, près de Charleroi, d'Andenne et de Quinaux, près de Namur, dont les produits assez bons d'ailleurs, pour la plupart, ne s'emploient guère qu'aux lieux mêmes de fabrication ou dans un très-petit rayon.

Les principales fabriques de briques réfractaires se trouvent à Andenne, entre Namur et Huy, où l'on trouve nos principaux dépôts d'argile plastique. On en fabrique aussi à Namur, à Liége, à Mons et dans plusieurs autres lieux.

Les mêmes villes renferment des fabriques de poteries, qui fournissent des tuyaux de conduite. Mais les plus grands établissements de ce genre, qui ont pour objet principal la fabrication de ces tuyaux se trouvent dans le Hainaut et dans le Brabant, particulièrement à Bouffioulx, près de Charleroi (tuyaux en grès), et à Tubize (tuyaux de drainage).

123. Dimensions adoptées, qualités. — Les dimensions et la qualité des briques tuiles, carreaux de pavage et tuyaux de conduite, varient suivant les lieux de fabrication ; nous avons réuni ici quelques indications à cet égard.

Briques. — On trouvera dans le tableau suivant des renseignements assez détaillés que nous devons, en grande partie, à l'obligeance des commandants du génie de nos différentes places.

TABLEAU

INDIQUANT LES DIMENSIONS ET LA QUALITÉ DES BRIQUES FABRIQUÉES EN BELGIQUE ET EMPLOYÉES DANS SES VILLES PRINCIPALES.

LIEUX DE FABRICATION.	DIMENSIONS. longueur	largeur	épaisseur	QUALITÉ.	OBSERVATIONS.
BOOM, NIEL, HÉMIXEM et les bords du Rupel :					
Klampsteen.....	0m,190	0m,090	0m,047	Ces briques sont en général bien cuites, bien moulées et d'une excellente qualité. Les *klampsteen*, cuites en tas, sont parfois un peu gélives. Les briquettes sont souvent colorées en bleu ; elles sont, comme les carreaux, recoupées au couteau, ce qui leur donne des arêtes vives. Les *putsteen* sont cunéiformes.	On fait un très-grand usage de ces briques à Anvers, à Louvain, à Malines, à Bruxelles (où elles sont connues sous le nom de *briques du canal*), à Gand, à Termonde, et sur tous les affluents du Rupel et de l'Escaut.
Papesteen.....	0 ,180	0 ,085	0 ,045		
Derdeling.....	0 ,150	0 ,073	0 ,038		
Kleyne-steen.....	0 ,135	0 ,060	0 ,035		
Putsteen (brique de puits.....	0 ,160	0 ,100 0 ,072	0 ,040		
RUPELMONDE (*klampsteen*).....	0 ,190	0 ,090	0 ,047	Briques bien moulées, mais assez gélives.	Idem.
BRUXELLES.....	0 ,200	0 ,095	0 ,053	Qualité très-variable, en général assez bien moulées. La terre employée est souvent trop riche en sable et pas assez corroyée; mais, quoique tendres et spongieuses, ces briques résistent assez bien aux intempéries.	On fabrique des briques de mêmes dimensions et de qualité analogue à Vilvorde, à Louvain, à Malines et dans la plupart des localités du Brabant.
REINRODE (forme ancienne)..	0 ,195	0 ,097	0 ,047	Briques bien moulées, mais peu résistantes quand elles sont un peu cuites.	Ces briques sont employées à Hassell, à Diest et au camp de Beverloo.
— (forme nouv.).	0 ,177	0 ,090	0 ,045	Assez déformées, mais très-résistantes, quand elles ont subi un degré de cuisson convenable.	
MEIRELBEKE, près de Gand.....	0 ,220	0 ,110	0 ,050	Assez cassantes, mais non gélives; elles résistent très-bien à l'air et prennent bien le mortier ; on les emploie à la confection des parements.	Ces briques sont employées aux travaux de la citadelle de Gand, concurremment avec celles de Boom et de Rupelmonde.
EYNE, près d'Audenarde.....	0 ,220	0 ,108	0 ,054	Elles ont beaucoup d'analogie avec les précédentes.	Employées aux travaux de la place d'Audenarde.
FURNES.....	0 ,215	0 ,100	0 ,055	Bonnes.	Employées aux travaux des places d'Ypres, d'Ostende et de Nieuport.
OSTENDE.....	0 ,220	0 ,110	0 ,060	Médiocres.	On ne fait usage de ces briques à Ostende que pour des constructions de peu d'importance. On emploie pour les travaux soignés les briques de Furnes, de Boom et de Rupelmonde.
WARNETON, près de Menin.....	0 ,210	0 ,100	0 ,050	Bonnes, très-résistantes.	Employées aux travaux de la place de Menin.
PRÉ DE SAINT-DENIS, près de Liége.....	0 ,230	0 ,110	0 ,060	Couleur violette, bien cuites, pas trop irrégulières, mais assez cassantes.	Employées à la construction de la Chartreuse, elles ont très-bien résisté.

LIEUX DE FABRICATION.	DIMENSIONS longueur	largeur	épaisseur	QUALITÉ.	OBSERVATIONS.
Longdoz, pr. de Liége.	0m,230	0m,110	0m,060	Comme les précédentes mais moins bien formées.	On les emploie aux travaux de la ville de Liége
Ste-Walburge (id.). .	0 ,230	0 ,110	0 ,060	Plus brunes que celles de St-Denis, plus irrégulières, mais plus dures.	On les emploie aux travaux de la citadelle
Arlon, Houdemont et Rossignol	0 ,200	0 ,100	0 ,050	Briques de belle apparence et assez dures ; mais fabriquées avec une argile riche en carbonate calcaire, elles se détériorent promptement et éclatent même souvent quand elles sont soumises à l'humidité.	On ne les emploie qu'à l'intérieur des bâtiments.
Bas-Oha, Malades et Tihange, pr. de Huy.	»	»	»	Mal formées et vitrifiées.	
Herck-St-Lambert, à 1 lieue de Hasselt. .	0 ,240	0 ,115	0 ,060	Qualité très-médiocre en général, spongieuses, inégales et cassantes. Elles donnent un déchet très-considérable.	On les emploie aux constructions de Hasselt.
Peer, Exel, Wychmaele, Hechtel, près de Beverloo	0 ,200	0 ,100	0 ,050	Spongieuses, gélives, mal cuites, mal formées, fragiles et de dimensions variables, elles contiennent une grande quantité de cailloux.	Employées aux constructions du camp de Beverloo.
La Plante, près de Namur	0 ,220	0 ,105	0 ,055	D'un rouge brun, très-dures et résistantes, mais assez mal formées, parfois gélives,	Employées aux travaux de la place de Namur et aux constructions civiles.
Salzinnes, id	0 ,220	0 ,105	0 ,055	D'un rouge plus clair que les précédentes, mieux formées mais plus tendres, elles résistent pourtant aussi bien aux intempéries.	Idem.
Namur (*briq. réfrac.*)	0 ,200	0 ,110	0 ,050	Très-bonnes et bien formées, elles rivalisent avec celles d'Andenne.	Fabriquées avec de l'argile plastique de Vedrin, qu'on mélange de poussière de creusets de verreries et de fabriques de laiton.
— id., dites *têtes de chat*.	0 ,110	0 ,110	0 ,110		
Andenne (*briques réfractaires*)	0 ,230	0 ,110	0 ,060	Parfaitement moulées, qualité excellente, très-réfractaires.	Employées dans tout le pays et à l'étranger pour les constructions pyrotechniques. On en façonne de toutes dimensions sur commande, jusqu'à un mètre de côté.
Charleroi (environs) .	0 ,225	0 ,105	0 ,055	Médiocres à cause du peu de soins apportés au choix et à la préparation des terres.	Ces briques sont à très-bon marché, elles ne reviennent pas à plus de six francs le mille.
Chatelet	0 ,205	0 ,110	0 ,060	Briques réfractaires, mais assez peu estimées.	
	0 ,231	0 ,104	0 ,055	Assez bonnes, cassantes, quoique dures à pulvériser ; blanchâtres.	
Guesmes, pr. de Mons.	0 ,226	0 ,110	0 ,058	Idem	
	0 ,226	0 ,106	0 ,057	Très-bonnes et bien formées. Elles sont sonores et le grain en est fin et serré.	
Jemmapes (Flénu) . . .	0 ,231	0 ,110	0 ,058	Idem.	

LIEUX DE FABRICATION.	DIMENSIONS. longueur	largeur	épaisseur	QUALITÉ.	OBSERVATIONS.
Jemmapes.	0m,238	0m,110	0m,057	Assez bonnes, cassantes, quoique dures à pulvériser. Blanchâtres.	
Quaregnon	0 ,230	0 ,109	0 ,058	Bonnes.	
Nimy-Maisières . . .	0 ,228	0 ,107	0 ,057	Cassantes et tendres à pulvériser.	
Mons (faubg d'Havré) .	0 ,220	0 ,108	0 ,057	Assez bonnes, mais difformes.	
	0 ,228	0 ,107	0 ,057	Mauvaises, cassent facilement, très-tendres.	
Tournay (faubourg de Valenciennes) . . .	0 ,220	0 ,110	0 ,060	Assez bonnes.	
	0 ,230	0 ,110	0 ,055	Moyennement bonnes.	Fabrique du sieur Sylvain, le long de la route de Douai.
Tournay (faubourg Saint-Martin . . .	0 ,230	0 ,110	0 ,055	Idem.	Fabrique du sieur André Parent, le long du chemin du cimetière.
	0 ,230	0 ,110	0 ,055	Meilleures que les précédentes.	Fabrique du sieur Duez. Ces briques sont très-recherchées à Tournay pour les travaux de citernage.
Marquain et Blandain lez-Tournay	»	»	»	Assez bonnes.	
Ath (environs). . . .	0 ,230	0 ,110	0 ,060	Très-bonnes lorsqu'elles sont bien cuites. Elles résistent parfaitement à la gelée et aux intempéries, mais elles sont un peu irrégulières, ce qui doit être attribué au peu de soins qu'on apporte dans la fabrication.	
Anselemme (à 2,500m de Dinant)	0 ,225	0 ,105	0 ,055	Médiocres, et de peu de durée. L'argile qui sert à ces fabriques est riche en carbonate de chaux.	
Philippeville (envir.)	0 ,220	0 ,105	0 ,060	Médiocres, c'est-à-dire meilleures que celles de Bruxelles, mais moins bonnes que celles de Boom; elles sont, en général, peu sonores. Celles qui ont été exposées à la violence du feu pendant la cuisson sont vitrifiées et collées les unes aux autres.	On fait peu d'usage de briques dans la contrée.
Couvin.	0 ,220	0 ,100	0 ,055	Assez bonnes, quoique fabriquées avec un peu de soins ; couleur brune.	Idem.

Pannes. — Les pannes fabriquées sur les bords du Rupel sont de deux modèles : les unes, dites *flamandes* ou *petites*, ont 0m,34 de longueur sur 0m,24 de largeur, les autres dites *hollandaises* ou *grandes*, ont 0m,367 de longueur sur 0m,246 de largeur. Les unes et les autres ont 1 centimètre et demi d'épaisseur. On fait en outre des tuiles faîtières (*vorsteen*) ayant 0m,25 de longueur sur 0m, 465 de largeur développée, et 0m,02 d'épaisseur, et des tuiles arêtières (*horreboomen*) ayant 0m,33 de longueur 0m,265 de largeur développée, et 0m,015 d'épaisseur.

Ces modèles sont imités dans la plupart des autres fabriques ci-dessus mentionnées (122). Les tuiles de Châtelet sont cependant plus grandes, elles ont $0^m,365$ de longueur sur $0^m,23$ de largeur, et un peu plus de 1 centimètre d'épaisseur.

Tuiles Josson et Delangle. — Elles ont une forme qui se rapproche de celle d'un losange dont le grand axe a 40 centimètres de longueur et le petit axe 27 centimètres. Il en faut environ 22 pour couvrir un mètre carré de toiture.

Carreaux. — Les fabriques de Boom et des environs fournissent des carreaux des dimensions suivantes, qui sont aussi celles adoptées par la plupart des autres.

LONGUEUR ET LARGEUR.	ÉPAISSEUR.	DÉNOMINATION.
$0^m,21$	$0^m,03$	*Kerksteen* ou carreau de 9 pouces.
0 ,17	0 ,025	*Dobbelenbreed*. . . . . 7 —
0 ,144	0 ,025	*Enkelenbreed*. . . . . 6 —
0 ,12	0 ,024	*Plavey* . . . . . 5 —

Tuyaux de conduite. — Les tuyaux de conduite fabriqués à Bouffioulx se livrent en tronçons de 65 à 70 centimètres de longueur et de 7 à 11 centimètres de diamètre intérieur. On en fabrique à Namur, à Andenne et dans plusieurs localités du Hainaut, qui ont encore des dimensions plus considérables. Toutes ces fabriques fournissent en outre des tuyaux en T ou de diverses autres formes, que l'on place sur le sommet des cheminées, des tuyaux en siphon pour les siéges d'aisance.

124. Dépenses de fabrication. — Les dépenses de fabrication varient aussi suivant les lieux, d'après les prix de la main-d'œuvre, d'achat de terrain, du combustible, etc.

Voici le détail de ceux qui se paient communément aux fabriques des bords du Rupel, pour la main-d'œuvre des pannes, des carreaux et des briques.

Pannes. — Par 1,000.

Au *meuleman* (ouvrier chargé de conduire le moulin), pour préparer la terre apportée à pied-d'œuvre, la jeter dans le moulin et surveiller l'opération	0 fr. 63
Quand il fournit *le cheval*, on lui paye en sus.	0 63
A l'*uitdraeger* (ouvrier qui enlève la terre moulinée).	0 18
Au *walker* (ouvrier qui manipule la terre et la découpe en vasons).	0 63
A l'*instaeger* (ouvrier qui moule les plaques)	0 91
Au *pannemaeker* (ouvrier qui plie les pannes)	1 72
TOTAL.	4 fr. 70

Carreaux. — Par 1,000, *plavey*.

Au *meuleman*	0 fr. 32
Pour le cheval.	0 32
A l'*uitdraeger*.	0 09
Au mouleur (*vormster*), y compris le transport sur l'aire	0 63
Au coupeur, y compris le rebattage et le transport sur le séchoir.	0 63
TOTAL.	1 fr. 99

N.B. 1000 *Kerksteen* équivalent pour la main-d'œuvre à. . . . 4000 Plavey.
1000 *Dobbelenbreed* . . . . . 2000 —
1000 *Enkelenbreed* . . . . . 1300 —

Briques. — Par 25,000 briquettes *kleynsteen*.

Au *jarremaeker* (ouvrier qui prépare la terre dans la fosse et la réduit en pâte)	6 fr. 35
Au *klooter* (ouvrier qui transporte la pâte sur la table du mouleur)	6 35
Au *steenmaeker* (mouleur)	6 35
Aux *afdraegers* (apprentis)	3 63
TOTAL	22 fr. 68

Ce prix comprend en outre les opérations de dessiccation.

N. B. 1000 *Klampsteen* et *papesteen* comptent pour 2000 briquettes.
1000 *Derdeling* et *putsteen* comptent pour 1500 —

La cuisson se paye par fournée, ainsi qu'il suit :

Aux ouvriers chargés du transport des matériaux, des séchoirs au four et de l'enfournement	6 fr. 35
Au chauffeur et à ses aides	7 62
TOTAL	13 fr. 97

On paye en outre aux mêmes ouvriers quand on fabrique des matériaux bleus : 11 fr. 47, qui se répartissent ainsi :

Aux ouvriers chargés du transport et de l'enfournement	3 fr. 17
Au chauffeur et à ses aides	8 30

La fournée se compose d'environ 50 mètres cubes de briques, tuiles et carreaux.

La cuisson au bois exige par fournée de 2,000 à 2,200 fagots de sapin semblables à ceux décrits (110), et la cuisson à la houille, 50 hectolitres de menue houille, plus 5 à 600 fagots de sapins semblables aux précédents.

On paye à la journée tous les travaux autres que ceux renseignés ci-dessus.

ARTICLE IX.

RENSEIGNEMENTS SUR LES PIERRES ARTIFICIELLES DE FRANCE.

125. — L'énorme quantité de pierres naturelles que possède la France jointe à la circonstance qu'en général elles sont faciles à exploiter, à débiter et à tailler et à celle que le combustible y coûte plus cher qu'en Belgique est cause que, dans ce pays, l'emploi des pierres artificielles est très-restreint. — Ce n'est guère que dans les départements voisins de la Belgique que l'usage de la brique est quelque peu répandu; partout ailleurs il est, pour ainsi dire, d'un emploi exceptionnel.

Ce sont des brigades de briquetiers belges, émigrant chaque année des environs de Gosselies qui vont porter leur industrie chez nos voisins, et c'est assez dire qu'on y retrouve, dans beaucoup d'endroits, les formes et les procédés employés dans nos provinces.

Briques. — Il existe pourtant des fabriques spécialement françaises qui fournissent généralement des produits forts beaux et très-estimés. Telles sont notamment les

briqueteries de Bourgogne (Yonne), de Montereau, de Solins et de Sarcelles, qui approvisionnent en grande partie Paris.

Les briques de Bourgogne ont 220 millimètres de longueur sur 107 de largeur et 5 d'épaisseur. Elles sont d'un rouge pâle, quelquefois légèrement violacé, parfaitement moulées, bien cuites et très-résistantes. Elles pèsent 2250 kilogrammes au mille et sont réputées les meilleures.

Les briques de Montereau, à environ 15 lieues de Paris et de Solins (Seine-et-Marne), ont une grande ressemblance avec celles de Bourgogne, mais elles sont un peu moins épaisses et plus légères. Leur épaisseur ne dépasse pas 48 à 50 millimètres et leur poids 2063 kilogrammes le millier.

Les briques de Sarcelles (Seine-et-Oise, à 24 lieues de Paris, sont de plus petites dimensions ; elles ne portent que $0^m,210$ sur $0^m,095$ et $0^m,050$ et ne pèsent que 1750 kilogrammes au mille. Elles sont d'un rouge vif, uniforme et assez fragiles.

Les briques qu'on façonne dans les environs de Paris et qui portent le nom de briques *du pays*, ont les mêmes dimensions en longueur et largeur que celles de Montereau, mais une épaisseur de 40 à 45 millimètres seulement au lieu de 48 à 50. Leur couleur est d'un rouge foncé et elles sont très-cassantes.

Tuiles. — Les tuiles plates employées à Paris et dans les environs se tirent aussi généralement de Bourgogne ; il y en a de deux modèles, savoir : *grand moule*, longueur $0^m,31$, largeur $0^m,22$, épaisseur $0^m,016$, poids environ 2000 kilogrammes par mille. *Petit moule*, longueur $0^m,26$, largeur $0^m,18$, épaisseur $0^m,14$, poids environ 1322 kilogrammes par mille. Les tuiles faîtières provenant des même fabriques ont 33 centimètres de longueur sur 32 1/2 de développement.

Les tuiles creuses, dont on fait usage à Lyon et dans le Midi, ont généralement une longueur d'environ 40 centimètres, une largeur de 20 centimètres au grand bout et de 15 centimètres au petit bout ; leur épaisseur est de 14 millimètres, elles pèsent 2500 kilogrammes au mille et il en faut 24 au mètre carré.

Carreaux. — Les carreaux de pavage employés à Paris sont de deux espèces, *hexagones* et *carrés*. Les premiers s'emploient seuls au carrelage des appartements. Les carreaux carrés ne sont guère en usage que pour le dallage des fourneaux de cuisine et des âtres de cheminées.

Les carreaux hexagones ont 27 millimètres d'épaisseur et sont de deux modèles : l'un qui a pour surface un hexagone inscrit dans un cercle de $0^m,20$ de diamètre, l'autre un hexagone inscrit dans un cercle de 14 centimètres de diamètre seulement. Il en faut respectivement 40 et 80 de chaque espèce au mètre carré.

Les carreaux carrés sont de trois échantillons, dont voici les dimensions :

Côté $0^m,20$	; épaisseur	0,027	; quantité au mètre carré	25.
— 0 ,16 ;	—	0,027	—	37.
— 0 ,13 ;	—	0,020	—	54.

Indépendamment des fabriques de Bourgogne, qui produisent non-seulement des briques mais encore des tuiles, des carreaux, et des tuyaux de très-bonne qualité et

fort employés, on cite parmi les principales fabriques de France, qui produisent des matériaux similaires :

Celles de Borie frères, de Courtois et de Chaudet, à Paris,
De Martin frères, à Marseille,
De Martin et Cie, à Bourbonne-les-Bains,
Du comte de Pourtalès à Saint-Cyr, près Dourdan,
De Ferry, à Saint-Dié,
De Demimuids, à Commercy,
De Geurel, à Lay
De Millard, au Mesnil,
De Neukomm, à Vaudœuvre,
De Périchon, aux Sablons,
De Bigeot, à Forges-les-Eaux,
De Bloth et Leperdrieux, à Pont-Carré,
De Gilardoni, à Altkirch,
De Miller, à Ivry,
De Fox, près Lyon.

Bétons agglomérés. — On a fait récemment en France des essais qui paraissent avoir complétement réussi, pour constituer une autre espèce de pierres artificielles que le promoteur de ces essais, M. l'ingénieur civil Coignet a baptisées du nom de *Bétons agglomérés*. Ces pierres sont formées de sable mélangé à une certaine quantité de chaux, fortement tassé dans des moules. M. Coignet, a fait ainsi des blocs de toutes dimensions qui paraissent susceptibles de résister non-seulement aux influences atmosphériques, mais encore à l'action de l'eau de mer. Ces bétons ont une certaine analogie avec le *Pisé*, autre espèce de pierre artificielle formée de terre ordinaire fortement pilonée dans des moules dont on fait un grand usage dans les départements du Midi et surtout avec une autre espèce de Pisé composé, comme le Béton de M. Coignet, de chaux et de sable fort employé depuis longtemps en Suède pour la construction des maisons. Nous aurons l'occasion de revenir sur la fabrication de ces diverses pierres artificielles dans la deuxième partie du cours.

ARTICLE X.

DU VERRE A VITRES ET DES GLACES.

126. Verre à vitres. — Le verre à vitres est un silicate à base de potasse ou de soude et de chaux, fondu par l'action d'un feu violent et réduit en feuilles minces et transparentes. On en distingue de plusieurs espèces.

On appelle verre de *boudines* ou de *rondchiffres* un verre à vitres obtenu en dilatant et en aplatissant tout à fait, sous forme d'une table bien ronde et d'épaisseur uniforme, une cloche hémisphérique produite par le soufflage. Cette espèce de verre ne

se fabrique plus aujourd'hui en Belgique ; mais elle est encore très-employée dans toute l'Angleterre, où elle est connue sous le nom de *crown-glass* (verre en couronne). Les vitres fabriquées par ce procédé offrent, il est vrai, l'avantage d'un poli et d'un brillant comparable à celui des glaces, mais elles présentent, par contre, d'assez nombreux inconvénients. Le plus considérable est la présence d'un noyau épais d'un effet fort désagréable au centre de la couronne, lequel ne permet pas d'obtenir, quand on veut le retrancher, des vitres de grandes dimensions. Ces vitres sont aussi moins planes que les autres et miroitent d'une manière désagréable à l'œil.

On désigne sous le nom de verre de *manchons* le verre à vitre que l'on fabrique actuellement dans les fabriques belges et dans presque toutes celles de France. On l'obtient en développant sur une table parfaitement plane et unie, et dans un four tenu à une haute température, un cylindre ou *manchon* fendu dans le sens d'une de ses génératrices et obtenu au préalable au moyen du soufflage. L'étendue des vitres fabriquées de cette manière n'a d'autre limite que la force du souffleur.

On trouve dans le commerce des verres à vitres blancs ou complétement incolores, demi-blancs, mats ou dépolis et seulement translucides, rouges, jaunes, bleus, verts, etc. On fabrique également des pannes en verre ayant exactement la même forme que les pannes ordinaires et qui s'emploie de la même manière. On s'en sert pour éclairer les greniers, les cages d'escalier, etc.

L'épaisseur du verre à vitres est ordinairement de $0^m,00225$; on en fabrique cependant de plus épais, dit *double épaisseur*, dont on se sert pour la construction des lanterneaux, qu'on pratique parfois dans les toitures, pour éclairer certaines parties intérieures des édifices.

Quant aux dimensions superficielles, elles sont très-variables.

On en trouve depuis 74 pouces réunis jusqu'à 14 pouces de même espèce (1), les plus grandes ayant ainsi de 46 pouces de longueur sur 28 de largeur, et les plus petites, 8 pouces sur 6.

On exige, dans tous les cas, que le verre soit exempt de bulles, stries, nœuds, soufflures, étoiles, félures ou autres accidents qui seraient de nature à nuire à sa transparence, à son homogénéité ou à sa solidité.

127. Glaces. — On fait depuis quelques années un grand usage de glaces, non-seulement pour les vitrines des magasins, dont elles font ressortir l'étalage, mais encore pour les fenêtres des habitations somptueuses et même de celles où l'on recherche le simple confortable.

Les glaces sont formées d'un verre à base de soude ou de chaux, coulé en plaques sur des planches de cuivre ou de fonte parfaitement dressées et ensuite poli par des

---

(1) On entend par cette expression la somme de la largeur et de la longueur des vitres exprimée en pouces, de façon, par exemple, que, dans les vitres de 54 pouces réunis, on peut en trouver de

33 sur 21 pouces.	31 sur 23 pouces.	29 sur 25 pouces.
32 sur 22 —	30 sur 24 —	28 sur 26 —

procédés mécaniques. — Les fabriques de Belgique et de France fournissent aujourd'hui des glaces de toutes dimensions, à des prix relativement peu élevés, en les comparant à ce qu'ils étaient il y a une dizaine d'années. On peut actuellement garnir pour moins de 150 francs une fenêtre de $1^m,35$ sur $2^m,70$, et l'on a vu à l'Exposition de Paris, en 1855, des glaces de plus de 18 mètres de superficie, exposées par les établissements français de Saint-Gobin (Aisne) et de Cirey (Meurthe), et une glace de plus de 15 mètres, exposée par la compagnie belge de Floreffe, près de Namur.

Indépendamment des fabriques sus-indiquées, la France possède encore une fabrique importante de glaces à Montluçon (Allier), et la Belgique, celle de Sainte-Marie-d'Oignies.

Les principales fabriques de verre à vitres de Belgique se trouvent dans les environs de Charleroi et de Binche. — Celles de France sont à Rives-de-Gier (Loire), à Fresnes, près Valenciennes, et à Aniche (Nord), à Bagneux, près Nemours (Seine-et-Marne), à Sèvres, près Paris (Seine), et à Peuchot, près Décazeville (Aveyron).

DEUXIÈME SECTION

ÉTUDE DES MATÉRIAUX LIGNEUX.

PRÉLIMINAIRE.

128. Classification des végétaux. — Tout végétal, est comme on le sait, composé d'une racine, d'une tige et de feuilles ; mais tantôt la tige n'offre que des dimensions exiguës en même temps qu'un tissu lâche et peu consistant ; tantôt au contraire, elle prend un grand développement et paraît formée d'une substance fibreuse plus ou moins solide. A la première catégorie appartiennent les *plantes herbacées ;* à la seconde, les *plantes ligneuses*.

A l'exception de quelques graminées, dont la tige sert à faire des toitures grossières, des paillassonnages, etc., de quelques joncs et roseaux qui servent aux mêmes usages, du lin et du chanvre, qui fournissent la matière des cordages et des toiles, les plantes herbacées sont sans emploi dans les constructions.

Les plantes ligneuses, au contraire, fournissent à nos besoins les plus variés.

Parmi ces dernières, on en remarque dont la tige atteint rarement une hauteur et une grosseur considérables, et se ramifie presque immédiatement au sortir de la terre. On les nomme *arbrisseaux :* tels sont l'aubépine, les lilas, les rosiers, etc., pour ne citer que des exemples très-connus. Il en est d'autres, au contraire, dont la

tige peut prendre, tant en hauteur qu'en grosseur, des développements très-remarquables ; on les nomme *arbres*. Dans ce dernier cas, les ramifications ne commencent à paraître qu'à une certaine élévation. Souvent même (mais ceci est fréquemment le résultat de la culture) elles ne se développent qu'à la partie supérieure du tronc, qu'elles couronnent d'une manière élégante. Le peuplier, le chêne, le pin, nous offrent des exemples très-connus d'arbres de diverses espèces.

Les arbres sont, de tous les végétaux, ceux dont les usages en construction sont les plus multipliés et les plus variés. Leurs tiges et leurs grosses branches, coupées en tronçons cylindriques ou débitées en prismes de sections diverses, servent, sous le noms de *poutres, sommiers, vernes, solives, madriers, planches,* etc., à toutes es combinaisons de la charpenterie et de la menuiserie. Leurs rameaux les plus déliés sont employés à la confection des fascinages, si nécessaires dans les constructions hydrauliques ; leurs racines et leurs feuilles mêmes reçoivent quelquefois des applications utiles. Enfin, sous l'écorce qui les enveloppe, se trouve parfois un tissu assez solide et assez délié pour être employé à la fabrication des cordages.

129. Structure organique des arbres. — Les botanistes classent les arbres d'après le mode de germination de leur graine ; ils nomment *monocotylédons* ou à un seul cotylédon ceux dont la graine reste entière (*fig.* 195, planche VIII), et *dicotylédons* ou *polycotylédons* en général, ceux dont la graine se divise en deux ou plusieurs lobes ou cotylédons, pour donner passage au rudiment de tige qui s'y trouve renfermé (*fig.* 196).

La tige des arbres monocotylédons porte le nom de *stipe* ; elle semble formée d'une série d'étuis qui s'emboîtent les uns dans les autres, et elle se couronne en général d'une touffe de feuilles disposées sous forme d'un large panache. Celle des arbres polycotylédons porte le nom de *tronc* ; elle se garnit de branches plus ou moins nombreuses et de formes variées, qui vont en se ramifiant et en s'amincissant jusqu'à leurs extrémités, auxquelles sont attachées les feuilles. Le palmier offre un exemple assez connu d'arbre monocotylédon ; le chêne, le hêtre, l'orme et la plupart des arbres qui végètent en Europe offrent des exemples très-variés d'arbres polycotylédons.

Les monocotylédons et les polycotylédons ont un mode de développement et d'accroissement différent, qu'il est nécessaire de connaître pour les bien employer.

Si l'on coupe un tronc d'arbre polycotylédon, perpendiculairement à son axe, l'on remarque, au premier coup d'œil, qu'il est formé de deux parties très-distinctes :

1° D'une partie extérieure (*fig.* 197), d'assez faible épaisseur, présentant un tissu lâche et peu consistant. C'est l'*écorce ;*

2° D'une partie intérieure offrant un tissu fibreux plus ou moins serré, plus ou moins solide. C'est le *bois* ou le *ligneux*.

L'écorce et le bois sont à leur tour formés de couches concentriques parmi lesquelles on remarque avec un peu d'attention :

1° Dans l'*écorce,* la partie tout à fait externe, qui est ordinairement grossière, rugueuse et toute crevassée, et la partie adjacente au bois qne l'on nomme le *liber ;* 2° dans les *couches ligneuses* la partie adjacente au liber qui offre ordinairement un

tissu lâche et peu consistant, d'une couleur plus claire que les couches situées vers le centre du tronc, et à laquelle on donne le nom d'*aubier* ou de *faux bois*. Le restant constitue le bois proprement dit.

On observe au centre du tronc un canal longitudinal ordinairement très-étroit, souvent même à peine visible, rempli d'une matière molle et spongieuse, appelée *moelle*. Ce canal porte le nom d'*étui médullaire*.

Enfin, à la jonction du liber et de l'aubier, il existe une couche d'un tissu particulier, auquel on a donné le nom de *cambium*.

C'est par le cambium que les arbres reçoivent leur accroissement. Chaque année, ce tissu produit une couche de liber et une couche d'aubier qui s'ajoutent aux couches précédentes, et, pendant le même temps, une couche d'aubier passe à l'état de bois parfait.

Ce mécanisme se répète d'année en année. L'accroissement de diamètre qui en résulte force, au bout d'un certain temps, les couches tout à fait extérieures du liber à s'exfolier ou à se crevasser.

Les couches annuelles sont assez visibles, dans la plupart des arbres, pour qu'on puisse assez exactement en estimer l'âge. Elles varient d'ailleurs d'épaisseur, non-seulement d'une espèce d'arbre à une autre, mais encore dans le même arbre et suivant les circonstances au milieu desquelles il s'est développé. En général, plus il s'en trouve dans un même diamètre, et plus le bois est dur, pesant et résistant. Dans le chêne, ces couches ont moyennement trois à quatre millimètres d'épaisseur.

Outre la division du ligneux en couches concentriques, que nous venons de signaler, on en remarque encore une autre en rayons. Ces derniers, dont le nombre s'accroît, avec l'âge du végétal, sont remplis d'une substance molle, celluleuse et très-hygrométrique, qui met en communication l'étui médullaire et le cambium. Ils portent, pour cette raison, le nom de *rayons médullaires*.

C'est à leur existence qu'est due la facilité de la refente des billes de bois dans ce sens et la présence des facettes lisses et presque miroitantes que l'on remarque dans ce cas sur les plans de refente.

Ces facettes, connues des charpentiers sous les noms de *mailles* ou de *miroirs*, ne sont rien autre chose que les parois dédoublées des cellules du tissu qui tapisse les rayons médullaires.

Finalement, tout le système est imprégné de liquides de diverses natures, que l'on désigne en général sous le nom de *sève*. Ces liquides sont animés, pendant une certaine période de l'année, d'un mouvement ascendant, ou descendant, et ils paraissent remplir, dans les plantes, des fonctions analogues à celles du sang chez les animaux.

L'accroissement des arbres monocotylédons se fait d'une manière toute différente ; mais il serait superflu d'entrer ici dans des détails à ce sujet, ces arbres n'étant pas employés aux constructions dans nos climats :

130. Reproduction des arbres. — Les arbres peuvent se reproduire de trois manières différentes :

Par semis ;

Par plançons ou boutures ;

Au moyen de vieilles souches.

Les semis se font à la *volée* ou au *plantoir*. Dans le premier cas, les graines sont projetées à la main d'une manière aussi régulière que possible sur le terrain convenablement préparé ; dans le second, elles sont déposées dans des trous régulièrement espacés.

Ordinairement, les jeunes plants sont, au bout d'un an ou deux, repiqués en *pépinière*, c'est-à-dire, transplantés régulièrement et à une distance suffisante les uns des autres pour pouvoir prendre un certain degré d'accroissement. Ultérieurement, ils sont de nouveau transplantés et placés à de plus grandes distances encore les uns des autres et ils finissent par former ainsi des forêts qui portent le nom de *hautes futaies* ou de *futaies* tout simplement. Quelquefois, au lieu d'opérer la dernière transplantation, on procède dans les pépinières à des élagages qui conduisent au même résultat. On a soin alors de laisser sur pied, pour devenir arbres et former la forêt, les sujets de la plus belle venue. D'autres fois encore, quand les semis sont faits au plantoir, on espace tout d'un coup les fosses à distance de pépinière et même de forêt ; mais cette dernière disposition est pourtant assez rare.

Tous les arbres peuvent être reproduits au moyen de semis.

La reproduction au moyen de *plançons* ou de *boutures* ne se pratique avec succès que sur quelques espèces particulières : les saules et les peupliers, par exemple. Elle consiste à planter en terre, soit à espacement de pépinière, soit à espacement de forêt, de petites branches nettement coupées des arbres que l'on veut reproduire. En général, ces espèces de plantations demandent des terrains profonds et humides pour réussir.

Enfin, la reproduction au moyen de *vieilles souches*, qui est la plus usitée, a lieu lorsque, après avoir abattu les arbres d'une forêt au niveau de terre, on en laisse subsister les racines dans le sol. Au printemps suivant, on voit apparaître, entre l'écorce et l'aubier, une couronne de jets vigoureux qui se développent rapidement et forment, après quelques années, une jeune forêt que l'on nomme *taillis*. Ce taillis est mis ensuite en coupe réglée, c'est-à-dire, coupé tous les 10 à 12 ans au niveau des souches, qui continuent à reproduire indéfiniment de nouveaux taillis ; mais on a soin, dès la première coupe, de laisser subsister un certain nombre de jets de la plus belle venue, que l'on réserve toujours dans les coupes ultérieures et qui sont destinés à devenir arbres. Ces jeunes arbres portent le nom de *baliveaux ;* ils sont susceptibles de fournir d'aussi beaux et d'aussi bons bois que ceux produits de toute autre manière.

ARTICLE PREMIER.

DES BOIS DE CONSTRUCTION.

131. Qualités requises. — Les qualités qu'on doit exiger des bois de construction doivent naturellement varier selon l'usage auquel on les destine.

Pour les travaux de charpente, tantôt on recherche les bois les plus durables, les plus forts et les plus élastiques, on exige même qu'ils puissent résister longtemps aux atteintes de l'eau ou aux alternatives de la sécheresse et de l'humidité ; tantôt on se

contente des espèces les plus communes. Cela dépend du caractère permanent ou provisoire des constructions.

Pour les travaux de charronnage et de la charpenterie des machines, on demande que les bois aient une certaine dureté, qui les fasse résister à l'usure, jointe à une certaine ténacité de fibres, ou, comme on le dit, un certain *liant* qui les empêche de se fendre. Parfois, il faut qu'ils soient très-rigides, d'autres fois très-flexibles.

Pour les ouvrages de menuiserie, on choisit des bois légers, faciles à travailler au rabot, pouvant recevoir un certain poli, susceptibles de supporter sans jouer, se voiler, gauchir, les alternatives du sec et de l'humide.

Pour les ouvrages de tour, d'ébénisterie, etc., il faut des bois tenaces, susceptibles de recevoir l'action des outils, soit parallèlement, soit perpendiculairement ou obliquement à leurs fibres, sans s'éclater, d'un tissu fin, serré et capable de recevoir un poli plus ou moins brillant.

Les bois de charronnage, de menuiserie, de tour et d'ébénisterie, doivent être, en général, parfaitement secs, pour éviter autant que possible des déformations ou d'autres accidents très-nuisibles. Mais les bois de charpente peuvent être employés plus ou moins *verts*, c'est-à-dire imprégnés de leur sève, quoiqu'il soit pourtant préférable d'attendre qu'ils en soient dépouillés.

On doit observer ici que les mêmes espèces de bois ne jouissent pas toujours des mêmes qualités. Par exemple, l'acajou *ronceux*, avec lequel l'ébéniste fabrique ses plus beaux meubles, a des qualités toutes particulières qui le rendent propre à cet usage, auquel ne convient pas aussi bien l'acajou ordinaire, quoiqu'il provienne de la même espèce d'arbre. L'orme *tortillard*, avec lequel on fabrique le moyeu des roues, jouit aussi de qualités précieuses que ne possède pas l'orme en général, etc.

La qualité du sol dans lequel ils se sont développés, le climat, l'exposition aux vents violents, certaines maladies, sont autant de causes qui modifient les qualités spécifiques des bois. Il suffit souvent de la piqûre d'un insecte, d'une blessure accidentelle, pour déterminer une extravasion de sève et la formation d'une tumeur ou d'une loupe, dont le tissu veiné, accidenté de mille dessins variés, peut fournir de précieuses ressources au tourneur ou à l'ébéniste.

« En général, dit le colonel Émy (1), les terrains marécageux ne portent que des « arbres dont le bois est léger et spongieux, comparativement à celui des arbres de « même espèce venus dans de bonnes terres élevées. L'eau, trop abondante dans les « terrains bas et argileux, où les racines sont presque toujours noyées, ne donne point « à la sève les qualités nécessaires pour constituer un bon bois. Les arbres venus dans « cette sorte de terrains, qui ne sont point propres à leur essence, ne sont bons que « pour des travaux autres que ceux de la charpenterie. Le bois de chêne, par exem- « ple, venu en terrain humide, est plus propre aux travaux de menuisier qu'à ceux « du charpentier, parce qu'il a moins de force et de roideur, qu'il est plus mou et plus « facile à travailler que le bois de chêne provenant de terrain sec et élevé. Il est moins

(1) *Traité de l'art de la charpenterie*, p. 87.

« sujet à se fendre et à se gercer, lorsqu'il n'est employé que pour des objets de « petit volume.

« Les terrains aquatiques ne sont bons qu'aux aunes, aux peupliers, aux saules ; « quelques autres espèces se plaisent en terrain frais ou seulement humide : les « essences de chênes, d'ormes, de châtaigniers ne prospèrent que dans les terrains secs, « composés de bonnes terres, ne retenant après les pluies que ce qu'il faut d'humi- « dité, sans croupissement, pour alimenter une belle végétation. Il en est de même des « arbres résineux, qui ne réussissent pas toujours dans les terres propres aux autres « espèces, et surtout dans les sols marécageux. En général, les sables leur convien- « nent le mieux, et quelques espèces se plaisent particulièrement dans le voisinage de « la mer. Tel est le pin maritime, aussi utile par ses produits résineux que par son « bois.

« Enfin les arbres qui croissent dans les terres maigres et pierreuses, et généra- « lement dans toutes celles qui s'opposent à un progrès facile de leurs racines, ou qui « ne peuvent leur fournir la substance propre à leur essence, ne prennent que peu de « hauteur ; ils poussent lentement, ne produisent que du bois rude, souvent noueux « et rabougri, d'un travail difficile, qui n'est bon qu'à des ouvrages grossiers, à « moins qu'il ne soit propre, par sa couleur, sa dureté et les accidents qu'il présente « au placage, pour la décoration des meubles ou la fabrication de quelques objets « d'agrément, comme l'acajou ronceux, et quelques parties de vieux noyer.

« Les meilleurs signes de la bonne qualité du bois d'un arbre sont la beauté de son « écorce et le peu d'épaisseur de son aubier. Ce dernier signe annonce que la qualité « substantielle du sol a abrégé le temps de la transformation de l'aubier en bois par- « fait. L'on peut, en sondant le sol, préjuger, en quelque sorte, la qualité du bois des « arbres qu'il a produits.

« L'on a remarqué qu'à égalité d'âge les arbres venus sur la lisière d'un bois sont « plus gros, plus sains et d'une meilleure qualité que ceux venus dans son milieu ; ce « qu'on attribue à ce qu'ils ont joui davantage de l'influence de l'air. Les arbres des « clairières ont une supériorité de taille, de grosseur et de qualité sur ceux qui crois- « sent dans les parties touffues des forêts. On observe aussi que certaines expositions, « tant à l'égard de l'action du soleil qu'à l'égard des vents et des terrains environnants, « influent sur la végétation des arbres et sur la perfection de leur bois.

« Les arbres venus à l'exposition de l'est ou du midi ont souvent leur bois dur et « bon ; mais ils sont branchus, quelquefois tortueux, et par cette raison on ne peut en « tirer de belles pièces de charpenterie. A l'exposition du nord les arbres sont plus « beaux et plus droits, leur bois est beaucoup moins dur. A l'ouest les arbres battus « par les vents sont fatigués et fréquemment tordus, leur bois est souvent tortillard et « roulé. On remarque notamment sur les côtes maritimes qui se présentent à cette expo- « sition, que les arbres souffrent, leurs têtes sont pliées, leurs cimes sont en forme de « plan incliné par l'effet de l'impression du vent, qui gêne et retarde l'accroissement des « branches qu'il frappe les premières et qui servent d'abri à celles qui sont derrière. Il « en est de même d'un bouquet de bois situé à cette exposition ; toute sa sommité est « inclinée et les arbres de sa partie de l'est, particulièrement ceux de la lisière, pré-

« sentent une belle croissance, ayant été protégés et garantis par ceux exposés aux « vents de l'ouest, et qui en ont ressenti les pernicieuses influences. Cet effet est sur- « tout remarquable sur les côtes de l'Océan. »

132. Examen et réception des bois. — Lorsqu'on veut procéder avec soin à la réception des bois de construction, on les fait poser à plat sur des chantiers, afin qu'on puisse aisément les retourner. On les examine scrupuleusement sur toutes leurs faces ; s'ils sont coupés depuis longtemps on *rafraîchit*, au moyen de la scie, les extrémités des pièces, afin de vérifier si le bois est sain. On visite avec soin, au moyen de la hache, du ciseau ou de la tarière, toutes les parties qui paraissent être atteintes de quelque vice, et finalement on vérifie s'ils ont les dimensions voulues en longueur, largeur et épaisseur. Afin d'accélérer cette dernière opération, quand on a un grand nombre de pièces à recevoir, on les fait placer, bien alignées, les unes à côté des autres et il suffit de mesurer la longueur de l'une pour s'assurer, par un simple coup d'œil, de celle des autres. Quant aux dimensions transversales, on les vérifie très-rapidement, en se servant d'une mesure faite exprès avec une petite planchette, dans laquelle sont pratiquées deux coches (*fig.* 197 *bis*) qui marquent, l'une la largeur, et l'autre l'épaisseur de l'équarrissage.

133. Vices et défauts des bois. — Les défauts accidentels des bois sont extrêmement nombreux et variés : mais on doit ranger au nombre des plus dangereux :

1° Ceux qui sont le résultat de la décomposition plus ou moins avancée du tissu ligneux, lesquels rendent les bois impropres à toute espèce d'usages. Les principaux défauts qu'on range dans cette catégorie sont:

L'échauffement, premier degré de la décomposition du bois, qui s'annonce ordinairement par l'odeur désagréable qu'il exhale et par la présence de taches noires blanches ou rouges, disséminées en quantité plus ou moins considérable.

La *pourriture*, résultant des alternatives de la sécheresse et de l'humidité. C'est le dernier degré de décomposition du ligneux, qui se réduit alors en une substance pulvérulente brune ou blanche

La *carie* ou pourriture sèche, qui produit le même résultat: il s'annonce souvent dans les bois de construction par la présence d'excroissances végétales, comme des agarics, des champignons, des vesses-de-loup, etc., qui se développent à leur surface.

La *vermoulure*, résultat du travail de petits vers qui naissent d'œufs introduits dans la substance des bois ordinairement plus ou moins échauffés.

2° Ceux qui dépendent d'une certaine altération ou désagrégation de la substance des arbres. Ils sont ordinairement occasionnés par l'action des fortes gelées, par certaines maladies, par la vieillesse ou la mort.

L'action des fortes gelées se manifeste souvent par un système de fentes dirigées dans le sens des rayons médullaires, qui portent le nom de *gélivure ;* quelquefois aussi par des solutions de continuité entre les couches annuelles, accidents auquels on donne le nom de *roulure*, ou bien encore par des fentes transversales à la longueur des fibres appelées *gerçures*. Les hivers rigoureux ont encore souvent un autre effet ;

c'est d'empêcher une certaine couche d'aubier de passer à l'état de bois parfait. On trouve alors cette couche d'aubier intercalée au milieu des couches ligneuses. Ce défaut, qui est très-grave, est désigné sous le nom de *double aubier*, parce que cette couche intercalaire d'aubier n'empêche pas la couche ordinaire d'exister. Assez souvent le bois qui offre le double aubier présente en même temps des gélivures plus ou moins nombreuses. On le dit alors *gélif entretardé*.

Les maladies qui altèrent la substance des bois sont assez nombreuses. Tantôt elles sont causées par la sève qui se porte en trop grande abondance sur certains points, au détriment de certains autres ; tantôt elles sont produites par la présence d'insectes ou de plantes parasites qui détermine des désordres organiques plus ou moins graves. Dans quelques cas, ces maladies ont pour résultat de produire sur certains points, mais presque toujours au détriment du restant de l'arbre, un bois plus compacte, plus substantiel que d'ordinaire et très-propre à certains ouvrages de tour et de marquetterie : les *loupes*, les *exostoses* sont dans ce cas ; mais d'autres fois, et le plus souvent, il n'en résulte qu'une suppuration de liquides qui se corrompent aisément et qui corrompent par leur contact les parties ligneuses sur lesquelles elles se répandent. Ces accidents sont connus sous le nom de *gouttières*, d'*écoulement de sève*, de *dépôts* et d'*abcès*.

Les bois malades se recouvrent fréquemment de *mousses*, d'*agarics*, *de champignons*, de *moisissures* ; leurs feuilles jaunissent et tombent souvent avant la saison, ou bien elles se rident, se plissent, se raccornissent et changent de couleur.

L'arbre très-vieux qui a dépassé le terme de sa maturité est dit *sur le retour*. Les bois provenant d'arbres sur le retour sont fortement altérés et privés d'une grande partie de leur force et de leur élasticité ; ils ont une très-grande propension à la pourriture. Les arbres sur le retour sont facilement reconnaissables dans la forêt par le *couronnement* de leur cime, c'est-à-dire par le dessèchement des menus branchages les plus élevés ; ils sont ordinairement recouverts d'une masse de végétaux parasites.

La mort, qui atteint les végétaux comme les animaux, ne les prive de leurs qualités que pour autant qu'elle est le résultat de quelque maladie ou de la vieillesse. Le bois provenant d'arbres morts sur pieds par suite de l'une ou de l'autre de ces causes, n'a plus aucune solidité.

En général, le bois sain se reconnaît à la couleur uniforme et foncée, propre à son espèce : dès qu'elle varie rapidement sur quelque point éloigné de la limite de l'aubier, on peut être assuré qu'il existe quelque commencement de détérioration. L'odeur qu'ils répandent quand on les travaille est aussi un indice de la plus ou moins bonne qualité des bois. La plupart des bois durs surtout, comme le chêne, le châtaignier, l'orme, répandent, quand ils sont sains, une odeur fraîche et agréable, tandis qu'elle est plus ou moins nauséabonde, même dans les arbres récemment abattus, lorsqu'ils sont atteints de quelque maladie. Le bois sain et sec est solide, tenace, sonore et élastique ; il devient mou et sourd dès qu'il est mort ou vicié, et si on le mouille il en sort une mauvaise odeur.

Quoique l'*aubier* ne soit pas un défaut à proprement parler, on doit concevoir

que ce bois imparfait ne saurait convenir à aucune espèce d'ouvrages solides et durables ; on prescrit de l'enlever avec soin dans les bois destinés à de tels ouvrages. On le reconnaît aisément dans les bois durs par sa couleur moins foncée que celle du bois parfait.

Il est encore d'autres défauts qui sont plus ou moins graves, selon l'usage que l'on fait des bois. De ce nombre sont les *nœuds*, le *contournement* et l'*inégale répartition des fibres*.

Les *nœuds* et surtout les *nœuds vicieux*, outre l'inconvénient d'interrompre la rectitude des fibres et de rendre souvent le travail des bois difficile et rebutant, offrent celui d'être assez fréquemment des foyers de pourriture. Les nœuds vicieux doivent être sondés avec le plus grand soin, afin de reconnaître l'étendue du mal et de voir s'il n'est pas possible de le faire disparaître au moyen d'un levage à la scie. Ce n'est que dans des cas très-rares qu'on peut se permettre d'employer des pièces de bois atteintes de ce défaut, et alors il faut enlever complétement tout ce qui offre des traces de décomposition et tamponner le trou avec du bois de même sorte parfaitement sain.

Le *contournement des fibres* rend le bois d'un travail rebutant, parce que le fil se présente en tout sens et souvent au rebours du mouvement de l'outil, tellement que le bois s'arrache au lieu de se laisser couper. Cela rend en outre impossible l'équarrissage des pièces sans trancher plusieurs fois les fibres par les plans d'équarrissement, ce qui est nuisible à leur solidité.

L'*inégale répartition des fibres* devient un défaut pour les bois destinés à l'exécution de charpentes solides. Les fibres ligneuses constituent, en effet, la force des bois, et l'on conçoit que si sur certains points elles sont beaucoup plus serrées que sur d'autres, il en résultera une inégalité de résistance qui pourra être préjudiciable. Toutefois, comme il est très-rare de rencontrer des arbres dans lesquels on trouve une égalité parfaite sous ce point de vue, on doit, en général, se contenter d'un à peu près.

134. Bois du commerce. — On distingue dans le commerce :

Les bois en grume ;

Les bois de brin ou de fente ;

Les bois de sciage ;

Les bois de placage.

On appelle bois *en grume* les arbres dégarnis de leurs grosses branches et débités en *tronçons* ou en *billes* de différentes longueurs ; ils sont d'ailleurs *écorcés* ou non *écorcés*. Quand on veut acheter ou recevoir des bois en grume, il convient toujours de faire enlever l'écorce, qui peut recouvrir des défauts cachés.

On nomme bois *de brin* le bois simplement équarri à la hache ou fendu dans le sens des fibres du bois. C'est ainsi notamment que se prépare un grand nombre de pièces servant dans le charronnage, les *douves*, dont on fait les tonneaux, le *merrain*, sorte de planches d'une faible épaisseur, les *bardeaux*, espèce d'ardoises en bois dont on se sert pour couvrir les édifices, les *lattes* à plafonner, etc., etc.

On désigne sous la dénomination de bois *scié* ou bois de *sciage*, toutes les pièces obtenues au moyen du débit à la scie.

Ces pièces portent dans le commerce des noms qui varient suivant les localités ; mais on appelle pourtant assez généralement :

Poutres, les pièces ayant la forme d'un prisme rectangulaire, dont le plus petit côté de la section transversale a au moins 30 centimètres (1 pied).

Poutrelles et *solives*, les pièces de moindre grosseur. Les solives ont rarement plus de 18 centimètres d'équarrissage (7 pouces).

Madriers et *bordages*, des pièces méplates dont l'épaisseur à plus de 4 centimètres.

Planches, des pièces également méplates dont l'épaisseur varie de 2 à 4 centimètres.

Voliges, des planches légères ayant moins de 2 centimètres d'épaisseur.

Lattes, des pièces de section à peu près carrée, mais de très-petit équarrissage (5 centimètres tout au plus).

On désigne sous le nom de *planches* de *quartier* celles dont les bords latéraux sont terminés bien carrément, à vives arêtes et sans aubier ou faux bois. Les madriers qui se trouvent dans le même cas sont aussi souvent désignés sous le nom de *quartiers*.

On nomme enfin bois de *placage* le bois scié en lames extrêmement minces dont on se sert dans l'ébénisterie pour recouvrir certains ouvrages exécutés avec des matériaux plus grossiers.

135. Observation. — Il est important de remarquer ici que presque tous les bois du commerce sont encore débités suivant les anciennes mesures et sous des longueurs, largeurs et épaisseurs qui sont à peu près variables dans chaque localité. Il est nécessaire, d'après cela, de s'enquérir bien exactement des dimensions adoptées sur les lieux où l'on doit travailler, afin de n'en prescrire d'autres dans les devis que lorsque cela est tout à fait indispensable. Dans les devis où les dimensions sont stipulées en mesures métriques (comme sont tous ceux des travaux de l'État), il est bon de placer en regard, les dimensions en anciennes mesures correspondantes. On évite ainsi la nécessité d'employer des chiffres fractionnaires compliqués et tout prétexte de contestation ultérieure.

L'ancienne mesure est le *pied*, lequel se divise en *pouces* et en *lignes*. Non-seulement, la longueur de cette unité varie d'un lieu à un autre, mais sa subdivision en pouces et en lignes est elle-même fort loin d'être uniforme. Nous pensons que les tableaux suivants ne seront pas déplacés ici.

TABLEAU DE LA VALEUR DU PIED DANS LES PRINCIPALES VILLES DE LA BELGIQUE.

EXTRAIT DES TABLES A L'USAGE DES INGÉNIEURS, PAR E. GIRARD.

LOCALITÉS.	NOMS DES PIEDS.	DIVISIONS.	PIED en millimètres.	PIED CARRÉ en centimètres carrés.	PIED CUBE en décimètres cubes.
Alost . . .	*Pied d'Alost*	. . . . .	277.2	768.4	»
Anvers . .	*Pied d'Anvers*. . . .	1 = 11 pouces = 121 lig.	286.8	822.5	23.591
Ath. . . .	Pied du Hainaut	. . . . .	293.4	»	»
Audenarde.	*Steen voet* [1]	. . . . .	297.7	»	»
	Hout voet [2].	. . . . .	292.0	»	»
	Pied agraire	. . . . .	285.1	812.8	»
Binche. . .	Pied du Hainaut	. . . . .	293.4	»	»
Braine-le-Comte .	Id.	. . . . .	293.4	»	»
Bruges . .	. . . . .	1 = 11 pouces.	274.4	753.0	20.661
Bruxelles .	*Pied de Bruxelles*. .	1 = 11 pouces = 88 lig.	275.75	760.4	20.967
Charleroi .	Pied de St-Lambert. . .	. . . . .	291.8	»	»
Chimay . .	Id.	. . . . .	291.8	»	»
	Pied du Hainaut	. . . . .	263.4	»	»
Courtrai. .	. . . . .	. . . . .	297.7	886.3	25.692
Diest . . .	Pied de Louvain	1 = 10 pouces.	285.5	»	»
Enghien. .	Pied du Hainaut	. . . . .	293.4	»	»
Fleurus . .	Pied de St-Lambert . .	. . . . .	291.8	»	»
Furnes . .	. . . . .	. . . . .	278.1	773.4	21.508
Gand et la Flandre.	Pied linéaire ou agraire.	1 = 10 pouces = 100 lig.	275.3	757.9	»
	Pied de construction . .	1 = 11 pouces de Paris. .	297.77	»	26.402
Grammont.	Pied d'Alost	. . . . .	277.2	»	»
Hal. . . .	Pied du Hainaut	. . . . .	293.4	»	»
Hasselt . .	Pied de St-Lambert. . .	. . . . .	291.8	»	»
Lessines. .	Pied du Hainaut	. . . . .	294.4	»	»
Leuze. . .	Id.	. . . . .	293.4	»	»
Liége . . .	*Pied de St-Hubert* [3].	1=10 p. = 100 l. = 100 p^{ts}	294.7	868.5	25.594
	Pied de St-Lambert [4].	Id.	291.8	851.5	24.846
Lierre. . .	Pied d'Anvers	. . . . .	286.8	»	»
Louvain . .	*Pied de Louvain*. . .	1 = 10 pouces = 100 lig.	285.5	815.1	23.271
Malines . .	*Pied de Malines*. . .	1 = 11 pouces = 121 lig.	278.0	772.8	21.485
Mons . . .	*Pied du Hainaut*. . .	1 = 10 pouces = 100 lig.	293.4	860.8	25.257
Namur . .	*Pied dit de S-Lambert*	1 = 10 pouces = 100 lig.	294.76	868.8	25.610
Nivelles. .	*Pied de Ste-Gertrude*	1 = 10 pouces = 100 lig.	277.0	767.3	21.254
Ostende. .	. . . . .	. . . . .	276.0	761.8	21.026
Peruwelz .	Pied du Hainaut	. . . . .	293.4	»	»
Termonde.	. . . . .	. . . . .	276.0	761.8	21.026
Tirlemont .	Pied de Louvain	. . . . .	285.5	»	»
Tongres. .	Pied de St-Lambert. . .	. . . . .	291.8	»	»
Tournay. .	*Pied de Tournay* . .	1=11 p. = 132 l. = 1584 p^{ts}	297.77	866.7	26.402
Trond (St).	Pied de St-Lambert. . .	. . . . .	291.8	»	»
Turnhout .	Pied d'Anvers	. . . . .	286.8	»	»
Ypres. . .	. . . . .	. . . . .	273.9	750.2	20.548

1 Servant à mesurer la maçonnerie — 2 Servant à mesurer la charpente. — 3 Mesure pour la charpente et la maçonnerie — 4 Mesure des terres.

TABLEAU DE LA VALEUR DU PIED EN FRANCE, EN ANGLETERRE ET EN PRUSSE.

DÉSIGNATION.	DIVISION.	PIED en millimètres.	PIED CARRÉ en centimètres carrés.	PIED CUBE en décimètres cubes.	OBSERVATIONS.
	Pied. Pouces. Lignes.				Pieds. Toise. Mètre.
De France	1 = 12 = 144	324.84	1055	34.28	6 = 1 = 1,949
D'Angleterre	1 = 12 = 120	304.79	920	28.31	6 = 1 = 1,829
De Prusse (du Rhin).	1 = 12 = 144	313.85	985	30.91	6 = 1 = 1,883

136. — Pour obtenir le bois sous les formes que nous venons d'indiquer, les arbres doivent être abattus, ébranchés, tronçonnés, refendus, équarris ou débités à la scie. Nous allons donner une idée de ces diverses opérations.

137. Abatage des arbres. — On peut procéder à l'abatage des arbres d'un grand nombre de manières différentes, mais qui toutes peuvent se rapporter aux deux méthodes suivantes : dans l'une on enlève l'arbre avec ses racines, dans l'autre on le coupe rez-terre, soit au moyen de la hache, soit au moyen de la scie. Chacune de ces méthodes offre des avantages et des inconvénients dont la discussion est plutôt du ressort des cultivateurs forestiers que du nôtre, et dont il serait superflu de parler ici. Nous ne parlerons pas, non plus, d'une autre question encore controversée entre les naturalistes et les forestiers : celle de savoir quel est l'âge auquel il convient d'abattre les arbres et quelle est l'époque de l'année qu'il faut préférer pour procéder à cette opération. Nous nous bornerons à dire qu'on admet assez généralement, quant à ce dernier point, que l'époque la plus convenable est celle à laquelle la sève a suspendu son mouvement, c'est-à-dire vers la fin de l'automne ou pendant l'hiver, parce que c'est l'époque à laquelle les arbres contiennent le moins de substances fermentescibles et conséquemment le moins d'éléments de corruption et de décomposition.

138. Ébranchage et tronçonnage. — Les arbres abattus sont débarrassés de leurs grosses branches au moyen de la *cognée* ou de la *scie passe-partout* ; ils sont ensuite coupés en *tronçons* ou en *billes* de diverses longueurs au moyen de la même scie.

La *scie passe-partout* est formée d'une lame d'acier, armée de dents de diverses formes et munie de deux manches ou poignées qui servent à la manœuvrer (*fig.* 198).

La *cognée* est une hache courte et épaisse, à tranchant courbe, munie d'un manche en bois (*fig.* 199).

139. Refente. — La refente des bois s'effectue au moyen de coins en fer ou en bois dur que l'on chasse à coups de masse dans le sens de la direction des fibres et des rayons médullaires. Cette opération ne peut s'exécuter que sur des bois bien

droits de fil et débités en billes de peu de longueur. Les bois résineux, tels que le pin et le sapin, sont ceux sur lesquels elle réussit le mieux ; parmi les bois durs, il n'y a guère que le hêtre qui s'y prête bien. Le chêne, l'orme, etc., se fendent difficilement. Pour diriger la fente et éviter des éclats lorsque les arbres sont très-gros, on ouvre la fente des deux côtés à la fois et par des points diamétralement opposés. Dans tous les cas on peut assurer sa direction par des trous de tarière qui traversent l'arbre en passant exactement par le cœur. On multiplie d'autant plus les trous de tarière que l'arbre est plus difficile à fendre.

On fend aussi les bois avec une très-grande régularité au moyen de la poudre. Pour cela, on fait avec une tarière tout le long de l'arbre, sur une ligne par où la fente doit passer, une suite de trous qui doivent atteindre le cœur du bois. Ces trous sont écartés d'environ $0^m,30$ au moins l'un de l'autre et de 1 mètre au plus. On y place une petite charge de poudre dont le poids dépend, comme l'espacement des trous, du diamètre de l'arbre et de la ténacité des fibres du bois. Chaque trou est ensuite bouché au moyen d'une cheville fortement chassée à coups de maillet. On a soin préalablement d'enlever le long de chaque cheville un petit segment pour laisser un vide qu'on remplit de poudre. Une traînée convenablement compassée fait arriver le feu partout en même temps ; un bout d'amadou qui brûle lentement donne le temps de s'éloigner. L'explosion simultanée fend l'arbre exactement en deux parties, qu'on peut ensuite refendre en quartiers de la même manière.

140. Équarrissage. — L'équarrissage des tronçons peut s'effectuer de deux manières : à la *hache* ou à la *scie*.

Pour l'opérer à la hache, on pose d'abord le tronçon sur des chantiers ou pièces de bois rondes ou carrées, légèrement enterrées pour leur donner de l'assiette, et entaillées à leur partie supérieure, comme l'indique la figure 200. Le tronçon y étant maintenu fixement au moyen de coins C, on trace sur sa plus petite base le plus grand rectangle possible inscrit dans la section circulaire limitée par l'aubier, puis on trace à l'autre bout un rectangle égal et semblablement disposé. Après cela, on fait passer des plans par les côtés de ces rectangles et l'on en trace l'intersection avec la surface cylindrique du tronc au moyen d'un *cordeau* à battre la ligne. Cela fait, on pratique de distance en distance, et à coups de cognée, des entailles *mm*, dont on limite la profondeurs aux plans d'équarrissage, et cette opération terminée, on abat, au moyen du même instrument, les segments cylindriques restant entre ces entailles. On forme de cette manière une surface plane assez grossière que l'on égalise ensuite à la doloire (*fig.* 201) ou à la hache de charpentier (*fig.* 202).

Lorsqu'on a ainsi équarri les deux premières faces, on *donne quartier* à la pièce et l'on procède de la même manière sur les deux autres.

L'équarrissage à la scie se conduit comme le précédent, quant à la détermination des plans d'équarrissement ; mais les segments cylindriques laissés en dehors qui, dans l'opération précédente, s'enlèvent par copeaux, sont enlevés, dans ce cas-ci, d'une seule pièce. Cette circonstance est souvent avantageuse parce que ces segments, appelés *dosses, flaches* ou *cantibais*, peuvent être utilisés à des travaux grossiers,

tandis que les copeaux qu'on obtient au moyen de l'équarrissage à la hache ne sont propres qu'à faire du feu.

L'enlèvement des dosses ou flaches s'effectue d'ailleurs de la même manière et avec les mêmes instruments qu'on emploie pour débiter les bois.

141. Débit. — Le débit des bois peut se faire à bras d'homme ou à la mécanique, au moyen de scies droites ou de scies circulaires.

L'opération se conduit un peu différemment dans ces différents cas.

Lorsqu'on scie à bras d'homme, on commence par marquer sur le tronc, et d'une façon analogue à ce qui a été décrit plus haut (140), les traces des divers plans de division. On pose ensuite la pièce ainsi préparée sur un chantier suffisamment élevé pour qu'un homme puisse se tenir en dessous ; puis, au moyen de l'instrument connu sous le nom de *scie de long*, on opère la division en faisant marcher l'outil dans le sens des plans déterminés. La scie de long est ordinairement manœuvrée par deux ou trois hommes ; elle consiste en une lame d'acier, armée de dents d'autant plus longues et plus aiguës que le bois à débiter est moins dur ; deux poignées servent à la manœuvrer. Quand on y emploie trois hommes, on en place toujours un en dessus et les deux autres en dessous de la pièce en débit. Pour faciliter le travail de l'instrument, dès qu'il commence à serrer, on chasse, dans la fente qu'il produit, un coin (appelé *bon Dieu* par les ouvriers) qui en fait élargir les parois.

Les machines à scier les bois sont à lames droites ou à lames circulaires.

Les premières sont ordinairement composées d'un cadre solide glissant dans des coulisses verticales ou horizontales et dans lequel sont tendues une ou plusieurs lames de scie. On imprime un mouvement de va-et-vient au châssis, au moyen de diverses combinaisons mécaniques, parmi lesquelles la plus souvent employée est une bielle mise en mouvement par un arbre coudé en manivelle ou par un excentrique. Assez souvent, le même arbre fait mouvoir deux ou trois châssis, afin d'utiliser l'action descendante les uns à la remonte des autres. La bille qu'on veut débiter est placée fixement sur un chantier mobile ou chariot que l'on pousse contre la scie au fur et à mesure de l'avancement du travail ; souvent même le chariot est mis en mouvement par la machine, soit au moyen d'une vis, soit au moyen d'une crémaillère engrenant dans un pignon denté. La figure 203 offre un exemple de l'emploi de cette dernière combinaison.

Les machines dans lesquelles on fait usage de scies circulaires sont plus simples.

La scie, composée d'une feuille mince d'acier parfaitement plane, uniformément épaisse et garnie à sa périphérie de dents plus ou moins aiguës, mais toutes bien égales, est embrochée sur un axe, auquel on communique un mouvement de rotation assez vif. La moitié de la circonférence, à peu près de la scie, fait saillie sur le plan supérieur d'un fort établi sur lequel on fait glisser, contre des guides latéraux, la pièce de bois à débiter (*fig.* 204).

Les plus grandes scies circulaires propres à la refente des pièces d'une assez forte épaisseur n'ont pas plus de $0^m,38$ de rayon ; lorsqu'on n'en emploie qu'une seule et que la pièce a plus d'épaisseur, on doit la refendre en deux fois. On la fend d'abord sur une profondeur un peu plus grande que la moitié de son épaisseur, puis on la re-

tourne pour achever de la fendre de part en part. On évite cette manœuvre dans les grands ateliers en disposant deux scies de même épaisseur et diamètre dans un même plan vertical, comme on l'a indiqué (*fig.* 205). Cette disposition permet de refendre les plus gros arbres d'un seul coup.

On doit à M. Brunel l'invention de scies circulaires auxquelles on a donné jusqu'à $1^m,30$ de diamètre, mais qui ne sont propres qu'au débit des bois de placage. Une scie de cette espèce se compose d'un plateau circulaire de métal, dont l'épaisseur peut être beaucoup plus grande que celle nécessaire pour l'empêcher de se plier ; ce plateau est monté au bout de l'arbre tournant qui ne le dépasse point. Son bord, terminé en biseau sur la face par laquelle il se joint à l'arbre, est garni, sur l'autre face, d'une lame très-mince formant, en plusieurs pièces, une large couronne plate, dont la circonférence est taillée en scie. Dès que cette scie a pénétré dans le bois sur une certaine longueur, la feuille de placage très-mince qu'elle détache passe sur l'épaisseur du plateau et elle se courbe dès qu'elle rencontre l'arbre sans qu'il en résulte aucun obstacle au progrès du sciage (*fig.* 206).

Lorsque le sciage se fait à la mécanique, il suffit de tracer les plans de division sur sur l'un des bouts de la bille, la machine fait le reste, et la régularité du débit dépend entièrement du soin apporté à sa construction.

142. Conditions d'un bon débit. — Il est facile de concevoir qu'on peut débiter un même tronc d'arbre d'un fort grand nombre de manières différentes ; mais toutes ne satisfont pas également bien aux conditions d'un bon débit, car d'un côté il faut chercher à tirer de chaque arbre le produit de la plus grande valeur possible et de l'autre il faut faire en sorte que chaque pièce obtenue soit dans les meilleures conditions. Or, ces deux exigences sont parfois assez difficiles à concilier. Il serait impossible de donner des règles générales à suivre, quant à ce qui concerne le premier point ; la combinaison la plus avantageuse, sous le rapport de la valeur vénale du produit du débit, dépend naturellement du prix relatif du bois sous les diverses formes que le commerce livre à la consommation, et cette donnée peut varier suivant les lieux. Quant au second point, il sera toujours utile de tenir compte des observations suivantes.

Supposons que l'on se propose de débiter un tronc d'arbre en planches ou en madriers de la manière indiquée dans la figure 207, pl. IX, qui en représente la section transversale. Si l'on trace sur cette section la direction des rayons médullaires, on reconnaîtra, de prime abord, qu'à l'exception de la pièce centrale A, toutes les planches sont recoupées par ces rayons, de manière à en contenir du côté tourné vers le centre de l'arbre un plus grand nombre que de l'autre. Or, comme c'est le tissu qui tapisse ces rayons qui est la partie la plus hygrométrique des bois, il résulte de cette disposition que les variations de sécheresse et d'humidité occasionneront des rétrécissements ou des agrandissements inégaux vers les deux surfaces, et que, sous l'influence de ces variations, les pièces ainsi obtenues se courberont tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, comme le montre la figure 208. Cet inconvénient, très-grave dans certains cas, est encore accompagné d'un autre qui ne l'est pas moins. La disposition des rayons médullaires est telle, pour la plupart des pièces, que les variations hygrométriques se feront principalement sentir dans le sens de leur largeur, où

elles sont bien plus sensibles et bien plus dangereuses que dans tout autre, parce qu'elles occasionnent souvent des fentes ou d'autres accidents dans les panneaux d'assemblage.

Si les rayons médullaires étaient dirigés parallèlement à la largeur des pièces, comme dans la planche A (*fig.* 207 et 208), ou bien étaient distribués régulièrement à droite et à gauche du plan passant par leur milieu, comme dans la pièce B (*fig.* 209), ces inconvénients se trouveraient évités. Car, d'un côté, les variations hygrométriques se feraient principalement sentir dans le sens de l'épaisseur, où elles seraient moins sensibles et sans inconvénient dans le plus grand nombre de cas, et de l'autre, ces variations se feraient sentir d'une manière uniforme vers les deux surfaces, circonstance qui tendrait à conserver à la planche sa forme plane.

143. Sciages sur mailles. — On conçoit d'après cela qu'on a quelquefois intérêt, pour certains travaux, à obtenir le plus grand nombre possible de pièces satisfaisant à ces dernières conditions, et l'on y parvient au moyen de ce qu'on appelle un *sciage sur mailles*. Dans le sciage sur mailles, les plans de division sont dirigés de la circonférence au centre, comme c'est indiqué dans la figure 209.

Malgré les avantages incontestables qu'ils présentent sous le rapport de la bonté des produits obtenus, les sciages sur mailles sont pourtant assez rarement exécutés, tant à cause du surcroît de sujétion qu'ils exigent que de l'impossibilité d'obtenir ainsi des planches d'épaisseur uniforme. La réduction ultérieure à épaisseur uniforme occasionne, en outre, un travail assez dispendieux, et une perte de bois assez considérable. On les réserve pour certaines natures d'ouvrage où l'emploi des planches débitées dans d'autres conditions ou, comme on le dit, *sur cercles annuels*, offrirait des inconvénients tout particuliers. Dans les cas ordinaires, on peut se contenter de ces dernières, en ayant soin d'en faire un triage convenable, réservant pour les parties les plus exposées à se fendre ou à se voiler, celles qui se rapprochent le plus des conditions des planches sciées sur mailles.

144. Méthode de Moreau. — Les figures 210 à 213 représentent une méthode de débit connu sous le nom de *Moreau*, son inventeur, et qui a eu un moment une très-grande vogue. Il suffit de jeter les yeux sur ces figures pour reconnaître qu'elle était mieux combinée que la méthode ordinaire. Cependant, elle est à peu près complétement abandonnée aujourd'hui, à cause de la sujétion qu'elle exigeait. Il fallait d'abord poser la pièce sur le chantier, dans la position indiquée figure 210, donner les traits de scie 1, 2, 3, 4, 5, puis rapprocher les deux segments restants, les réunir au moyen de clameaux ou de cordages, et donner quartier. On pouvait alors scier les planches 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12. Cela fait, on devait encore réunir les quatre morceaux restants, et donner quartier, pour donner les traits de scie 13, 14, 15, 16, 17, et ainsi de suite, comme c'est indiqué par le dessin.

145. Méthode hollandaise. — Les Hollandais ont une méthode de débit qui est certainement moins défectueuse que la méthode ordinaire, mais qui offre l'inconvénient de donner des planches toutes d'inégale largeur. Elle est représentée par la figure 214.

146. Observation. — Lorsqu'on veut obtenir des planches de quartier, on commence ordinairement par enlever, comme dans la figure 207, des *dosses* ou *cantibais*

B, C, D, E. D'autres fois, cependant, on fait le débit ainsi qu'il est indiqué figure 216. Dans ce cas, toutes les planches étant débitées, on les empile, comme le montre la figure 215, on les réunit au moyen d'un cordage, et d'un seul trait de scie on les équarrit toutes. On emploie le même procédé dans la méthode hollandaise.

147. Conservation et dessiccation des bois. — Les bois abattus, tronçonnés et débités, sont rarement mis en œuvre aussitôt après avoir subi ces diverses opérations Il est même convenable, dans la plupart des cas, qu'il en soit ainsi, afin de leur donner le temps de se dessécher et de se débarrasser de leur séve qui, comme on l'a déjà fait observer, est une des causes principales de leur détérioration ultérieure. A cet effet, il est d'usage, dans les grands chantiers de construction, les arsenaux maritimes et militaires, etc., d'en former de vastes approvisionnements que l'on entretient sans cesse et qui exigent, pour leur conservation, une foule de précautions dont il est nécessaire que nous donnions ici une idée.

Les circonstances les plus préjudiciables à la conservation des bois sont : l'humidité, surtout l'humidité accompagnée de chaleur, les alternatives de sécheresse et d'humidité, une trop grande sécheresse causée par une forte chaleur ou par un courant d'air trop vif.

Les premières occasionnent l'échauffement et la pourriture, en facilitant la fermentation des liquides séveux ; la dernière occasionne souvent la fente des bois et en diminue presque toujours la valeur.

On concevra aisément, d'après cela, les précautions qui doivent être prises pour maintenir les approvisionnements dans des conditions satisfaisantes.

Empilement. — Ordinairement on empile les pièces sous des hangars bâtis exprès et disposés suivant toutes les convenances, ou bien sous des toitures provisoires, assez saillantes au delà des piles pour en garantir les côtés du soleil ou des pluies chassées par le vent. Chaque pile est formée de pièces recroisées de diverses manières. Les premières posent sur des chantiers suffisamment élevés au-dessus du sol et les autres se trouvent séparées de leurs voisines au moyen de cales en bois assez épaisses pour que le contact n'ait lieu nulle part et qu'il existe partout un jour suffisant par où l'air puisse librement circuler.

On place, autant que possible, ces dépôts dans des endroits bien aérés et en même temps abrités contre l'action du soleil et des vents régnants. Les vents, en effet, outre le hâle qu'ils produisent, pourraient chasser la pluie dans les hangars ou sous les toitures. Enfin, on a soin de remuer les piles de temps en temps, en changeant de place les pièces, et même quelquefois les piles tout entières. L'on ne peut se dispenser de cette opération dès qu'on s'aperçoit, à l'odeur âcre et acide qui s'échappe des magasins, ou à la chaleur de l'air ambiant, qu'un commencement d'échauffement se manifeste. On doit en outre faire attention, lors de ces remuements, de séparer les pièces qui paraîtraient atteintes d'échauffement ou de pourriture, et de renouveler les cales qui ne ne seraient plus parfaitement saines, afin d'empêcher que le mal ne se propage plus loin.

La dessiccation des bois ne s'opère ainsi que fort lentement. On a cherché à l'abréger par divers moyens que nous allons rapidement indiquer.

Flottage. — Le plus suivi est celui qui consiste à *flotter* ou immerger le bois pendant trois ou quatre mois dans une eau stagnante ou courante, ce qui est préférable. Le résultat de cette opération est de dissoudre et d'entraîner les parties sucrées, gommeuses ou salines de la séve, qui sont les plus difficiles à extraire, de sorte que les bois soumis ensuite à la dessiccation en sont bien plus tôt et plus complétement débarrassés que par le procédé ordinaire. L'immersion dans l'eau de mer, que l'on pratique dans les ports, produit un résultat analogue ; mais elle a l'inconvénient d'introduire dans la substance du bois des sels déliquescents qui les rendent peu propres aux constructions civiles.

L'opération du flottage s'accélère beaucoup lorsqu'elle peut être faite dans de l'eau à 30° centigrades environ, qu'il est quelquefois possible de se procurer sans frais, quand on se trouve dans le voisinage d'une machine à vapeur ou d'une distillerie ; mais il n'est pas bien certain que l'espèce de cuisson que l'on fait subir au bois de cette manière n'en altère pas la qualité.

Extraction de la séve. — Rondelet recommande de tenir les arbres debout pendant quelque temps après leur abatage ; une partie des liquides qu'ils contiennent s'en écoule ainsi par le seul effet de la pesanteur ; mais cette prescription n'est pas toujours facile à exécuter, et elle exige d'ailleurs une assez grande main-d'œuvre, ce qui fait qu'elle est rarement suivie.

On a aussi proposé d'extraire la séve des bois : 1° en les soumettant à une forte compression qui l'en chasserait comme on exprime l'eau d'une éponge ; 2° en les soumettant en vases clos à l'action de la chaleur d'un bain d'eau bouillante qui réduit la séve en vapeur qu'on recueille dans un condenseur ; 3° en les faisant sécher dans des étuves ; mais toutes ces opérations ont le désavantage d'exiger des appareils gênants et dispendieux, et peut-être d'altérer la force des bois.

En général, on doit plus ou moins se défier de certains procédés nouveaux qui paraissent séduisants au premier coup d'œil, mais qui ont souvent le défaut de ne faire disparaître un inconvénient que pour le remplacer par un plus grave.

148. Injection des bois. — Au lieu d'extraire la séve par une dessiccation lente ou accélérée par le flottage, ou bien autrement, on a essayé de la remplacer par des substances conservatrices, injectées, par divers procédés, dans le tissu du bois.

Ceux d'entre ces procédés qui ont le plus de vogue sont ceux de MM. Kyan, Breant et Moll, de Londres, et du docteur Boucherie, de Bordeaux.

Procédé Kyan. — Le procédé de M. Kyan consiste à immerger les pièces de bois complétement et pendant un temps plus ou moins long, dans un bain de deuto-chlorure de mercure (sublimé corrosif) dissous dans l'eau.

La durée de l'immersion est de dix-huit jours pour les pièces de $0^m,25$ à $0^m,30$ d'équarrissage, de quatorze jours pour celles de $0^m,20$ à $0^m,25$, de dix jours pour celles de $0^m,15$ à $0^m,20$, de sept jours pour celles de $0^m,10$ à $0^m,15$, et de quatre jours pour les madriers de $0^m,05$ à $0^m,07$ d'épaisseur.

Les bois préparés par ce procédé ont été soumis à des épreuves qui semblaient décisives. On les a placés en même temps que des pièces non préparées dans des fosses remplies de matières animales en putréfaction. Ces dernières étaient complète-

ment pourries au bout d'un an, tandis qu'après cinq années les premières étaient parfaitement saines tout aussi bien en dehors qu'en dedans. Il paraîtrait toutefois que les bois *kyanisés* n'ont pas mieux résisté que les autres sur quelques lignes de chemins de fer où l'on en avait fait usage. Il est vrai que dans ce cas le bois est soumis à des causes de destruction toutes particulières (l'écrasement causé par le passage des convois qui déchire et désorganise rapidement le tissu ligneux). Ce procédé, qui était d'ailleurs très-coûteux, est aujourd'hui à peu près entièrement abandonné.

Procédé Breant et Moll. — Les procédés de MM. Breant et Moll ne diffèrent du précédent que par les moyens employés pour injecter le bois. Le premier exerce sur le liquide dans lequel le bois est immergé une forte pression qui accélère l'opération. Le second soumet d'abord le bois à une forte injection de vapeur d'eau, il le laisse ensuite refroidir en en plongeant l'extrémité dans le liquide conservateur. Ce dernier s'infiltre dans les vaisseaux ligneux par suite du vide qui s'y forme.

Ces divers procédés ont l'inconvénient d'exiger des appareils compliqués et embarrassants qui en restreindront longtemps l'usage. Celui de M. Boucherie les évite d'une manière vraiment heureuse.

Procédé Boucherie. — M. le docteur Boucherie injecte les bois d'une manière différente, selon qu'ils sont sur pied ou abattus.

Dans le premier cas, il profite de la force ascensionnelle dont la séve est animée pour faire pénétrer le liquide conservateur dans les parties les plus reculées du végétal. Il suffit, en effet, de pratiquer au pied de l'arbre un simple trait de scie ou même un trou de tarière et de l'entourer d'un bain de liquide pour que bientôt celui-ci soit entraîné même jusque dans les feuilles. Cette opération réussit également bien avec des arbres tout récemment abattus, au sommet desquels on a réservé une touffe de feuillage.

Dans le second cas, les bois sont placés debout ou inclinés. On garnit leur extrémité supérieure d'une espèce d'entonnoir en tôle ou en plomb et on le remplit de liquide. Celui-ci, par l'effet de la pesanteur, s'infiltre dans les vaisseaux fibreux et finit par traverser l'arbre de part en part. C'est notamment de cette manière qu'on prépare les poteaux télégraphiques. Pour les billes de chemins de fer, on procède un peu différemment. Les tronçons sont posés à plat, côte à côte, sur un chantier ; on fait à l'un des bouts un trou de tarière et l'on y introduit le bout d'un tuyau flexible, en communication lui-même avec une cuve remplie du liquide conservateur placée à 6 ou 7 mètres au-dessus du sol sur un échafaudage ; ce liquide s'infiltre ainsi dans le bois et on le voit après quelque temps couler par le bout opposé à celui dans lequel a été percé le trou de tarière, ce qui indique que l'opération est terminée.

Jusqu'à présent, l'objection la plus sérieuse qu'on ait faite contre ce procédé, c'est que le bois ne s'imprégne pas également dans toutes ses parties, et qu'il en est même une certaine portion, qui varie avec l'espèce et l'âge du végétal, qui ne s'imprégne pas du tout. Le corps des ponts et chaussées belge a soumis des bois préparés par ce procédé à des essais qui jusqu'ici ne sont pas regardés comme entièrement décisifs ; mais quoi qu'il en soit, le procédé de M. Boucherie n'en est pas moins remarquable par sa simplicité, et l'on pourra, dans tous les cas, l'utiliser à la coloration des bois,

qu'il opère d'une manière facile et complète. Il suffit de leur faire sucer alternativement diverses dissolutions réagissant les unes sur les autres, de façon à produire des composés de la couleur voulue : ainsi, par exemple, pour colorer en bleu on fait d'abord absorber une dissolution de pyrolignite de fer, puis une dissolution de prussiate acide de potasse. Pour colorer en noir, il suffit de remplacer cette dernière par une infusion de noix de galle ou de matière tannante. Pour colorer en jaune, on fait absorber successivement des dissolutions d'acétate de plomb, puis de chromate de potasse, et ainsi de suite.

Les liquides conservateurs employés pour injecter les bois ont été tour à tour le pyrolignite de fer, les sulfates de cuivre, de zinc et de fer, le chlorure de zinc, l'huile essentielle de goudron (procédé Bethell), etc. Ceux qui paraissent avoir donné les meilleurs résultats sont le sulfate de cuivre et l'huile essentielle de goudron.

149. Conservation des bois ouvrés. — Il est encore d'autres moyens de conservation qui sont fréquemment employés pour les bois ouvrés, seuls ou concurremment avec les précédents. Nous voulons parler des enduits de diverses sortes dont on recouvre les bois pour en préserver l'extérieur des atteintes des intempéries ou de certains animaux destructeurs.

Les enduits les plus communément employés dans les circonstances ordinaires sont des couleurs à l'huile ou du goudron qu'on applique bien chaud.

Pour être utiles, ces enduits ne doivent être étendus que sur des bois parfaitement secs, car, dans le cas contraire, l'évaporation de la sève est rendue plus difficile et les pièces sont sujettes à s'échauffer et à se pourrir bien plus vite que dans leur état naturel, surtout si la couleur est foncée et favorise l'absorption des rayons calorifiques. On voit bien souvent des bois qu'on s'est trop hâté de peindre ou de goudronner, pourris vers le cœur, tandis qu'à l'extérieur ils paraissent encore parfaitement sains, circonstance qui induit dans une fausse sécurité et a causé quelquefois des accidents déplorables.

Ces considérations devraient engager les constructeurs à ne peindre que sur un certain nombre de faces les bois récemment mis en œuvre (sauf le cas où l'on est parfaitement sûr de la sécheresse complète des pièces). Il convient de laisser libre de tout enduit au moins une des faces les moins exposées à la pluie, et d'attendre 5 ou 6 ans avant de la couvrir, comme les autres, de couleur ou de goudron.

150. Doublage. — On a proposé et essayé quelquefois, mais sans succès réel, des enduits de diverses natures pour mettre les ouvrages en bois construits dans l'eau de la mer à l'abri des atteintes des *tarets* et des *pholades* (1) ; jusqu'à présent le seul moyen qui réussisse est une enveloppe complète ou un *doublage* en feuilles métalliques. Le métal le plus employé pour cet usage est le cuivre ; on lui substitue parfois le zinc, le laiton ou le bronze.

151. Carbonisation. — L'on est dans l'habitude, pour conserver plus longtemps les bois enterrés, de charbonner les parties en contact avec la terre ; mais l'efficacité

(1) Vers marins qui percent le bois et le détruisent complétement en peu de temps.

de ce palliatif est contesté. Le colonel Émy fait remarquer, et non sans raison, que la carbonisation ne peut avoir d'autre avantage que d'empêcher le contact immédiat de la terre humide avec le bois non charbonné, et qu'elle a l'inconvénient de détruire une épaisseur de bon bois qui exigerait certain temps pour être pourrie dans la terre. Au lieu de carboniser les bois qu'on veut enterrer, il vaut mieux, selon lui, les laisser intacts et les environner de matériaux non conducteurs de l'humidité, tels que du sable et des cailloux siliceux, des scories de forge ou de verrerie qui laissent écouler rapidement l'eau tombée sur le sol.

152. Moyens employés pour diminuer la combustibilité des bois. — La combustibilité des bois est un très-grand inconvénient auquel on a essayé de remédier par l'emploi de diverses préparations. On a proposé l'emploi du phosphate et du borate d'ammoniaque injecté dans le tissu ligneux ; mais ces matières sont encore trop chères pour qu'on puisse en faire usage dans les cas ordinaires ; leur nature saline offre d'ailleurs encore d'autres inconvénients. La préparation qui paraît jusqu'ici offrir le plus de garantie est la peinture au *verre soluble* dont on a fait une application sur une vaste échelle à la construction du théâtre de Munich. Le *verre soluble* est un silicate de potasse ou de soude, réunissant à une parfaite solubilité dans l'eau bouillante quelques-unes des propriétés générales du verre ordinaire. Sa fabrication et son emploi exigent des précautions toutes particulières que nous ne pouvons décrire ici. Nous renvoyons pour ces détails à l'ouvrage de M. Dumas (*Chimie appliquée aux arts*, t. II, p. 577 et suiv.).

ARTICLE II.

DES ARBRES PROPRES A FOURNIR LES BOIS DE CONSTRUCTION.

153. — La nature offre une immense quantité d'espèces et de variétés d'arbres propres aux constructions, mais le nombre de celles qui sont usuellement employées est néanmoins assez restreint. Elles sont, dans chaque pays, choisies parmi les essences qui offrent le plus d'avantages sous le rapport de la force, de la durée, de l'économie et de la facilité du travail. Il serait donc superflu d'en donner la nomenclature complète, et nous pouvons nous borner à indiquer et à décrire celles des espèces et des variétés les plus communément employées dans nos contrées. Cela nous évitera la nécessité de recourir aux descriptions scientifiques des naturalistes, qui ne sont bien nécessaires que pour étudier et classer les innombrables produits de la végétation. La plupart des arbres ordinairement employés offrent des caractères spécifiques assez tranchés pour qu'il soit possible de les faire connaître sans sortir du langage vulgaire.

154. Caractères distinctifs des arbres. — Les arbres peuvent se reconnaître, lorsqu'ils sont sur pied, par leur port, par la disposition de leurs branches et par la conformation de leurs feuilles, de leurs fleurs et de leurs fruits. La couleur et l'état de leur écorce est aussi un caractère qui peut servir à les distinguer et qui peut surtout

donner d'utiles indications, lorsque l'arbre est abattu et privé de ses branches. Dans ce dernier cas, indépendamment des signes distinctifs tirés de l'inspection de l'écorce, il n'y a d'autre moyen de les reconnaître que par la couleur du bois, celle de l'aubier, la finesse et la disposition du tissu fibreux. Il faut, dans plusieurs cas, une très-grande habitude pour y parvenir.

155. Division en quatre classes. — On divise les arbres en quatre classes, selon la qualité du bois qu'ils produisent :

Dans la première, on range tous ceux qui fournissent les bois les plus durs et les plus durables, comme le *chêne*, le *châtaignier*, l'*orme*, le *noyer*, le *hêtre* et le *frêne* ; dans la seconde, les arbres *résineux*, c'est-à-dire dont le bois est tout imprégné d'une substance résineuse, comme le *pin*, le *sapin* et le *mélèze* ; dans la troisième, ceux dont le bois est tendre, spongieux, souvent blanc, comme le *peuplier*, le *tremble*, l'*aune*, le *bouleau*, etc. Finalement, dans la quatrième, on range les arbres qui fournissent un bois d'un tissu fin et serré, susceptible de recevoir un poli plus ou moins brillant : tels sont le *prunier*, le *poirier*, le *buis*, l'*acajou*, le *palissandre*, l'*ébène*, le *gaïac*, etc.

ARBRES A BOIS DUR.

I. — CHÊNE.

156. Caractères distinctifs. — Port élevé, écorce d'un gris rougeâtre, finement crevassée, branches fortement accidentées, feuilles ovales, mais découpées par des échancrures arrondies (*fig.* 217), groupées en bouquets à l'extrémité des rameaux, fruit très-connu appelé gland (*fig.* 218).

Enfin bois d'un jaune légèrement brun, quand il est récemment abattu, mais qui se fonce et devient même noir par une longue exposition à l'air ou dans l'eau. Le chêne est encore remarquable par son aubier, qui est épais et d'une couleur plus claire que le cœur du bois. Ses fibres sont droites et serrées, séparées çà et là par de petits canaux interrompus. Lorqu'il est fendu ou scié sur maille, il présente de larges miroirs.

Le chêne croît très-lentement et acquiert des dimensions fort variables, mais dont les moyennes sont :

Hauteur totale.	27	mètres.
— du tronc.	15	—
Diamètre	0,81	—

Sa pesanteur spécifique est d'environ 0,950 (celle de l'eau étant 1,00).

157. Variétés. — On en distingue un grand nombre d'espèces et de variétés, mais on n'emploie guère dans nos contrées que celles connues sous le nom de *chêne à grappes* (1) et le *chêne sessile* (2). La première est caractérisée par des feuilles plus

(1) C'est le *quercus* des anciens ; *quercus racemosa* de LAMARCK ; *rouvre* des agriculteurs français ; *Sommereiche* des Allemands.

(2) *Quercus sessiliflora* de SMITH ; *robur* des anciens ; *Wintereiche* des Allemands.

larges au sommet qu'à la base et parfaitement *glabres* (1) ; par les glands portés par un long pédicule (2) et formant un épi lâche ; enfin par son bois moins coloré que l'autre variété. Cet arbre forme la base principale de nos forêts et fournit les plus belles pièces de charpente.

La seconde est remarquable par son port moins élevé, son bois plus foncé, plus tendre et plus facile à travailler, mais moins fort et moins durable ; par ses feuilles souvent velues en dessous et non élargies au sommet ; enfin par ses glands qui sont presque sessiles (3).

Le chêne connu sous le nom de *chêne de Hollande* appartient à ces variétés ; mais, comme tous les bois venus en terrain fertile et humide, il est mou, *gras*, facile à couper et recherché surtout pour la menuiserie.

158. Qualités, usages. — Le chêne est sans contredit le meilleur bois de charpente que nous possédions. Il est fort, élastique et durable ; on a des exemples de charpentes en chêne qui ont duré six cents ans. Dans l'eau, il est presque impérissable, et il y acquiert à la longue une dureté et une couleur comparables à celles de l'ébène.

Le chêne, comme tous les autres bois, augmente de volume par l'humidité et se rétrécit par l'effet de la sécheresse. D'après des expériences faites et rapportées par M. Barres du Molard (4), une poutre de chêne parfaitement sec, longue de $11^m,78$ et ayant $0^m,406$ d'équarrissage, immergé pendant dix-huit heures dans l'eau à la température ordinaire, s'est allongée de $0^m,008$; une autre poutre de même essence, longue de $11^m,694$ et d'un équarrissage de $0^m,325$ s'est allongée de $0^m,005$, et finalement une troisième poutre de $4^m,548$ de long sur $0^m,122$ d'équarrissage, s'est allongée de $0^m,001$. L'allongement dépendrait, d'après cela, non-seulement de la longueur de la poutre, mais encore de sa section transversale.

Suivant Rondelet (5), la variation de dimension qu'éprouve le chêne bien sec soumis aux alternatives de l'humidité et d'une sécheresse plus ou moins grande serait : dans le sens de la longueur des fibres de $\frac{1}{6566}$ à $\frac{1}{4377}$ et dans le sens perpendiculaire aux fibres, de $\frac{1}{412}$ à $\frac{1}{83}$.

II. — CHATAIGNIER (6).

159. Caractères distinctifs. — Cet arbre est presque inconnu en Belgique, mais assez commun en France et dans les contrées méridionales de l'Europe. Son bois ressemble beaucoup à celui du chêne, avec lequel il a été souvent confondu. C'est ce qu'atteste l'opinion, encore fort répandue, que la plupart des anciennes charpentes

---

(1) Luisantes, dépourvues de tout poil.
(2) Queue.
(3) Attachés immédiatement au rameau.
(4) *Essai d'un nouveau système de ponts à grande portée*.
(5) *Art de bâtir*, p. 209, t. III.
(6) *Castanea*.

sont en châtaignier, tandis que Buffon et Daubenton ont prouvé que ce prétendu châtaignier n'est qu'une variété de chêne.

Voici la description qu'en donne le colonel Émy.

La feuille du châtaignier est longue de 5 à 7 pouces (15 à 17 centimètres), large de 18 à 20 lignes (1 $\frac{1}{2}$ à 2 centimètres), bordée de dents aiguës. Elle est d'un beau vert. Ses fleurs sont en chatons aussi longs que ses feuilles. Ses fruits sont contenus dans une enveloppe sphérique épineuse. Deux variétés de cet arbre croissent en Europe ; l'une produit les châtaignes communes, qui sont un peu aplaties, parce qu'elles naissent deux ou trois dans la même enveloppe ; l'autre produit les marrons, qui sont plus gros, presque entièrement ronds, parce qu'il viennent isolément.

Les châtaigniers acquiert des grosseurs quelquefois prodigieuses ; on cite entre autres celui dit *aux cents chevaux* qui existe sur le mont Etna, et qui a plus de 52 mètres de circonférence.

Malgré cet exemple, et beaucoup d'autres que l'on pourrait citer, le châtaignier a cependant des dimensions moyennes un peu moindres que celle du chêne ; elles sont de 24 mètres pour la hauteur totale, 14 mètres pour celle du tronc et $0^m,72$ pour le diamètre. Son bois est plus léger que celui du chêne ; il pèse spécifiquement 0,685 en moyenne.

160. Usages. — Indépendamment de son emploi dans la charpente, dans les lieux où il est commun, le châtaignier est employé à faire des cercles de tonneau et des manches d'outils fort estimés. Ces objets se tirent de jeunes pousses de taillis de 7 à 8 ans.

III. — ORME (1).

161. Caractères distinctifs. — L'orme est un grand et bel arbre fort répandu en Europe et assez commun en Belgique.

Son tronc droit et élevé a quelque ressemblance à celui du chêne, mais les bifurcations des branches sont toujours peu accidentées et légèrement pendantes vers la terre. Ses feuilles ovales et dentelées (*fig.* 219) sont d'un vert foncé. Ses fleurs naissent avant les feuilles et sont disposées en paquets serrés et très-nombreux le long des rameaux (*fig.* 220).

Son bois est brun rougeâtre, très-fibreux, dur, souple et liant, d'une apparence grossière, sujet à se tourmenter, difficile à travailler.

L'orme atteint quelquefois des dimensions considérables, on en cite un dans le Massachussetts qui a 34 pieds ($11^m,05$ de diamètre), mais il se tient le plus souvent dans des dimensions beaucoup moindres ; les moyennes sont :

Hauteur totale.	24	mètres.
— du tronc.	14	—
Diamètre.	0,80	—

La pesanteur spécifique est de 0,738.

---

(1) *Ulmus.*

162. Variétés et usages. — On connaît un grand nombre de variétés de cet arbre, mais on distingue surtout les ormes à grandes et à petites feuilles, et l'orme *tortillard*, dont les fibres ont une très-grande ténacité et qui sert à faire les moyeux de roues.

Les autres espèces d'orme sont surtout employées dans la charpenterie des moulins et des pressoirs, pour faire des vis et des écrous, des corps de pompe et des tuyaux de conduite, etc. On en fait peu d'usage dans la charpenterie ordinaire, parce qu'il se laisse facilement piquer des vers.

IV. — NOYER (1).

163. Caractères distinctifs. — Le noyer est un arbre très-connu par son fruit, qui naît enveloppé comme noyau par une pulpe épaisse appelée *brou*. Ses feuilles sont d'un beau vert, fortement odorantes et groupées par paires le long d'une longue queue terminée elle-même par une feuille. Son écorce est lisse, d'une couleur cendrée dans les jeunes sujets, mais fortement crevassée dans les sujets plus âgés.

Son bois est brun, légèrement veiné, serré, doux à l'outil.

Les dimensions moyennes sont :

Hauteur totale	18	mètres.
— du tronc.	9	—
Diamètre	0,92	—

Pesanteur spécifique, 0,680.

164. Usages. — Quoique cet arbre soit susceptible d'acquérir des dimensions considérables, il n'est guère employé aux travaux de charpente, parce qu'il est fort sujet à être piqué des vers et peu résistant aux efforts qui tendent à le fléchir.

Le noyer est surtout employé pour les ouvrages de menuiserie, de marqueterie et de tour ; il sert presque exclusivement à la fabrication des bois de fusil.

V. — HÊTRE (2).

165. Caractères distinctifs. — Le hêtre serait le rival du chêne si son bois n'était très-facilement attaquable par les vers et très-sujet à se fendre en se desséchant.

C'est un arbre remarquable par la rectitude de son tronc et de ses branches. Son écorce est d'un gris cendré, toujours lisse, mais souvent recouverte de lichens et de mousses, qui y forment des taches blanches, jaunes, brunes et noires. Ses feuilles (*fig.* 221) ressemblent assez à celles de l'orme ; mais elles sont d'un vert plus clair, très-luisantes et comme hérissées sur les côtés des rameaux. Ses fruits, connus sous le nom de *faînes*, sont composés de deux petites noix triangulaires renfermées dans

---

(1) *Juglans.*
(2) *Fagus silvestris.*

une enveloppe épineuse ressemblant, sauf la grosseur, à celle des marrons et des chataîgnes (*fig.* 222).

Son bois est d'une couleur fauve très-claire, ses fibres sont serrées ; mais il n'est cependant pas très-dur, à moins qu'il n'ait subi l'action d'une forte chaleur. Il est facile à reconnaître à cause d'une foule de papilles fines et allongées qui couvrent la surface par laquelle il se sépare de son écorce et qui sont moulées dans cette écorce. Ces mêmes papilles se retrouvent lorsqu'on le fend sur les cercles annuels. Fendu sur maille, il présente des facettes brillantes et satinées comme celle du bois de chêne, mais incomparablement plus petites et plus multipliées.

Dimensions moyennes :

Hauteur totale	24	mètres.
— du tronc.	14	—
Diamètre	0,76	—

Pesanteur spécifique, 0,720.

166. Variétés et usages. — On ne connaît en Europe qu'une seule variété de cet arbre, c'est celle que nous avons décrite. Il est d'un assez bon emploi comme bois de charpente, mais il faut pour cela qu'il ait été parfaitement débarrassé de sa séve et bien desséché. Il réussit en général fort bien dans les ouvrages hydrauliques qui sont constamment immergés, et, à ce que prétendent bon nombre de charpentiers et de marchands de bois, dans tous les ouvrages exposés à des mouvements vibratoires plus ou moins prononcés (1). Il est surtout d'un très-grand usage pour la confection des ouvrages de boissellerie.

VI. — FRÊNE (2).

167. Caractères distinctifs. — On en compte une trentaine de variétés obtenues par la culture du *frêne commun*, arbre de futaie à tige droite et très-élevée. Ses feuilles (*fig.* 223) sont pennées avec impaires ; elles sont composées de onze à treize folioles dentelées. Ses fleurs sont en grappes sur les rameaux de l'année précédente ; ses fruits (*fig.* 224) sont des capsules oblongues terminées par un aileron membraneux.

Le bois de frêne est blanc, veiné longitudinalement de teintes jaunâtres. Il est ferme et liant, d'abord tendre, flexible et facile à travailler ; mais avec le temps il devient roide et fort dur. On lui reproche d'être assez promptement piqué des vers.

Dimensions moyennes :

Hauteur totale.	20	mètres.
— du tronc.	12	—
Diamètre	0,60	—

Pesanteur spécifique, 0,787.

---

(1) Cette dernière observation est présumablement applicable aux autres bois sujets à être piqués des vers ; il est vraisemblable que ses mouvements vibratoires déplaisent aux insectes et les empêchent de déposer leurs œufs.

(2) *Fraxinus excelsior.*

168. Usage. — Le frêne, quoique assez commun, est rarement employé dans les charpentes ; mais il rend de bons services dans les travaux de charronnage et de l'artillerie, pour les pièces qui exigent de la longueur et de la souplesse.

ARBRES RÉSINEUX.

169. Observations générales. — Les arbres appartenant à cette classe sont désignés sous le nom de *résineux*, à cause de la résine dont il sont imprégnés et qui s'écoule à l'extérieur dès qu'on y pratique une incision quelconque. On les appelle aussi *arbres verts*, à cause de la propriété dont ils jouissent, pour la plupart, de conserver leurs feuilles pendant l'hiver, et *conifères* à cause de la forme de leur fruit (*fig.* 225).

Dans un grand nombre de cas, les bois résineux peuvent avantageusement remplacer les bois durs ; il sont aussi résistants et à peu près aussi durables qu'eux, et fournissent des pièces légères et d'une grande longueur. Ils sont en général d'autant meilleurs pour les travaux de charpente qu'ils contiennent plus de résine. Ceux dont on a extrait cette substance au moyen d'incisions perdent de leur qualité, et ceux que l'on a totalement épuisés en les *saignant à mort*, comme disent les résiniers, ne sont plus bons qu'à être brûlés.

Ces bois sont faciles à distinguer de ceux des autres classes, mais il faut une très-grande habitude pour distinguer les unes des autres leurs différentes espèces et variétés. Leur tronc offre ceci de particulier qu'il est composé de couches annuelles concentriques fort distinctes et formées, chacune, de deux substances tout à fait différentes, l'une molle, spongieuse, blanchâtre et comme médullaire, l'autre au contraire ferme, serrée, dure, rougeâtre et essentiellement résineuse. Il en résulte que, lorsqu'il a été débité soit sur ces cercles annuels (suiv. *ab*, *fig.* 226), soit sur maille (suiv. *cd*), ces deux substances se présentent en rubans bicolores nettement séparés les uns des autres. En général, le bois est de qualité d'autant meilleure que la partie résineuse ou rouge y est plus développée.

Ces bois demandent à être écorcés aussitôt qu'ils sont abattus. Ils sont très-sujets à être piqués des vers quand cette précaution n'est pas prise. Les nœuds qu'ils présentent fréquemment exigent un examen tout particulier, attendu que lorsqu'ils sont cariés, les marchands masquent ce défaut en substituant aux nœuds vicieux des nœuds sains, qu'ils collent avec de la résine fondue.

I. — PIN (1).

170. Caractères distinctifs. — On en connaît une trentaine d'espèces remarquables par leur tronc droit et élevé, leurs branches disposées par verticilles, c'est-à-

(1) *Pinus.*

dire par étages autour de la tige, leurs feuilles vertes, linéaires, réunies à leur base, deux ou cinq ensemble, et disposées en spirales autour des rameaux.

171. Variétés. — Les principales variétés qui croissent en Europe sont :

Le *pin sauvage* (pinus silvestris), vulgairement *pin de Genève, pin de Russie, pinéasse.* Ses feuilles sont disposées en double spirale le long des rameaux. Ses fruits sont parfaitement coniques, arrondis à leur base, ayant de 4 à 6 1/2 centimètres de longueur. Il croît dans les pays du Nord et dans les pays de montagnes ; il est commun en France et en Allemagne.

Le *pin rouge* (pinus rubra), ou *pin d'Écosse.* Il produit des cônes quadrangulaires à base de losange. Il croît en Écosse, dans les Alpes et les Pyrénées.

Le *pin mugho*, vulgairement *torche-pin, pin suffis, pin crin, mugho.* Il a le même fruit que le pin sauvage ; ses feuilles sont d'un vert foncé, elles exhalent une forte odeur de térébenthine. Ses cônes sont toujours d'un tiers plus courts que ses feuilles. Il croît dans les Alpes et dans les Pyrénées.

Le *pin laricio* (pinus laricio), *pin de Corse.* Il croît sur les montagnes de l'île de Corse et en Hongrie. Ses feuilles jumelles sont très-menues, ses cônes sont réunis deux à quatre, situés horizontalement, leur pointe tournée vers la terre.

Le *pin maritime* (pinus maritima). Il croît naturellement dans le midi de l'Europe, dans les sables voisins de la mer. Ses cônes sont compactes, moins allongés que ceux des autres espèces ; on les connaît sous le nom de *pommes de pin.*

Les dimensions que ces arbres atteignent sont moyennement :

Hauteur totale.	24	mètres.
— du tronc	15	—
Diamètre.	0,87	—

Pesanteur spécifique, 0,612.

172. Qualités, usages. — Le bois du pin est généralement fort, résineux et résiste très-bien à l'humidité. On en fait un très-grand usage en charpenterie et en menuiserie.

L'allongement du bois de pin parfaitement sec, immergé pendant dix-heures dans l'eau à la température ordinaire, a été observé comme suit par M. Barres du Molard :

Une poutrelle de $0^m,108$ sur $0^m,068$ d'équarrissage, longue de $2^m,816$, s'est allongée de $0^m,002$.

Une poutre de $0^m,325$ sur $0^m,325$, longue de $9^m,826$, s'est allongée de $0^m,010$.

II. — SAPIN (1).

173. Variétés et caractères. — Les variétés les plus communes sont le *sapin commun* ou *argenté*, et le *sapin élevé* ou *pesse.* Ces arbres, très-communs en Europe, se distinguent principalement des pins par la longueur de leurs cônes, qui atteignent

(1) *Abies.*

16 à 18 centimètres. Dans la première variété, ils sont dirigés vers le ciel, et dans la seconde, ils sont pendants vers la terre.

Les dimensions moyennes des sapins sont :

Hauteur totale	32	mètres.
— du tronc	18	—
Diamètre	1,20	—

Pesanteur spécifique, 0,542.

174. Usages, qualités. — Employés comme les pins aux travaux de charpente et de menuiserie.

D'après les expériences de M. Barres du Molard, une poutre de sapin blanc de $0^m,13$ d'équarrissage, longue de $12^m,994$, s'est allongée de $0^m,008$ par l'effet de l'immersion pendant 18 heures dans l'eau à la température ordinaire. Une autre poutre de même bois de $0^m,379$ sur $0^m,270$ d'équarrissage, longue de $11^m,06$, s'est allongée, dans la même expérience, de $0^m,013$. Ces expériences ont été faites sur des bois parfaitement secs.

Suivant Rondelet, le sapin parfaitement sec, soumis aux alternatives de l'humidité et de la sécheresse, varierait de $\frac{1}{10940}$ à $\frac{1}{9120}$ dans le sens des fibres, et de $\frac{1}{360}$ à $\frac{1}{75}$ dans le sens perpendiculaire à la direction des fibres

III. — MÉLÈZE (1).

175. Caractères et qualités. — Le mélèze est le seul conifère qui perde ses feuilles pendant l'hiver, et ce caractère seul suffit pour le faire distinguer de ses congénères. C'est le plus haut et le plus droit des arbres d'Europe. Son bois est le plus durable de ceux fournis par les arbres de cette classe ; sous l'eau il est presque impérissable et devient presque aussi dur que de la pierre. On cite un vaisseau construit en bois de cette espèce, trouvé à douze brasses sous l'eau dans les mers du Nord, après avoir été submergé pendant deux mille ans, dont le bois résistait aux meilleurs outils.

Le mélèze croît sur les Alpes, les Apennins, les montagnes de l'Allemagne, de la Russie et de la Silésie, et dans la plus grande partie des régions septentrionales de l'ancien continent ; il n'en existe pas en Angleterre ni dans les Pyrénées.

Dimensions moyennes :

Hauteur totale	25	mètres.
— du tronc	15	—
Diamètre	0,90	—

Pesanteur spécifique, 0,656.

IV. — BOIS DU NORD.

176. — Les trois espèces d'arbres résineux que nous venons de décrire sont celles qui fournissent presque exclusivement les bois qui nous viennent, par navires, de

---

(1) *Larix.*

l'étranger, et que l'on connaît sous le nom de *bois* ou de *sapins du Nord*. On en distingue de deux espèces : le *sapin rouge*, qui se tire principalement des mélèzes qui croissent dans les immenses forêts de la Suède, de la Norwège et de la Russie (principalement dans les environs de Riga), et le *sapin blanc*, qui s'extrait de diverses espèces de pins et de sapins qui croissent dans les mêmes contrées et dans les parties sablonneuses du Brandebourg et des provinces prussiennes adjacentes. Les principaux lieux de provenance des bois de cette dernière espèce sont Narva, Memel, Dantzig et Gottenbourg.

Ces bois nous arrivent en *poutres*, *solives* ou *gîtes*, *madriers*, *planches* et *espars* ou *perches*, dont les dimensions varient généralement entre les limites indiquées dans le tableau suivant.

DÉSIGNATION DES PIÈCES.	LONGUEUR en mètres.	ÉPAISSEUR en millimètres.	LARGEUR en millimètres.
POUTRES :			
De Riga (rouge)	5,16 à 12,90	287 à 312	338 à 364
— (blanc)	5,16 à 12,90	312	364
De Narva (rouge)	5,16 à 12,90	260 à 468	260 à 468
De Memel (blanc)	»	314 à 338	314 à 338
De Dantzig (blanc)	»	260 à 390	260 à 290
De Sundswall et Gottenbourg (blanc)	5,16 à 11,57	208 à 338	208 à 338
SOLIVES OU GITES	2,29 à 9,04	104 à 182	130 à 260
MADRIERS.			
De Narva	1,72 à 8,60	52 à 78	260 à 338
De Memel	8,03 à 8,33	78	287
De Gottenbourg	1,72 à 6,31	65 à 78	104 à 287
PLANCHES.			
De Riga	2,87 à 8,60	32	260
De Narva	1,70 à 8,60	26 à 39	104 à 312
ESPARS.			
De Riga et de Narva	5,74 à 6,31	»	»
Idem	8,60 à 10,32	»	»

ARBRES A BOIS TENDRE.

177. — Les arbres de cette catégorie croissent avec rapidité dans un grand nombre de terrains, mais les terrains humides et bas sont ceux qui leur conviennent le mieux. Les bois qu'ils produisent se reconnaissent en général par un tissu mou et spongieux, semblable à celui de l'aubier de certains bois durs, ou à la partie molle des bois résineux. On ne distingue que très-difficilement leur aubier du bois fait, et

leurs couches annuelles sont souvent peu visibles. Ces bois sont légers, faciles à travailler, mais très-peu durables. On ne les emploie guère qu'à des ouvrages de charpente provisoires ; mais on en fait un assez grand usage dans la menuiserie légère.

I. — PEUPLIER.

178. Caractères. — Les arbres du genre peuplier sont en général faciles à reconnaître. Ils sont très-élevés ; leurs feuilles sont luisantes et d'un beau vert en dessus, ordinairement blanches et plus ou moins cotonneuses en dessous, elles sont rondes ou triangulaires et portées par de longs pétioles, qui leur donnent une extrême mobilité. Elles sont agitées au moindre vent.

179. Variétés. — Parmi une vingtaine de variétés de cet arbre qui croissent en Europe, les plus communes et les plus employées sont :

Le *peuplier blanc* (1), vulgairement *bois blanc, ypréau,* qui élève sa tige jusqu'à 32 mètres et acquiert un mètre de diamètre par le bas ; l'écorce de son tronc et de ses branches est d'un gris blanchâtre ; celle de ses rameaux est blanche et cotonneuse, ainsi que le dessous de ses feuilles, qui sont en dessus d'un vert sombre et luisant. Cet arbre est facilement reconnaissable de loin par la différence des deux couleurs et le continuel mouvement de son feuillage. Ses fleurs sont en chatons allongés ; elles paraissent longtemps avant les feuilles.

Le *peuplier d'Italie* ou *peuplier pyramidal* (2), qui se distingue par la beauté de son immense pyramide formée par des branches nombreuses serrées contre une tige très-élancée et parfaitement droite. Son bois est très-léger, sa pesanteur spécifique $= 0{,}415$.

Le *peuplier de Canada,* qui a beaucoup de ressemblance avec le précédent, mais dont la pyramide est moins élégante et moins élancée.

II. — TREMBLE (3).

180. — C'est une espèce de petit peuplier qui croît dans les bois et dont les feuilles triangulaires, pendues à l'extrémité d'un pétiole très-long, sont d'une excessive mobilité. Ses branches, dont l'écorce est lisse et blanche, se divisent en rameaux souples et rougeâtres, qui forment une tête arrondie. Son bois est très-mou et ne vaut rien. On ne s'en sert que pour les usages les plus grossiers et les plus communs.

III. — AUNE (4).

181. — L'*aune* ou *aulne* est un arbre qui croît au bord des eaux ou dans les en-

(1) *Populus alba.*
(2) *Populus fastigiata.*
(3) *Populus tremula.*
(4) *Alnus.*

droits fort humides, et qui s'y fait remarquer par la fraîcheur de son feuillage jusque dans l'arrière-saison. Sa feuille est ronde (*fig.* 227) ; son fruit (*fig.* 228) a la forme d'un petit chaton cylindrique composé d'écailles assez semblables à celles des conifères. Son bois a quelque ressemblance avec celui du peuplier, mais il a une couleur rousse, et il est aussi un peu plus ferme. Il a la propriété de se conserver très-longtemps sous l'eau, ce qui le rend propre à la confection des pilotis. On en fait aussi des tuyaux, des corps de pompe, etc., etc.

L'*aune commun* atteint moyennement les dimensions suivantes :

Hauteur totale.	25	mètres.
— du tronc	14	—
Diamètre.	0,75	—

Pesanteur spécifique, 0,655.

IV. — BOULEAU (1).

182. — Le bouleau compte quatorze ou quinze variétés ; celle qui croît le plus ordinairement dans nos bois est le *bouleau commun*, appelé aussi *bouillard* ou *bouleau blanc*. Il est facilement reconnaissable par la couleur d'un blanc éclatant de son écorce, qui est composée de feuillets que l'on peut détacher par bandes plus ou moins larges. Vers le bas, le tronc est souvent marqué de grandes gerçures noirâtres. Ses branches sont grêles et pendantes, ses feuilles petites, dentelées, lisses et très-mobiles.

Le bois du boileau est d'un blanc légèrement roux. Ses fibres sont fines, droites et serrées. Cependant, il est médiocrement dur et il se travaille bien. On en tire des pièces de charpente de peu d'importance, mais il est avantageusement employé dans le charronnage. Les mineurs le recherchent pour en faire les arbres de leurs treuils, qui deviennent très-polis en très-peu de temps et qui offrent une grande légèreté en même temps que toute la solidité désirable.

Le bouleau atteint moyennement les dimensions suivantes :

Hauteur totale.	27	mètres.
— du tronc	15	—
Diamètre	0,81	—

Pesanteur spécifique, 0,702.

V. — CHARME.

183. — Le *charme commun* (2) a quelque ressemblance, par la forme de son feuillage, avec l'orme, mais il en diffère par ses fleurs, qui sont en chatons. Il ne

(1) *Betula alba.*
(2) *Carpinus betulus.*

prend pas non plus des développements aussi considérables, et son bois est plus pesant ; sa pesanteur spécifique = 0,760. Rarement son tronc acquiert plus de 0m,32 de diamètre. Son bois est blanc et fin et il prend un très-grand retrait en se desséchant ; il devient alors très-dur. Il est surtout employé dans le charronnage et la charpenterie des machines, pour faire des vis de presses, des poulies, des cames et des dents de roues.

Les *charmilles* dont on décorait autrefois les jardins sont produites avec une variété de cet arbre (le charme d'Orient) qui a la propriété de pousser des branches de tous côtés sur son tronc noueux.

VI. — ÉRABLE.

184. — On connaît plusieurs variétés d'érable, mais la plus propre aux constructions est celle connu sous le nom d'*érable sycomore* ou de *faux platane* (1), dont les feuilles, découpées en cinq lobes pointus et dentelés (*fig* 229), sont d'un beau vert en dessus et blanchâtres en dessous. Ses fleurs sont verdâtres et naissent aux aisselles des feuilles ou aux sommets des rameaux. Ses graines sont ailées (*fig.* 230). Son bois est le meilleur des bois blancs ; il est sec, léger, sonore, brillant, peu sujet à se tourmenter et à se fendre. Ces qualités le font rechercher des luthiers, des ébénistes, des menuisiers et des tourneurs. On le débite ordinairement en planches.

VII. — PLATANE (2).

185. — L'écorce du platane le fait aisément reconnaître ; elle est d'un vert gris et se détache tous les deux ou trois ans par grandes plaques minces. Son bois a peu d'aubier et offre quelque ressemblance avec celui du hêtre, mais il est plus brun et moins dur. Il est susceptible de prendre un assez beau poli. Dans l'eau, il se conserve bien ; mais à l'air il se laisse aisément piquer des vers.

La feuille du platane a quelque ressemblance avec celle de l'érable, mais elle est moins régulièrement découpée et plus épaisse (*fig.* 231).

La seule variété qui croisse dans nos climats est le *platane d'Orient*, appelé vulgairement *plane*.

Cet arbre peut prendre des dimensions énormes : du temps de Pline on voyait au Lycée un platane dont le tronc était creux et formait une grotte de quatre-vingt-un pieds de tour.

Les dimensions qu'il atteint moyennement sont les suivantes :

Hauteur totale.	27	mètres
— du tronc	14	—
Diamètre.	0,96	—

Sa pesanteur spécifique est de 0,538.

---

(1) *Acer pseudo-platanus.*
(2) *Platanus.*

Le platane est, comme l'érable, employé aux ouvrages de menuiserie, d'ébénisterie et de tour.

VIII. — TILLEUL (1).

186. — Le tilleul a des feuilles arrondies (*fig.* 232), formant un peu le cœur ; elles sont bordées de dents et un peu velues en dessous, surtout sur leurs nervures. Ses fleurs sont d'un blanc jaunâtre, portées par une espèce de foliole ou d'aileron ; ses petits fruits sont ovales, ligneux et à côtes (*fig.* 233).

Le bois du tilleul est blanc, uni, serré, léger et facile à travailler. Il est employé par les ébénistes, les menuisiers et les tourneurs.

Dimensions moyennes :

Hauteur totale.	18	mètres.
— du tronc	10	—
Diamètre.	0, 66	—

Pesanteur spécifique, 0,564.

IX. — SAULE.

187. — Quelques auteurs comptent jusqu'à deux cents variétés de saule, mais les plus communs sont :

Le saule blanc (2), le saule osier (3) (vulgairement osier jaune), le saule fragile (4), le saule précoce (5).

Les arbres de cette espèce ont rarement plus de 10 à 12 mètres de hauteur et $0^{m},30$ de diamètre. Leurs rameaux sont longs et souples, leurs feuilles longues et étroites, souvent soyeuses, d'un vert blanchâtre et même argenté. Leurs fleurs sont en chatons.

Le bois du saule est d'un blanc rougeâtre ou jaunâtre pâle ; il est uni, homogène et léger ; il se travaille bien au rabot et au tour. Il n'est bon qu'à la construction d'objets légers. Sa pesanteur spécifique = 0,462.

Il est assez rare qu'on laisse prendre aux saules tout leur développement, le plus souvent on les tient en têtards ou en taillis, pour les exploiter en osier. Ils fournissent ainsi presque exclusivement les matériaux nécessaires à l'art du vannier.

X. — ACACIA.

188. — L'arbre vulgairement appelé *acacia* est le *robinier* (6) ou *faux acacia*.

---

(1) *Tilia platyphyllos, T. europeana.*
(2) *Salix alba.*
(3) *Salix vitellina.*
(4) *Salix fragilis.*
(5) *Salix præcox.*
(6) *Robinia pseudo-acacia.*

C'est un fort bel arbre, facile à reconnaître par son beau feuillage (*fig.* 234) et par ses fleurs blanches, odorantes et réunies en grappes pendantes, auxquelles succèdent des gousses qui contiennent des graines aplaties et en forme de reins.

Son bois est jaune, veiné de bandes brunes-verdâtres. Il est uni, dur, pesant et susceptible d'un beau poli. Il résiste très-bien à l'humidité ; il est bon pour pilotis et peut s'employer dans la charpente. Les Anglais le préfèrent à tout autre bois pour faire des chevilles de vaisseau.

Dimensions moyennes :

Hauteur totale.	12	mètres.
— du tronc.	6	—
Diamètre	0,49	—

Pesanteur spécifique, 0,676.

XI. — MARONNIER D'INDE.

189. — Le maronnier d'Inde (1) est très-reconnaissable par ses larges et belles feuilles digitées (*fig.* 235), les magnifiques panaches blancs de ses fleurs, et par son fruit, grosse capsule hérissée de pointes et contenant deux marrons d'une couleur brune et luisants.

Son bois est tendre, filandreux et de mauvaise qualité. Il se tourmente beaucoup. On l'emploie rarement dans la grosse charpenterie, bien qu'on lui reconnaisse la propriété de ne pas se laisser attaquer par les vers.

Dimensions moyennes :

Hauteur totale.	24	mètres.
— du tronc.	14	—
Diamètre	0,92	—

Pesanteur spécifique, 0,657.

ARBRES A BOIS FIN.

190. — Les bois que produit cette classe d'arbres sont rarement employés aux ouvrages de charpente et de grosse menuiserie, mais en général, ils sont très-recherchés pour les ouvrages d'ébénisterie et de tour. Comme ils sont très-connus, il serait superflu d'en faire la description détaillée, et ce qui suit sera bien suffisant.

I. — SORBIER.

191. — Vulgairement *cormier* (2) ; arbre fruitier à tige droite, écorce grise ou

(1) *Æsculus hypocastanum.*
(2) *Sorbus domestica.*

brunâtre, à tête pyramidale et régulière. Ses feuilles sont composées de quinze folioles oblongues, dentelées, vertes en dessus, velues et blanchâtres en dessous ; ses fleurs sont blanches, elles forment de jolies couronnes aux extrémités des rameaux. Ses fruits, connus sous le nom de *sorbes* ou *cormes*, sont de petites poires d'un rouge jaunâtre. Son bois est d'un grain très-fin. Il est très-dur, très-compacte, d'un brun rougeâtre, il prend un très-beau poli ; c'est un bois très-estimé pour les machines et les fûts d'outils.

Le sorbier des oiseaux, autre variété de cet arbre, est très-connu par ses bouquets de fleurs blanches auxquelles succèdent des baies d'un rouge très-vif.

II. — POIRIER.

192. — Bois pesant, d'une contexture fine et serrée, de couleur rougeâtre ; il se fend rarement. Il doit être parfaitement sec pour être travaillé ; son retrait par la dessiccation est évalué au douzième de son volume. Employé dans la charpenterie des machines pour les rouages, on en fait aussi des fûts d'outils. Le bois des poiriers cultivés est plus tendre que celui du poirier sauvage.

III. — POMMIER.

193. — Bois d'un tissu fin ; celui qui provient des vieux arbres est d'un brun rougeâtre. Même emploi que le poirier.

IV. — PRUNIER.

194. — Bois dur et compacte, orné de quelques veines rouges. Il reçoit un beau poli, il est un peu satiné. On ne doit le travailler que sec.

V. — CERISIER.

195. Bois d'une couleur roussâtre, dont on peut augmenter beaucoup l'intensité en le faisant tremper dans de l'eau de chaux pendant vingt-quatre heures. Plus employé que les précedents, surtout pour la fabrication des meubles.

VI. — CORNOUILLIER.

196. — Bois très-dur ; celui des vieux pieds a le cœur brun et le tour d'un blanc roux ; très-bon pour les dents d'engrenage.

VII. — BUIS.

197. — Arbre toujours vert ; celui qui croît dans nos contrées ne dépasse jamais

les limites d'un arbrisseau et l'on ne travaille guère que ses racines ; mais il prend des développements assez considérables dans les pays méridionaux.

Bois jaune d'un tisssu très-fin, très-uniforme et très-serré. On distingue cependant aisément ses couches annuelles ; il est liant et se travaille bien. Il est propre à toutes sortes d'ouvrages qui exigent une grande résistance. Il peut remplacer le bois de gaïac et même le cuivre pour la confection des coussinets des axes de machines, des poulies, etc., etc., etc.

C'est sur des plaques de buis que les graveurs sur bois exécutent leurs travaux. Pesanteur spécifique = 0,919.

VIII. — ACAJOU.

198. — Bois originaire d'Amérique, d'un beau rouge, souvent veiné de dessins agréables. Employé surtout à la fabrication des meubles, comme bois de placage.

IX. — PALISSANDRE.

199. — Bois d'une couleur foncée tirant sur le violet et d'une odeur douce et agréable. Employé aux mêmes ouvrages que le précédent.

X. — ÉBÈNE.

200. — Bois parfaitement noir et très-dur ; s'emploie pour faire des manches d'instruments et pour les ouvrages de tour et de marqueterie.

GAÏAC.

201. — Bois compacte, dur et pesant. On s'en sert pour faire des poulies, des roulettes, des coussinets et autres parties de machines qui doivent avoir une grande résistance.

Il est encore un grande nombre d'arbres qui sont susceptibles d'emploi dans les constructions, mais que nous passons sous silence parce qu'on s'en sert beaucoup plus rarement.

ARTICLE III.

MATÉRIAUX DE FASCINAGES.

202. — Les rameaux de la plupart des essences d'arbres que nous venons de décrire servent à la confection des matériaux connus sous le nom de *fascines*, *clayons*, *piquets* et *harts*, qui sont d'un grand emploi aux travaux des digues et de navigation.

Voici, touchant les matériaux de cette espèce employés en Belgique, quelques renseignements qui nous ont été fournis par M. le capitaine du génie Defawes.

203. Fascines. — Les fascines sont des faisceaux de menus branchages réunis par deux *harts* ou liens. On en distingue dans le commerce plusieurs espèces, parmi lesquelles nous citerons :

1. La *fascine de Hollande* (1), connue en Belgique sous le nom de *grande fascine de digues* ou *d'échouage*. Elle est formée de branches de saule d'eau, de 3 ans d'âge au moins, ou d'aulne de 4 ans. Les branches qui la composent doivent être entières, bien effilées et portant leur menues ramilles. Sa longueur est de $3^m,10$ à $3^m,50$. A la première hart placée à $0^m,24$ du gros bout, elle mesure $0^m,50$ à $0^m,53$ de pourtour. A la seconde hart, distante de $0^m,60$ de la première, elle n'a plus que $0^m,39$ à $0^m,60$.

Cette fascine n'est que fort rarement employée en Belgique, mais en Hollande elle sert à tous les travaux de fascinages en général. On emploie encore dans le même pays, et notamment sur les rives de la Meuse et des bouches de l'Escaut, une fascine de plus petite dimension que la précédente, que l'on tire du *Bies-Bosch*, groupe d'îlots situés dans la Meuse près de Dordrecht. Celle-ci est formée de branches de saule de 3 à 4 ans. Deux ou trois des branches qui entrent dans sa composition ont environ 3 mètres de long, mais mesurée en *pleins brins*, elle doit avoir seulement $2^m,50$ de longueur. A $0^m,20$ du gros bout, le pourtour de cette fascine est de $0^m,45$.

2. La *fascine de Brabant*. Elle se confectionne dans les environs d'Ossendrecht (sur la rive droite de l'Escaut, au nord d'Anvers), de Breda et sur la rive gauche du Moerdyk. Elle est formée de branches fines de bois de 5 années de croissance, d'essence de chêne, de frêne, de bouleau ou de noisetier. On admet dans le mélange, comme remplissage, un quart de ramilles de saule ou d'aulne. La fascine de Brabant offre une longueur de $1^m,50$ à $1^m,70$, et un pourtour de $0^m,35$ à $0^m,40$ à $0^m,20$ du gros bout.

Les fascines de Brabant servent exclusivement en Hollande à la confection des revêtements en fascinage à plat. Formées de branches très-fines, elles présentent beaucoup de corps, et forment un revêtement serré et d'épaisseur régulière, ce qui est très-favorable pour atténuer l'effet des vagues. Elles sont aussi très-employées sur les rives de l'Escaut, en aval d'Anvers.

3. La *fascine d'Ostende* ou *de Blankemberghe*, dite *bestek-rys*. Cette fascine a les mêmes dimensions que la précédente ; elle en diffère seulement en ce qu'elle est armée de deux grosses branches d'environ $0^m,09$ de pourtour et de $1^m,20$ à $1^m,40$ de longueur, lesquelles sont destinées à maintenir la fascine dans la forme aplatie qui lui est donnée.

Dans la Flandre occidentale, les fascines de cette sorte s'emploient indistinctement à tous les travaux de fascinages.

4. La *fascine de Moerbeek*, composée en majeure partie d'essence de chêne, mélangée de frêne et de bouleau. Elle a mêmes dimensions que la fascine de Hollande de la seconde espèce : $2^m,50$ de longueur, mesurée en *pleins brins*, et $0^m,45$ de pourtour à $0^m,20$ du gros bout.

---

(1) *Hollandsche rys of dyk-of zink-rys.*— Des Conditions générales, etc. (*Algemeene Voor waarden om te strekken*, etc., etc).

Cette fascine s'emploie beaucoup dans la Flandre orientale et sur les rives de l'Escaut.

En Belgique toutes ces fascines se vendent indistinctement *au mille*.

204 Piquets. — Les piquets sont des branches de souche dont les dimensions varient, selon les localités et le genre de travail auquel ils sont destinés. On emploie pour la fabrication des piquets les mêmes essences de bois que pour les fascines ; mais l'essence de chêne est celle que l'on s'accorde à trouver la meilleure.

Les piquets ordinaires varient en longueur de $1^m,10$ à $1^m,50$. Leur pourtour, à $0^m,30$ de la pointe, doit être égal au douzième de la longueur.

Dans la confection des plates-formes à couler sous lest, les piquets doivent avoir une longueur réglée sur l'épaisseur de la plate-forme, qu'ils doivent traverser de part en part.

Les piquets employés dans les risbermes (*rysberm baardwerk*) sont de grandes dimensions, parce qu'ils doivent traverser non-seulement les couches de fascines qui se trouvent quelquefois à plus d'un mètre sous eau, mais encore prendre une fiche suffisante dans le sol. Sur les rives du bas Escaut on emploie souvent à ce genre d'ouvrages des piquets en sapin du pays, de 2 mètres de longueur sur $0^m,20$ de tour.

Les *piquets à clef* ou *à tête chevillée* sont choisis parmi les plus fortes souches du taillis. Leur tête est traversée à $0^m,07$ du gros bout par une cheville en chêne de $0^m,15$ de longueur et de $0^m,02$ d'équarrissage.

L'usage principal du piquet à clef est de retenir les clayonnages sur les couches de fascines.

Les piquets se vendent avec les fascines par bottes de dix. On les appelle piquets de Brabant, de Moerbeek ou de Hollande, comme les fascines avec lesquelles on les met en œuvre.

205. Clayons. — Les clayons sont des vergettes choisies, bien droites, effilées, solides et flexibles. Séparément on les nomme *brins*. Vingt-cinq brins forment une botte que l'on réunit par deux harts. On emploie ces clayons à la confection des tunnages et des clayonnages.

On en distingue de différentes sortes :

1. Les *clayons de Brabant*, ayant $3^m,50$ de longueur sur $0^m,08$ de pourtour moyen. Leur essence est de préférence le chêne, dont le bois offre à la fois plus de durée et de flexibilité. A défaut de chêne, on emploie le bouleau et le noisetier.

2. Les *clayons d'Ostende* ou *de Blankenberghe*, des mêmes dimensions et essence que les précédents.

3. Les *clayons de Moerbeek*, ayant $2^m,30$ de longueur sur $0^m,06$ de pourtour moyen. Leur essence est presque toujours de chêne, rarement de bouleau et de noisetier.

4. Les *clayons de Hollande*, connus sous le nom de *haringbanden;* ils ont une longueur régulière de $2^m,20$ et un pourtour presque uniforme de $0^m,06$ à $0^m,07$. Leur essence est le saule d'eau ; le bois en est ordinairement bien droit; les extrémités effilées sont coupées; ce qui ne se remarque pas dans les autres espèces de clayons.

206. Harts. — Les harts sont des brins ou rameaux flexibles de saule d'eau; on en distingue de trois espèces :

1° Les *kruisbanden*, composées de brins de 2 mètres de longueur sur $0^m,02$ à $0^m,03$ de pourtour mesuré près du gros bout. On les emploie principalement à réunir entre eux les grillages de saucissons qui entrent dans la composition des plates-formes. Cinq de ces brins forment une botte.

2° Les *knijbanden*, composées de brins de $1^m,30$ de long et de $0^m,015$ à $0^m,020$ de pourtour. On les emploie généralement pour former les premiers liens des saucissons ; mille de ces brins constituent une botte.

3° Les *wiepbanden*, brins de 70 à 80 centimètres de longueur sur $0^m,012$ à $0^m,018$ de pourtour. On les emploie exclusivement comme liens extrêmes des saucissons.

On place les harts dans l'eau quelques jours avant leur emploi, afin de leur donner le degré de souplesse nécessaire.

ARTICLE IV.

PLANTES HERBACÉES.

I. — PAILLE, JONCS ET ROSEAUX.

207. — Ces matières sont trop connues pour qu'il soit nécessaire de les décrire ; ce sont les tiges herbacées des diverses espèces de blés qui croissent dans les campagnes ou de certaines plantes aquatiques qui viennent au bord des fleuves ou de la mer. Elles sont principalement employées à former des toitures grossières, des cloisons légères ou des paillassons mobiles, destinés à abriter momentanément d'autres constructions, et des *paillassonnages*, sorte de revêtement dont on couvre les faces des digues en terre exposées aux chocs des vagues.

En général, ces divers genres de travaux exigent que ces substances soient parfaitement *peignées*, c'est-à-dire composées uniquement de tiges droites et non brisées. Elles se trouvent dans le commerce en bottes de diverses grosseurs. Pour les couvertures en *chaume*, la paille de seigle est la plus estimée, parce quelle est plus longue et plus dure que toutes les autres.

On trouve dans le commerce pour les travaux des digues :

1° Les *roseaux de Hollande*, qui ont $2^m,50$ de longueur sur environ $0^m,03$ de pourtour à la souche. Chaque botte, liée au moyen d'une hart, à $0^m,30$ du gros bout, doit avoir 1 mètre de pourtour.

2° Les *roseaux des rives de l'Escaut* ont $1^m,75$ de longueur environ sur $0^m,02$ de pourtour à la souche. Ils se distinguent des autres en ce qu'il sont très-chargés de feuilles. Ils sont liés en bottes de $0^m,50$ de pourtour au gros bout.

II. — LIN ET CHANVRE, TOILES ET CORDAGES.

208. — Le lin et le chanvre sont deux plantes herbacées très-communes et que l'on cultive en grand dans les campagnes. L'une est reconnaissable par ses petites

fleurs d'un beau bleu, l'autre par ses feuilles découpées, d'un vert sombre, répandant une odeur forte et très-caractéristique. C'est du liber de ces plantes que s'extraient les filaments fins et tenaces dont on fabrique les toiles et les cordages. Lorsque les plantes ont acquis tout leur développement, on les arrache avec la racine, puis on les fait *rouir*, c'est-à-dire macérer dans l'eau pendant un certain temps, afin de détruire toutes les autres parties de la tige. On les fait ensuite sécher, puis on les *bat* et on les *peigne* pour briser et séparer les parties ligneuses. On obtient ainsi le lin et le chanvre marchands.

Le lin est presque exclusivement employé à la fabrication des toiles. Pour cela, on le file à la main ou à la mécanique, c'est-à-dire qu'on en forme, par la torsion des filaments, qu'on réunit ainsi de la manière la plus intime, des *fils* plus ou moins gros et d'une longueur indéfinie.

Après cela on le *tisse*, opération qui consiste à juxtaposer une certaine quantité de ces fils, puis à les recroiser par d'autres au moyen de diverses opérations mécaniques. Les fils juxtaposés constituent la *chaîne* du tissu, les autres en sont la *trame*; on obtient ainsi des toiles de diverses largeurs et grosseurs.

Le chanvre est aussi employé au même usage et traité de la même manière ; mais il sert particulièrement à la fabrication des cordages. A cet effet, il est d'abord filé à la manière du lin, mais en fils beaucoup plus gros (environ 2 millimètres de diamètre) auxquels on donne le nom de *fils de caret*. Ces fils de caret sont réunis ensuite, par une torsion convenablement ménagée, en plus ou moins grand nombre, et forment des *merlins* ou des *torons* (*merlins* lorsqu'ils sont au nombre de trois, *torons* lorsqu'ils sont en plus grand nombre). Les torons, réunis à leur tour par le même procédé, forment finalement des *cordages* auxquels on donne différents noms suivant les localités ; mais en général on donne le nom de *haussière* à une corde formée de plusieurs torons, et celui de *câble* au cordage formé de plusieurs haussières.

On distingue dans le commerce les cordages *blancs*, dont le chanvre n'a subi aucun apprêt, et les cordages *goudronnés*, dont les éléments ont été imbibés de goudron. On ne doit employer ces derniers que dans des cas exceptionnels, parce que la couche de goudron dont ils sont recouverts cache souvent la mauvaise qualité du chanvre, d'où dépend la force du cordage.

Les meilleurs cordages sont ceux de couleur argentée, ou d'un gris de perle, ensuite verdâtre, puis jaune ; s'ils sont trop foncés en noir, le chanvre a été trop roui, il a trop fermenté, il commence à pourrir. S'ils sont tachetés de brun, il a été mouillé, et les endroits bruns sont ordinairement pourris. On doit rejeter les cordages qui sentent le moisi, le pourri, l'échauffé.

GOUDRON OU BITUME VÉGÉTAL.

209. — Cette substance s'obtient par la distillation des bois en vases clos. Elle s'emploie aux mêmes usages que le bitume minéral, avec lequel elle a beaucoup d'analogie ; mais elle lui est inférieure sous le rapport de la qualité. Elle est légèrement soluble dans l'eau, tandis que l'autre ne l'est pas.

ARTICLE V.

APERÇU DES RESSOURCES DE LA BELGIQUE ET DE LA FRANCE EN MATÉRIAUX LIGNEUX.

210. Belgique. — Malgré le déboisement auquel on se livre depuis quelques années avec une sorte de fureur, la Belgique possède encore de belles forêts, principalement en essences de *chêne* et de *hêtre*.

Les principales d'entre ces forêts se trouvent dans les provinces de Luxembourg, du Hainaut, de Namur et de Liége. Les autres ne contiennent plus que des bois comparativement insignifiants ; la belle forêt de Soignes, que possédait le Brabant, est en grande partie détruite, cependant elle occupe encore une surface de plus de 4,000 hectares.

Il en est à peu près de même des forêts de Tongerloo et d'Éverboden, dans la province d'Anvers ; ces deux forêts occupaient jadis plus de 600 hectares. Les plus belles forêts de la Flandre occidentale sont dans les arrondissements de Bruges et d'Ypres. Celle de Wynendaele occupe plus de 900 hectares. d'étendue. La Flandre orientale et le Limbourg ne contiennent que des bois de peu d'importance.

Les essences d'arbres autres que celles de chêne et de hêtre sont assez rares dans nos bois, mais elles sont abondamment répandues le long des grandes routes et dans les propriétés rurales. Les plus beaux frênes se tirent pourtant du bois d'Estrihoux sous Petit-Enghien.

La Campine et le Brabant possèdent quelques bois de sapins, dont les produits ne sont employés qu'à la confection de charpentes grossières, de pilotis et d'ouvrages légers. Les bois résineux que nous employons dans nos grandes charpentes se tirent comme nous l'avons dit, des pays du nord de l'Europe.

La Belgique produit en grande abondance le froment, le seigle, l'avoine et beaucoup d'autres graminées, dont les pailles sont utilement employées dans certaines constructions. Les bords de la mer, de l'Escaut et de la plupart de nos fleuves et rivières produisent des joncs qui servent aux travaux des digues.

Le lin et le chanvre y sont aussi cultivés sur une grande échelle, les Flandres et le Hainaut fournissent des toiles très-renommées. On trouve des corderies importantes et dont les produits sont très-estimés à Anvers, à Termonde et dans les environs de Mons. Il en existe en outre d'importance secondaire dans la plupart de nos villes.

211. France — De même qu'en Belgique, la richesse forestière a notablement diminué en France depuis un certain nombre d'années. Cependant, l'empire français possède encore bon nombre de belles forêts qui ne sont pas près d'être épuisées. Les Alpes, les Vosges, le Jura, les Cévennes, etc., sont encore couronnés de belles futaies dans lesquelles le chêne, le hêtre et les bois résineux élèvent leur tige altière en attendant la hache du bûcheron. Les bassins de la Loire et de la Seine possèdent encore les forêts de Fontainebleau, Compiègne, Chantilly, Villers-Cotterets, ainsi que celles

d'Orléans et du Morvan. En somme, la France a encore environ un sixième de son territoire couvert de bois et elle possède en outre comme réserve les forêts de la Corse et de l'Algérie, qui sont pour ainsi dire à ses portes. L'Algérie seule renferme plus d'un million d'hectares de bois dans lesquels croissent le chêne, les bois résineux, le cèdre et un grand nombre d'arbres propres aux travaux de menuiserie et d'ébénisterie. — La France produit les mêmes graminées que la Belgique, le lin et le chanvre y sont également cultivés, et, indépendamment de ces plantes textiles, l'Algérie lui fournit encore le palmier nain, l'abaca ou bananier à cordes, l'agave ou aloès dont les fibres sont employées à la fabrication des cordages. La France possède des corderies importantes dans tous ses ports maritimes.

TROISIÈME SECTION

ÉTUDE DES MATÉRIAUX MÉTALLIQUES

212. — Les métaux employés en construction sont : le *fer*, le *plomb*, le *cuivre*, le *zinc*, l'*étain*, le *laiton*, le *bronze* et quelques *alliages*.

Ces derniers s'obtiennent par des mélanges de cuivre, de zinc, d'étain ou d'autres métaux ; les premiers s'extraient directement des *minerais* qui les contiennent, au moyen de procédés métallurgiques qu'il serait superflu d'indiquer ici et qui sont d'ailleurs exposés *in extenso* dans le cours de chimie appliquée.

Nous bornerons nos observations sur ces substances à ce qu'il est strictement indispensable de connaître.

ARTICLE PREMIER.

FER.

213. — Le fer s'emploie dans les arts de construction, sous trois états :

A l'état de fonte ou fer fondu ;
— de fer malléable ;
— d'acier.

214. Fonte, ses caractères, ses qualités. — La *fonte* est une combinaison de fer pur et de carbone, mélangée d'une certaine quantité de cette substance à l'état libre et colorée par elle en gris plus ou moins foncé.

L'intensité de cette couleur, étant l'indice de diverses qualités particulières, a fait diviser les fontes en fontes *grises*, fontes *blanches* et fontes *truitées*.

Les deux premières espèces sont facilement reconnaissables ; l'une est d'un gris plus ou moins foncé, quelquefois noir, et offre une structure grenue ; l'autre est d'un blanc argentin plus ou moins clair et présente souvent une structure lamellaire d'un éclat métallique très-prononcé.

Quant à la troisième, c'est un intermédiaire entre les deux autres qui participe de leurs bonnes comme de leurs mauvaises qualités.

La fonte grise est celle dont on fait le plus grand usage, parce qu'elle acquiert par la chaleur une liquidité plus grande que la fonte blanche, qu'elle prend un moindre retrait par le refroidissement et que par suite elle se prête mieux au moulage. Elle est beaucoup moins dure et plus facilement attaquable par les outils d'acier, elle se laisse aisément limer, tourner, couper, percer, raboter.

La fonte blanche n'est d'un emploi convenable que pour les objets qui doivent surtout résister aux déformations de l'usure. Sa grande dureté est une qualité précieuse dans ce dernier cas.

La fonte grise est susceptible de se convertir en fonte blanche par un refroidissement brusque, et réciproquement la fonte blanche se convertit en fonte grise par un grillage plus ou moins prolongé. Cette propriété fournit le moyen de transformer en fonte blanche la partie extérieure d'objets coulés en fonte grise qui auraient besoin de présenter une grande dureté dans cette partie. Il suffit pour cela de se servir d'un moule en métal, ou en général formé d'un corps bon conducteur du calorique. On transformerait de même au besoin, en fonte grise, la surface d'objets qui, pour des motifs particuliers, auraient été coulés en fonte blanche, par le procédé inverse.

La faculté de donner toutes les formes imaginables à la fonte au moyen du moulage a fait prendre une immense extension à son emploi dans les constructions, et nous en donnerons des exemples par la suite. Cependant cela n'est pas toujours sans inconvénient. Les pièces de fonte se rompent souvent instantanément et sans qu'aucun signe extérieur annonce cet accident, qui peut être occasionné par des défauts intérieurs ou par les variations très-sensibles de longueur et de ténacité que la matière éprouve par les changements de température.

On peut estimer en effet que de 0 à 100 degrés centigrades la fonte s'allonge de 1,11 millimètre par mètre, et l'on a observé que les grands froids de l'hiver la rendent aigre et cassante.

Il est rare que la fonte, telle qu'elle sort du haut-fourneau, soit assez fine et assez pure pour être employée immédiatement au moulage des pièces. Ordinairement elle doit être purifiée par une ou deux refontes au cubilot, ce qui donne les fontes connues dans le commerce sous les noms de fontes de *deuxième* et de *troisième fusion*.

Les fontes grises sont rendues quelquefois aigres et cassantes par leur combinaison avec une légère quantité de soufre ou de phosphore. On doit les rejeter de toutes les constructions qui auraient à supporter de grandes charges ou des chocs.

La pesanteur spécifique des fontes peut être représentée moyennement par les nombres suivants :

Fonte blanche 7,50.
Fonte grise 7,00.

215. Fer malléable ; ses caractères et ses qualités. — Le fer est un métal malléable, très-ductile et l'un des métaux les plus légers, sa pesanteur spécifique étant 7,788. Sa dureté permet de l'entamer facilement au moyen d'outils d'acier trempé, de le polir, et de le tourner. Il a la propriété de se ramollir par la chaleur, ce qui permet de le forger et de lui donner toutes les formes que réclament les arts qui en font usage. Chauffé jusqu'au rouge blanc, il se soude avec lui-même. Dans cet état il a une grande affinité pour l'oxygène et *brûle* en produisant une masse d'étincelles très-lumineuses et en donnant un peroxyde de fer noir en petits globules ou en lamelles, connus dans les forges sous le nom de *battitures*. A la température ordinaire et dans un air parfaitement sec, il est inaltérable ; mais dans l'air humide il se transforme assez rapidement à sa surface en hydrate d'oxyde de fer jaune brunâtre connu sous le nom de *rouille ;* circonstance qui oblige à le garantir des influences atmosphériques par des enduits de matières grasses ou résineuses, telles que couleurs à l'huile, goudron, etc., etc., etc.

Sous le rapport de leur qualité, les fers sont divisés en :

Fers forts ;
— tendres ;
— métis ;
— rouverins ;

et chaque espèce se distingue en outre en fer *mou* et en fer *dur*, suivant qu'il se laisse plus ou moins facilement entamer par l'acier trempé.

Les *fers forts* se distinguent de suite à l'œil par leur texture, leur couleur et leur brillant. La texture est granuleuse, mais en grains hérissés de petites pointes crochues et disposés en fibres ou chapelets, suivant la longueur des barres. Ce sont ces fibres que l'on désigne sous le nom de *nerf*. Cette qualité de fer est remarquable par la propriété qu'elle possède de se laisser plier, à froid, un grand nombre de fois sans se rompre. Les fers forts *mous* possèdent cette faculté à un si haut degré que les ouvriers disent qu'ils se laissent plier *comme du plomb ;* mais leur peu de dureté est un défaut qui en fait proscrire l'emploi pour de certains travaux. Ils ne valent rien, par exemple, pour les rails des chemins de fer, parce qu'ils s'épatent et s'usent trop vite. Mais ils n'offrent pas autant d'inconvénients pour des ouvrages qui n'ont à subir que des tractions.

Tous les fers forts ne sont pas *nerveux* ; pour offrir cette particularité de structure, il faut qu'ils aient été réduits en barres assez minces. Karsten recommande, lorsqu'on veut apprécier la qualité du fer par ce caractère, de choisir des barres carrées d'un pouce ($0^m,027$) de côté ou des barres rectangulaires d'un demi-pouce ($0^m,013$) d'épaisseur. Le nerf du bon fer fort est toujours long, blanc et terne, ou bien foncé en couleur et brillant.

Cette qualité de fer est généralement fort *tenace*, et par ce mot l'on doit entendre la résistance qu'il oppose à la rupture, de quelque manière qu'on tente de l'effectuer. Certaines espèces de fer fort se brisent pourtant sous l'action d'un choc instantané : on les désigne sous le nom de fers forts *aigres*.

Le nerf du fer mou, qui se distingue même dans d'assez grosses barres, est toujours clair ; sa couleur tient le milieu entre le blanc d'argent et le gris de plomb.

Le *fer tendre* est rarement *mou ;* il est plus souvent dur et toujours *cassant à froid*. Il se distingue d'ailleurs aisément du fer fort par sa structure, qui, au lieu d'être grenue et fibreuse, est composée de lamelles ou de lames blanches et d'un éclat très-vif. On doit le rejeter de toutes les constructions qui ont à supporter de grands efforts ou des chocs.

Les *fers métis* tiennent le milieu entre les fers forts et les fers tendres, et ils participent des bonnes qualités de l'un comme des mauvaises de l'autre, suivant qu'ils s'en rapprochent plus ou moins. On trouve ainsi des fers métis offrant parfois un peu de nerf au milieu de petites lamelles, mais généralement ce nerf est court et d'une couleur intermédiaire entre le gris bleuâtre du plomb et le gris noirâtre.

Enfin les *fers rouverins*, qui peuvent être *forts* ou *tendres* ou *métis*, se distinguent particulièrement par la propriété qu'ils ont de se casser à chaud. Leur travail devient donc extrêmement difficile et est cause que leur emploi est aussi fort restreint. Cependant, lorsque, à force d'habileté, les ouvriers sont parvenus à les façonner, ils peuvent être employés. Tous les fers rouverins ne sont pas cassants à la même température. On les désigne souvent sous le nom de *fers de couleur*, parce que la température à laquelle ils peuvent être travaillés est accusée par la couleur du fer, qui devient successivement jaune, bleue, rouge et blanche, à mesure que la chaleur augmente.

216. Fers du commerce. — Sous le rapport de la forme, les diverses qualités de fer énumérées ci-dessus se divisent en :

Fers marchands, ou en grosses barres carrées ou plates, plus rarement rondes ou à huit pans, dont les dimensions varient, pour les fers carrés d'environ 9 à 2 centimètres, et pour les fers plats de $0^m,15$ de largeur sur $0^m,01$ d'épaisseur à $0^m,05$ de de largeur sur $0^m,01$ d'épaisseur ;

Fers platinés en barres carrées plates, rondes ou de diverses autres sections et de dimensions inférieures à celles des fers marchands ;

Fers spattés, en bandelettes étirées au cylindre dont l'épaisseur est toujours très-petite relativement à la largeur. Ces fers se vendent toujours par bottes.

Fers fendus, en vergettes carrées de diverses grosseurs, mais dépassant rarement 1 centimètre, qui se vendent aussi par bottes.

Fers étirés qu'on trouve dans le commerce sous une très-grande variété de formes, portant les noms de *cornières ou fers à équerres, fers en T simple et double, fers à moulures, à vitrages, à châssis, fers en croix, rails*, etc., etc. L'emploi de ces espèces de fers a pris un immense développement dans ces dernières années. — On en fabrique qui pèsent depuis $0^k,500$ jusqu'à 58 kilogrammes le mètre courant.

On distingue encore le *fil d'archal*, fer étiré à la filière en fils de divers diamètres et la *tôle*, fer réduit en lames minces plus ou moins larges et épaisses. Pour être de

bonne qualité, la tôle doit avoir une épaisseur uniforme et une surface parfaitement lisse ; il faut pouvoir la plier plusieurs fois en tous sens avant qu'elle ne se casse.

La tôle fine est parfois recouverte d'une légère couche d'étain sur ses deux faces ; elle porte alors le nom de *fer-blanc*. Le fer-blanc doit être, comme la tôle, exempt de bosses et d'aspérités ; son contour doit être net, sa surface lisse, brillante, sans taches ni rayures ; sa couleur parfaitement blanche sans mélange de jaune. Les taches, les soufflures, les rayures, les bosses et autres défauts que l'on rencontre souvent dans les feuilles les font classer parmi les rebuts.

Nous renouvelons ici l'observation déjà faite au n° 135. Il est très-important, à moins qu'il ne s'agisse de grands travaux ou de grandes fournitures, de s'astreindre à ne pas prescrire dans les cahiers des charges d'autres dimensions que celles qu'on rencontre dans le commerce, car autrement on s'expose à devoir reforger les barres, ce qui augmente la dépense souvent sans utilité aucune. Chaque maître de forges peut donner un *prix courant* de ses produits, dans lequel sont consignées les principales formes et dimensions des fers de sa fabrique.

217. Essai des fers. — La bonne qualité du fer s'estime, dans certains cas, au moyen de la percussion. Pour les barres de petites dimensions, un ouvrier les prend à la main, les lève au-dessus de sa tête, et les jette avec force contre une enclume à table étroite. On les plie et replie ainsi un plus ou moins grand nombre de fois, pour s'assurer de leur ténacité. Pour les grosses barres, on procède à peu près de la même manière, mais on les place, pour les plier et replier, sur deux appuis distants l'un de l'autre, et l'on frappe vers le milieu avec une grosse masse à pène étroite, ou même avec un mouton, qu'on laisse tomber d'une hauteur déterminée. Ces épreuves déformant les barres que l'on y soumet, on se borne généralement dans les fournitures, à éprouver un certain nombre de pièces prises au hasard dans le tout.

Pour les pièces qui, comme les essieux de voitures d'artillerie, les rails de chemins de fer, etc., etc., sont susceptibles d'éprouver des chocs violents pendant les froids rigoureux, l'épreuve doit se faire, autant que possible, pendant les gelées, parce qu'il est reconnu que le froid donne au fer une aigreur qui suffit pour faire casser des pièces qui auraient parfaitement résisté dans d'autres circonstances.

Quand les essais se font de cette manière, on doit avoir soin de stipuler, dans les contrats, l'angle suivant lequel les barres seront pliées et repliées, le nombre des épreuves de ce genre qu'elles devront subir sans manifester d'altération, le poids et la forme des marteaux et des moutons, la hauteur de chute de ces derniers. Il est bon en outre de désigner le nombre de barres sur cent qui seront soumises aux épreuves.

L'essai des fers se fait aussi au moyen d'un effort de traction, déterminé à raison de tant de kilogrammes par millimètre carré de la section transversale des barres. On trouvera, dans la troisième partie, l'indication des machines qu'on peut employer dans ce cas.

218. Dilatation. — Le fer est, comme la fonte, dilatable par la chaleur, et l'on doit soigneusement tenir compte de cette propriété dans un grand nombre de circonstances, en laissant aux pièces un jeu convenable, pour que les allongements et

raccourcissements puissent se produire librement. Cette dilatation peut être estimée moyennant à 1,12 millimètres par mètre, en passant de 0 à 100 degrés centigrades.

219. Défauts des pièces forgées. — Indépendamment des défauts inhérents aux diverses qualités de fer renseignées plus haut, les ouvrages en fer peuvent présenter les suivants, qui doivent les faire rejeter :

Des *pailles*, petites lamelles de fer qui ne tiennent au corps de l'objet que par une petite portion de leur surface.

Des *doublures*, pailles de très-grandes dimensions.

Des *cendrures*, petites solutions de continuité, remplies par une matière noire tachant les doigts.

Des *criques*, petites fentes transversales, qui indiquent généralement un fer aigre.

Des *travers*, fentes longitudinales.

220. Acier, ses caractères, ses qualités. — L'acier se distingue particulièrement du fer par sa plus grande dureté, sa plus grande élasticité, et la faculté de se *tremper*, c'est-à-dire d'acquérir par un refroidissement subit, lorsqu'il a été porté à une température élevée, une dureté et une ténacité très-remarquables. C'est cette propriété qui le rend propre à la confection des tranchants d'outils destinés à tailler le bois et les métaux, et c'est là un de ses principaux usages.

L'acier est susceptible d'être forgé comme le fer, mais il se soude plus difficilement. L'acier *fondu* présente d'assez grandes difficultés sous ce rapport.

On connaît trois sortes d'acier dans le commerce :

L'acier de fusion ou de forge ;
— de cémentation ;
— fondu.

Ce dernier est le plus pur et le plus recherché pour une foule d'ouvrages.

221. Usages. — Le fer, soit à l'état de fonte, soit à l'état malléable, est, de tous les métaux, celui dont on fait actuellement le plus grand usage dans les constructions. On peut dire que le fer s'emploie à tout. On en fait les objets de serrurerie les plus délicats et les constructions les plus imposantes : des statues monumentales, de vastes charpentes, des ponts, des toitures, des vases et des réservoirs, des navires. C'est l'élément le plus essentiel de la construction des machines à vapeur, des chemins de fer, des ponts suspendus, des armes de guerre. Ses oxydes fournissent divers corps colorants employés dans la peinture à l'huile.

ARTICLE II.

PLOMB, CUIVRE, ZINC, ÉTAIN ET ALLIAGES.

I. — PLOMB.

222. Caractères et propriétés. — Le plomb est un métal d'un gris-bleuâtre. Il est très-brillant quand ses surfaces ont été récemment décapées, très-mou, très-tendre, se laissant rayer par l'ongle, ce qui suffit pour le distinguer du zinc et de l'étain avec lesquels il a une grande analogie d'aspect. Il est très-malléable, mais peu ductile. Sa pesanteur spécifique est de 11,35. C'est le plus fusible des métaux ductiles après l'étain: il se fond vers 260° centigrades.

223. Usages. — L'usage du plomb dans les constructions est fort répandu, mais beaucoup moins pourtant que celui du fer. Comme ce dernier métal, lorsqu'on l'a réduit en lames minces, il sert à former des vases de toute espèce dans lesquels on peut renfermer les liquides qui sont sans action sur lui. Il sert à la construction des toitures et des plates-formes dont on recouvre les habitations ; à la confection des chéneaux, gouttières, tuyaux de descente, qui servent à recueillir et à conduire les eaux pluviales ; à la couverture des portions de toit en ardoises ou en tuiles que ces matériaux rigides ne peuvent convenablement couvrir, comme les faîtes, les arêtiers et les noues. On en fait des corps de pompe et des conduites d'eau. Ses oxydes sont très-employés dans la teinture à l'huile : la *litharge* est employée comme siccatif, et le *minium* procure une belle couleur rouge. Combiné avec l'acide acétique, il donne le *sel de saturne*, employé comme siccatif ; avec l'acide carbonique, la *céruse* ; avec l'acide chromique, les *jaunes de chrome*. Enfin, il forme avec l'étain les alliages connus sous le nom de *soudures*.

224. Plombs du commerce. — Le commerce fournit des lames de plomb de toute épaisseur et de tout poids. La longueur des feuilles laminées dépasse rarement 8 mètres et leur largeur $1^m,70$. On peut estimer moyennement que le poids au mètre carré de ces feuilles est de 11 kilogrammes par millimètre d'épaisseur. Le plomb dont on fait le plus d'usage pour les travaux de couverture a de $0^m,0038$ à $0^m,0045$ d'épaisseur et il pèse de 42 à 50 kilogrammes au mètre carré.

On trouve également dans le commerce des tuyaux soudés ou étirés de diverses épaisseurs et d'un très-grand nombre de diamètres. En général, les tuyaux étirés sont ceux qu'il faut préférer. Nous donnons ci-après un tableau qui offre, à côté du diamètre et de l'épaisseur de ceux de ces tuyaux dont l'usage est le plus fréquent, leur poids en kilogrammes par mètre de longueur.

TABLEAU

DU POIDS PAR MÈTRE COURANT DE LONGUEUR DES TUYAUX EN PLOMB ÉTIRÉS.

DIAMÈTRE INTÉRIEUR.	ÉPAISSEUR.	POIDS DU MÈTRE COURANT.	DIAMÈTRE INTÉRIEUR.	ÉPAISSEUR.	POIDS PAR MÈTRE COURANT.
mètre.	mètre.	kilogr.	mètre.	mètre.	kilogr.
0.08	0.015	45.40	0.043	0.011	21.25
»	0.014	39.50	»	0.0095	18.25
»	0.012	34.00	»	0.0075	12.15
»	0.008	28.10	»	0.0045	6.55
»	0.005	17.20	»	0.00275	6.10
0.07	0.012	33.00	0.038	0.007	12.80
»	0.009	19.00	»	0.006	9.60
»	0.007	16.25	»	0.004	6.40
»	0.005	13.90	0.037	0.010	17.10
0.063	0.009	22.40	»	0.0025	6.10
»	0.006	15.42	0.03	0.010	12.90
»	0.005	13.08	»	0.0075	8.14
»	0.003	9.55	0.024	0.0045	3.30
0.05	0.012	22.40	0.023	0.003	3.20
»	0.0095	19.10	0.018	0.0095	8.40
»	0.0075	15.00	»	0.0065	5.53
»	0.006	11.35	»	0.0050	4.25
»	0.004	8.00	»	0.0035	2.24

II. — CUIVRE.

225. Caractères et propriétés. — Le cuivre est un métal d'un rouge très-brillant ; il est très-malléable, très-ductile et très-tenace ; sa pesanteur spécifique est de 8,89 ; il est presque infusible. A une haute température il se combine avec l'oxygène de l'air et forme un oxyde brun. A température ordinaire et dans un air humide, il se couvre d'une espèce de rouille verdâtre connue sous le nom de *vert-de-gris*, qui est un sous-carbonate de cuivre.

Afin d'éviter les répétitions, nous indiquerons les usages de ce métal après avoir parlé du laiton et du bronze.

III. — ZINC.

226. Caractères et propriétés. — Le zinc est un métal d'un blanc bleuâtre, à texture lamelleuse et souvent presque laminaire. Il ressemble beaucoup au plomb au premier aspect, mais il est beaucoup plus dur et plus cassant que ce métal. Il est assez malléable et ductile à froid. Sa densité varie de 6,80 à 7,20 ; il fond à 374° centigrades. Chauffé au rouge blanc, il se combine vivement avec l'oxygène de l'air et brûle avec une flamme blanche, en répandant dans l'air des flocons d'oxyde blanc. A la température ordinaire et dans l'air humide il se transforme, à sa surface, en un

oxyde noirâtre qui le recouvre bientôt d'une pellicule qui ternit sa surface, mais le garantit en même temps des influences ultérieures de l'atmosphère.

227. Usages. Le zinc remplace avantageusement, dans un grand nombre de cas, le cuivre et le plomb. On l'emploie au doublage des navires et à la construction des toitures et plates-formes des bâtiments, ainsi qu'à la construction de vases et tuyaux de toute espèce. On en fait aussi des ornements, ainsi que des clous, des vis à bois et divers objets de serrurerie qui peuvent remplacer économiquement les analogues en cuivre que l'on emploie dans les magasins à poudre.

228. Zinc du commerce. — On trouve dans le commerce des feuilles de zinc de diverses largeurs, longueurs et épaisseurs, propres à la couverture des édifices et aux autres usages, elle porte une estampille qui en indique l'origine et le numéro. Les largeurs varient de $0^m,487$ à $0^m,649$ et $0^m,811$, et la longueur est toujours d'environ $1^m,949$. Quant à l'épaisseur, elle est renseignée dans le tableau ci-dessous pour les numéros les plus employés.

NUMÉROS.	ÉPAISSEUR en millimètres.	POIDS DU MÈTRE CARRÉ en kilogrammes.
14	0,85	6,07
15	0,94	6,74
16	1,03	7,40
17	1,13	8,06
18	1,32	9,40
19	1,50	10,81
20	1,69	12,13

Les numéros 14, 15 et 16 sont les plus généralement employés pour les couvertures.

IV. — ÉTAIN.

229. Caractères, propriétés, usages. — L'étain ressemble beaucoup au plomb et au zinc, mais il s'en distingue aisément par le *cri* particulier qu'il fait entendre quand on le plie. Son peroxyde, que l'on obtient en calcinant le métal au contact de l'air, est connu dans le commerce sous le nom de *potée d'étain*. Il sert, comme nous l'avons déjà vu, au polissage des marbres et des matières dures en général.

L'usage de l'étain dans les constructions est extrêmement restreint. Il est principalement employé à *étamer* le fer et le cuivre ou à former des alliages.

V. — LAITON.

230. Caractères et propriétés. — Le laiton est un alliage formé de cuivre et de zinc dans des proportions très-variables. C'est un métal d'un beau jaune, se rapprochant plus ou moins de celui de l'or, dont la pesanteur spécifique = 8,4 avant le martelage ou l'étirage, et 8,88 après cette opération. Il est plus dur que le cuivre, moins malléable que lui, mais plus facile à étirer au laminoir ou à la filière ; il est cassant à chaud et susceptible de se couvrir de vert-de-gris dans les mêmes circonstances que le cuivre.

VI. — BRONZE.

231. Caractères et propriétés. — Le cuivre et l'étain alliés dans diverses proportions forment le *bronze*, métal jaunâtre, d'une densité plus grande que la moyenne de celles des deux métaux qui entrent dans sa composition ; d'une fusibilité intermédiaire entre celle du cuivre et celle de l'étain, légèrement malléable quand il a été refroidi lentement, et très-malléable, au contraire, quand il a été refroidi brusquement ou *trempé*. Il se couvre à la longue d'une pellicule verdâtre qui le préserve des atteintes ultérieures de l'atmosphère et qui est connue sous le nom de *patine antique*.

232. Usages du cuivre et de ses alliages. — Ce cuivre, soit pur, soit allié au zinc, est employé comme le plomb, mais plus rarement que lui, à la couverture des édifices, à la confection de vaisseaux de toute espèce, de corps de pompe, de tuyaux de conduite, etc. ; il sert à la construction des machines et au doublage des navires ; enfin on en fait des boulons, des clous, des vis et tous les objets de serrurerie dont on garnit les boiseries des magasins à poudre. En France, où l'on a fait usage du cuivre pour la couverture de quelques édifices, on a employé des feuilles dont l'épaisseur a varié de $0^m,00068$ à $0^m,00075$, et le poids de $6^k,11$, à $7^k,64$ au mètre carré. Ordinairement on étame en dessous les feuilles destinées à cet usage, afin de boucher les fissures qui pourraient avoir été produites par le laminage.

Le bronze est d'un usage plus restreint ; les anciens l'employaient à la couverture de leurs monuments et à un grand nombre d'autres objets que nous faisons actuellement en fer. Aujourd'hui il n'est guère employé que pour la confection des cloches, des statues monumentales et de quelques pièces qui sont soumises à des frottements considérables, telles que les crapaudines des portes d'écluse et des grosses portes battantes.

233. Observation relative aux objets moulés. — Les objets moulés soit en cuivre, en laiton, en bronze, ou en tout autre métal, doivent être exempt de soufflures, fentes, bulles, cendrures, et autres défauts de même genre. Ils doivent avoir une forme nette et exacte, ne présenter ni lèvres, ni bavures, ni ébréchures, en un mot aucune déformation.

VII. — SOUDURES.

234. Composition. — Les soudures sont des alliages de plomb et d'étain qui servent à réunir les pièces de plomb, de cuivre, de zinc ou de fer-blanc. La soudure des ferblantiers est composée de deux parties d'étain et d'une partie de plomb ; celle des plombiers et moins fusible, elle est formée de deux parties de plomb et une d'étain.

Ces alliages se fabriquent en fondant ensemble les deux métaux dans les proportions indiquées.

ARTICLE III.

OBJETS DE CLOUTERIE.

235. — Le fer, le cuivre et le zinc se trouvent dans le commerce, et sont fréquemment employés dans les constructions sous forme de chevilles, de clous ou de vis. Les clous de cuivre et de zinc sont particulièrement réservés pour les doublages des navires ou pour les menuiseries des magasins à poudre. On les distingue en clous fondus et en clous forgés ; les premiers ont rarement plus de 4 centimètres de longueur, tandis qu'on fabrique des clous forgés de toutes longueurs.

Les chevilles et les clous en fer sont très-variables de formes et de dimensions. On en fait à tête plate, à tête de diamant (pyramide quadrangulaire), à tête aplatie latéralement, etc. La pointe est quelquefois pyramidale, d'autres fois elle a la forme d'un taillant à deux biseaux. Les chevilles sont parfois *barbelées*, c'est-à-dire, garnies sur les arêtes d'aspérités aiguës, disposées d'une manière analogue aux barbes d'un épi de blé. Ces dernières sont surtout d'un bon emploi dans les charpentes animées de mouvements trépidatoires, comme celles des ponts. Les barbes empêchent les chevilles de sortir de leurs trous, ce qui arrive souvent quand elles ne sont pas barbelées.

Les clous et les chevilles sont classés par les fabricants, à raison du poids du mille exprimé en livres ou en kilogrammes. Ainsi on dit des clous de 6 livres, 10 livres, 20 livres, etc., ou de 3, 5, 10 kilogrammes pour dire des clous dont mille pèsent 6 livres, 10 livres, 30 livres ou 3, 5, 10 kilogrammes. Après cela, il en est qui servent exclusivement à certains usages qu'ils indiquent par leur nom : par exemple, on appelle clous *à latter, à plafonner* des clous qui servent principalement à clouer les lattis sur lesquels se font les plafonnages ; on appelle clous *d'ardoises* ou *d'ardoisier* des clous à tête très-plate et très-mince, qui servent à fixer les ardoises sur les toits. Les clous les plus demandés pour les ouvrages de charpente et de menuiserie sont ceux de 3 à 10 kilogrammes. Nous faisons observer ici que dans les devis, il est indispensable d'indiquer non-seulement la longueur des clous, ainsi qu'on se borne à le faire quelquefois, mais encore le poids du mille. Sans cela, on pourrait fournir des clous grêles, et qui n'auraient pas la force qu'on en attend.

La bonne qualité des clous participe naturellement de celle du métal ; le fer des clous doit être pliant et malléable. Il faut éviter d'employer ceux qui sont faits avec du fer tendre et cassant à froid. On exige de plus qu'ils soient bien et nettement forgés, à vives arêtes, sans pailles ni bavures, que toutes leurs surfaces soient bien *parées* et luisantes, et que leur pointe soit bien aiguë ou coupante.

On désigne sous le nom de *clous d'épingles* ou *pointes de Paris*, des clous cylindriques terminés, d'un côté, par une pointe quadrangulaire, et de l'autre par une tête cylindrique. Ces pointes ont sur les clous ordinaires l'avantage de ne pas fendre les planches, les menuisiers en font presque exclusivement usage.

Les vis ont des longueurs et des grosseurs qui varient beaucoup. Généralement elles sont formées d'un corps légèrement conique, fileté sur les 2/3 environ de sa longueur, et d'une tête fendue, ayant la forme d'une calotte sphérique, ou d'un tronc de cône renversé. Quelquefois la tête est remplacée par une boucle, ces dernières portent le nom de *tire-fonds*.

On trouve dans le commerce des clous et des vis étamés et goudronnés, mais on en fait plus rarement usage que des clous ordinaires.

ARTICLE IV.

APERCU DES RESSOURCES DE LA BELGIQUE ET DE LA FRANCE EN MATÉRIAUX MÉTALLIQUES.

236. — Des métaux qu'on emploie aux constructions, la Belgique ne produit en abondance que le fer et le zinc. Les mines de fer sont très-abondamment répandues dans le sol, où elles forment des filons, des veines ou des amas puissants. C'est principalement dans le terrain anthraxifère que se trouve les plus riches. Le minerai le plus estimé est l'hydrate d'oxyde de fer, qui donne souvent d'excellentes qualités de fer fort. Le fer oxydé granuliforme (fer oligiste), qui constitue dans la province de Namur des couches très-puissantes, est aussi très-employé, depuis quelques années. Le fer carbonaté lithoïde, quoique très-abondant dans le terrain houiller, est trop pauvre pour être employé tant que les mines de fer hydraté et oxydé pourront lui faire concurrence.

Nous possédons de vastes et belles usines à fer dans les provinces du Hainaut, de Namur, de Liége et de Luxembourg principalement, parmi lesquelles nous citerons celles de *Seraing*, de *Couillet*, de la *Providence*, de *Chatelineau*, *Montigny*, *Monceaux-sur-Sambre*, *Oignies*, *Fayt-Lez-Seneffe*, *Sclessin*, etc., etc. Elles ont une production capable, non-seulement d'approvisionner la Belgique en fers de toute espèce et de tout échantillon, mais encore de satisfaire aux besoins de l'étranger.

Nos fabriques de clous sont très-renommées, elles expédient leurs produits jusqu'au delà des mers. Les principales sont aux environs de Charleroi, de Fontaine-l'Évêque et de Liége.

Le sol de la Belgique renferme des mines de zinc sur plusieurs points ; celle la de Vieille-Montagne, près d'Aix-la-Chapelle, est une des plus riches connues. Le minerai qu'on y exploite est la *calamine* (1), qu'on traite pour en extraire le métal dans les belles usines de Chênée, près de Liége, et de Corphalie, près de Huy.

Le minerai de plomb (*galène*) (2) se trouve aussi en beaucoup d'endroits, mais généralement en trop petites masses pour donner lieu à de grandes exploitations. La mine de plomb de *Vedrin*, près Namur, qui versait, il y a quelques années encore,

(1) Mélange de carbonate et de silicate de zinc.
(2) Plomb sulfuré.

des quantités de plomb métallique assez considérables dans le commerce, est aujourd'hui abandonnée et épuisée, à ce qu'il paraît. Celle de *Longvilly*, près de Bastogne (Luxembourg), quoique assez riche, n'a jamais fourni que de l'*alquifoux*, (1); seule, la mine de Bleiberg-ès-Montzen (canton d'Aubel) est aujourd'hui en état de produire, d'une manière régulière, de fortes quantités de minerais de plomb. Le plomb métallique dont nous faisons usage se tire de l'étranger, ou se fabrique du moins pour la majeure partie avec des minerais importés en Belgique.

Nous ne possédons, du moins jusqu'à présent, ni mine d'étain ni mine de cuivre. Ces métaux se tirent de l'étranger, le cuivre de Suède, et l'étain d'Angleterre.

Il y a des fabriques de laiton très-importantes à Namur, à Arbre (près de Burnot), à Chênée, près de Liége, et dans quelques autres localités.

Enfin nous possédons un grand nombre de fabriques de céruse et d'autres produits chimiques qui sont employés dans la peinture à l'huile.

La France possède des fabriques de fer importantes parmi lesquelles on cite celles : Du *Creuzot*, surnommée le Seraing français, de *Decazeville* (Aveyron), de *la Providence*, de *Denain* et d'*Anzin*, de *Maubeuge* (Nord), de *Montataire* (Oise), d'*Ars-sur-Moselle*, de *Commentry* et de *Châtillon-sur-Seine* ; de *Hayange* (Moselle), d'*Audincourt* (Doubs), de *Saint-Étienne* (Loire), de *Niederbronn* (Bas-Rhin), de *Marquise* (Pas-de-Calais), de *Tredion* et *Lauveaux* (Morbihan), et de *Saint-Dizier* (Haute-Marne).

Ses principales mines et usines à plomb sont à *Poullauen* et *Huelgoat*, en Bretagne et à *Pongibaud* (Puy-de-Dôme).

---

(1) Plomb très-pur servant dans la poterie à donner un vernis grossier.

DEUXIÈME PARTIE

EMPLOI DES MATÉRIAUX.

PRÉLIMINAIRE.

237. Nous nous proposons, dans cette deuxième partie, d'étudier la mise en œuvre des matériaux que nous avons précédemment fait connaître.

Cette mise en œuvre a donné naissance à un grand nombre d'arts industriels que nous ne saurions exposer ici dans tous leurs détails, ce qui serait superflu, mais dont nous devons donner une idée suffisante pour qu'on puisse diriger avec intelligence les ouvriers qui les pratiquent, et apprécier les ressources de leur industrie.

Parmi ces arts, les uns ont pour objet exclusif la mise en œuvre des matériaux pierreux : tels sont ceux du *maçon appareilleur*, du *maçon*, du *plafonneur*, du *carreleur* et du *paveur*, du *couvreur en ardoises et en tuiles*, du *vitrier*.

Les autres sont fondés sur l'emploi des matériaux ligneux : de ce nombre sont l'art du *charpentier*, du *menuisier*, du *tourneur*, du *paillassonneur* et du *fascineur*.

D'autres enfin, comme l'art du *serrurier*, du *plombier*, de l'*ouvrier en cuivre et en zinc*, du *ferblantier*, sont fondés sur la mise en œuvre des matériaux métalliques.

Nous passerons rapidement en revue dans ce qui va suivre les différents arts que nous venons d'énumérer, en exposant d'une manière succincte leurs procédés d'exécution et faisant la critique de ceux reconnus vicieux ou qui nous ont paru tels.

PREMIÈRE SECTION

EMPLOI DES MATÉRIAUX PIERREUX.

ARTICLE PREMIER.

ART DU MAÇON APPAREILLEUR.

238. Définition. — L'objet de l'art du *maçon appareilleur* a pour objet la construction des murs et des voûtes de toute espèce au moyen de pierres de taille de *grand* et de *petit appareil* (1).

(1) On appelle pierre de *grand* ou de *haut appareil* toute pierre de taille extraite d'un banc de plus de $0^m,30$ d'épaisseur, et pierre de *petit* ou de *bas appareil*, toute pierre provenant d'un banc de moins de $0^m,30$.

239. Aperçu historique. — Cet art remonte à la plus haute antiquité, et il ne sera pas hors de propos de dire ici quelques mots de son histoire et de ses progrès.

Les premières constructions en pierre érigées par les hommes furent faites, sans doute, à l'imitation des cavernes naturelles qui leur avaient, dans le principe, servi de refuge. Très-grossières d'abord, elles durent se composer de grosses pierres dressées verticalement, de manière à enceindre un espace assez restreint et à servir de support à une ou plusieurs grandes dalles qui en formaient la couverture. Les monuments druidiques, que l'on rencontre encore dans quelques endroits de la France, de l'Allemagne et de l'Angleterre, offrent de curieux vestiges de ces constructions primitives.

Plus tard, au lieu d'employer des blocs monolithes pour former les murailles, on imagina de les composer de fragments de rocher plus ou moins artistement combinés et ce fut véritablement alors que l'art de l'appareilleur prit naissance.

Ses progrès se développèrent rapidement, si l'on en juge par l'admirable perfection d'un grand nombre de monuments, dont la construction remonte à la plus haute antiquité ; mais cependant ce ne fut qu'après bien des siècles qu'il produisit ses combinaisons les plus ingénieuses.

La construction des murs ordinaires avait été portée, en effet, chez les Egyptiens et chez les Grecs, à un degré de perfection qui n'a plus été dépassé, et qui a même été rarement atteint ; mais celle des voûtes paraît avoir été totalement ignorée de ces peuples. Les premiers n'employaient, pour former les plafonds de leurs édifices, que des dalles ou des plates-bandes monolithes, ou des combinaisons extrêmement grossières, commes celles représentées par les *fig.* 236 et 237, *pl.* X. Les Grecs les imitèrent dans leurs monuments ; seulement les plates-bandes sont souvent fractionnées en claveaux reliés les uns aux autres par des artifices de taille très-ingénieux, ou des armatures en métal, cachées, qui leur donnaient une stabilité dont elles sembleraient dépourvues au premier coup d'œil. Cette combinaison fut un acheminement vers l'invention des voûtes véritables ; mais cette ingénieuse disposition de pierres, qui devait bientôt donner son plus grand aliment au génie des appareilleurs, était encore à créer. C'est aux Étrusques, paraît-il, qu'on est redevable de cette belle découverte. Les Romains s'en emparèrent ensuite et la perfectionnèrent. Leurs monuments offrent d'admirables modèles de cette construction hardie et souvent grandiose.

240. Remarques sur les maçonneries d'appareil des anciens. — Les constructions en pierres qui remontent à ces temps reculés sont surtout remarquables par la perfection de la taille et de la pose, ainsi que par la grandeur des blocs employés. Il n'est pas rare de rencontrer dans les ruines de l'Égypte et de la Grèce, des pierres qui ont exigé des milliers de bras pour être remuées, et qui pourtant semblent avoir été usées l'une sur l'autre pour obtenir une superposition plus parfaite.

241. Constructions modernes. — De nos jours, non-seulement il est inouï que l'on ait recours à des procédés pareils, mais il est extrêmement rare encore que l'on fasse usage d'aussi lourdes masses. Presque toutes celles qu'on emploie doivent satisfaire à la condition d'être facilement transportables et maniables par un petit nombre d'hommes, aidés des machines les plus simples. Ce n'est que dans des cas tout à fait exceptionnels, quand il s'agit surtout de constructions fastueuses ou monumen-

tales, qu'on se permet, et très-rarement encore, de se soustraire à cette règle. Nous citerons comme une des exceptions les plus remarquables le monument élevé à Saint-Pétersbourg à la mémoire de Pierre le Grand : la statue équestre du czar pose sur un rocher de granite, extrait à une lieue et demie de l'endroit où il est aujourd'hui, et qui pèse plus de 3,000,000 de kilogrammes. En Belgique, nous ne pouvons rien citer qui en approche. Les colonnes monolithes qui décorent la façade du palais du roi, à Bruxelles, et qui sont vraisemblablement les plus lourdes pierres qu'on ait mises en œuvre dans nos monuments, pèse à peine 21,000 kilogrammes. L'obélisque de Louqsor en pèse environ 220,000.

242. Fractionnement des massifs ; règles à observer. — Les murs, les colonnes, les pilastres, les voûtes et leurs pieds-droits, et en un mot tous les massifs de maçonnerie, sont formés de pierres de petites dimensions, réunies entre elles, soit par le simple effet du frottement, soit au moyen d'agrafes ou d'ancres, soit enfin au moyen de matières ferrumentaires.

Pour que l'ensemble de ces matériaux forme un tout stable et solide, il faut que chacune des pierres satisfasse aux conditions suivantes :

1° Toutes ses faces doivent êtres perpendiculaires entre elles ;

2° Toutes les surfaces de contact doivent être développables ou réglées, et de la génération la plus simple possible ;

3° Les surfaces d'appui ou d'*assise* doivent être normales à la résultante des forces auxquelles chaque pierre est soumise. Le plus souvent elles n'en ont d'autre à supporter que celle de la pesanteur, et ces surfaces sont horizontales ;

4° Ces mêmes surfaces d'appui peuvent être continues d'un bout à l'autre du massif. Les surfaces montantes ou de *joint* doivent nécessairement être discontinues ;

5° Enfin, le rapport de l'épaisseur à la longueur de chaque pierre ne doit pas dépasser une certaine limite dépendant du degré de résistance de la substance employée.

243. Motifs de ces prescriptions. — Les motifs de ces diverses prescriptions sont faciles à saisir.

La première est basée sur la nécessité d'avoir des pierres également résistantes dans toutes leurs parties, ce qui n'aurait pas lieu si elle n'était pas satisfaite, parce que les pierres présenteraient alors des angles aigus et obtus d'une solidité bien différente.

La seconde facilite l'exécution et permet de donner, sans trop de difficulté, aux surfaces de contact, le degré de précision désirable.

La troisième concourt à la solidité de l'ensemble, en donnant à chaque pierre son maximum de stabilité.

La quatrième permet d'établir dans le sens latéral une liaison sans laquelle le massif se trouverait fragmenté en portions presques indépendantes les unes des autres.

La cinquième, enfin a pour but d'assurer à chacune des pierres une solidité suffisante, et de les empêcher de se briser sous le poids des parties supérieures, lorsque

par l'effet des tassements ou d'une malfaçon, elles se trouvent en porte-à-faux. On prescrit généralement de ne pas leur donner en longueur plus de six fois leur hauteur. Dans le plus grand nombre de cas, même, on réduit cette longueur à deux ou trois fois l'épaisseur verticale pour les pierres dures, et à une fois et demie seulement pour les pierres tendres.

244. Divers genres d'appareil auxquels elles ont donné naissance. — L'observation de ces prescriptions a donné naissance, dès l'antiquité, à diverses combinaisons qui ont été exactement suivies ou imitées par les modernes, et qui sont connues sous les noms de *isodomon*, *pseudisodomon*, *diatonous*, des Grecs, et d'*opus incertum*, des Romains.

Nous en avons rassemblé des exemples dans les *fig.* 238 à 242. L'appareil est *isodomon* quand toutes les assises sont d'égale épaisseur ; il est *pseudisodomon* quand des assises d'épaisseur différente alternent régulièrement les unes avec les autres.

L'appareil le plus usité de nos jours est le *diatonous*, que nous désignons sous le nom d'appareil en *carreaux* et *boutisses* ou *parpaings*. Dans cet appareil, toutes les pierres sont de mêmes dimensions, et elles ont en longueur le double de leur épaisseur. Cela permet de former plusieurs combinaisons plus ou moins bien reliées, et dont les *fig.* 241 et 242 donnent des exemples.

Si la longueur des pierres est égale à l'épaisseur du mur, celui-ci peut être formé de couches ou d'assises alternatives de *boutisses* et de *carreaux*, comme dans la *fig.* 242, ou bien de couches composées les unes comme les autres de *boutisses* séparées par des *carreaux*, comme dans la *fig.* 341, etc., etc. Dans ces différents cas, les boutisses prennent le nom de *parpaings* (1).

Si le mur est plus épais que la plus grande dimension des pierres, alors les combinaisons peuvent varier d'un très-grand nombre de manières. On en trouvera quelques exemples dans les *fig.* 306 à 308 de la *pl.* XIV.

Ces diverses dispositions sont aussi bien applicables aux voûtes qu'aux murs droits, auxquelles elles se rapportent plus spécialement. Toute la différence qu'il y a, c'est que la section transversale des assises (qui prennent ici le nom de *cours de voussoirs*), au lieu d'être simplement rectangulaire, comme dans les exemples précédents, offre généralement la forme d'un trapèze mixtiligne, dont les dimensions exactes sont données par le tracé en grand de l'épure de la voûte.

Le raccordement des cours de voussoirs avec les assises horizontales des murs de tête (2) se fait de diverses manières. Les *fig.* 243 à 246 indiquent les plus usitées. Tantôt, comme dans la *fig.* 243, tous les cours de voussoirs ont égale épaisseur et forment un bandeau courbe, contre lequel viennent s'arrêter, au moyen de coupes plus ou moins biaises, les assises horizontales ; tantôt ces cours de voussoirs forment

---

(1) On dit qu'une pierre forme *boutisse* quand sa longueur est perpendiculaire au parement du mur. On dit qu'elle forme *carreau* quand sa longueur est parallèle au parement. Enfin on dit qu'elle forme *parpaing* quand elle *fait parement* des deux côtés du mur.

(2) On appelle *mur de tête* celui dans lequel débouche l'ouverture de la voûte.

une succession de ressauts contre lesquels ces mêmes assises viennent se terminer, comme les *fig.* 244 et 245 ; d'autres fois, enfin, chaque cours de voussoirs est terminé par une *crossette*, comme dans la *fig.* 246. Ces dernières combinaisons ont pour but d'éviter les angles trop aigus au point de raccordement des assises horizontales avec les voussoirs, comme cela a lieu dans la disposition, rarement usitée aujourd'hui, de la *fig.* 243.

Nous avons représenté dans la *fig.* 247 l'appareil employé pour la construction des murs terminés latéralement par une surface plus ou moins inclinée, comme cela se présente souvent dans les murs en aile des ponts, des aqueducs, des viaducs, et dans un grand nombre d'autres cas. On comprendra aisément, par la seule inspection de la figure, le motif de cette disposition.

245. Détails d'exécution. — Nous avons déjà dit (240) avec quel soin les anciens procédaient à la pose des pierres. Ils ne reculaient devant aucune peine, devant aucune dépense pour atteindre, sous ce point de vue, une véritable perfection, et c'est là, sans aucun doute, l'une des principales causes de l'étonnant état de conservation de leurs monuments, malgré des siècles d'abandon. Non-seulement ils taillaient avec une rigoureuse exactitude les surfaces du contact ; mais, afin d'obtenir une juxtaposition plus parfaite, il est très-présumable qu'ils frottaient les pierres les unes sur les autres, jusqu'au point d'obtenir des joints à peine visibles, et de les faire adhérer par l'effet de la pression atmosphérique.

La dépense et le temps que demandait cette dernière opération l'ont fait totalement abandonner dans les constructions modernes, et l'on y a substitué des procédés beaucoup plus expéditifs, mais qui ne sont pas toujours exempts d'inconvénients, comme on va le voir.

Pose sur cales. — Toute pierre de taille destinée à faire partie d'un massif, mur, colonne, pilier ou voûte, doit non-seulement remplir la condition de se superposer exactement aux autres, mais encore de *satisfaire au parement*, c'est-à-dire d'avoir une ou plusieurs de ses faces exactement dans le plan extérieur du mur. Or, comme il est très-difficile, sans un soin indéfini et des ragréments fort coûteux, de satisfaire à la fois à ces deux exigences, on se borne souvent à dresser avec soin et exactitude les surfaces de parement, et à dégrossir tout bonnement les surfaces cachées ou de contact. Au moyen de cales plus ou moins épaisses, on place ensuite sans peine la pierre dans la position qu'elle doit avoir. Ce procédé est très-expéditif, comme on le voit, mais il est entaché de plusieurs inconvénients qui peuvent être de la plus haute gravité dans certains cas.

Ses défauts. — Il est visible d'abord que, ainsi échafaudée, la pierre est dans des conditions d'une résistance bien moindre que si elle portait par tous ses points. Non-seulement elle est sujette à se rompre par le milieu, mais de plus la pression qu'elle supporte étant repartie sur une très-petite surface, elle peut s'écraser ou s'*épaufrer* (1) aux points de support. On a cru remédier à cet inconvénient en remplissant le

(1) Se briser en éclats.

joint de mortier, soit avant, soit après la pose des pierres sur les cales (1) ; mais cette précaution est rarement bien efficace, parce que le mortier prend en se desséchant un retrait assez notable, et qu'ainsi la pierre se trouve à peu près dans la même situation que s'il n'y en avait pas. Quelques-uns prétendent aussi parer à tout en remplaçant les cales en bois par des cales en plomb. Le plomb, disent-ils, cède sous la charge et suit le mouvement de retrait du mortier ; mais nous ne pensons pas que ce palliatif coûteux mérite réellement une grande confiance, car, d'une part, le plomb n'est pas beaucoup plus compressible que le bois, et, d'autre part, il ne jouit pas, comme ce dernier, de la propriété d'augmenter de volume au contact de l'humidité, et d'en diminuer par l'effet de la sécheresse. Or, dans ce cas-ci, cette propriété nous paraît très-avantageuse, en ce sens que, au moment où le bois se trouve en contact avec le mortier frais, il se gonfle, agrandit l'épaisseur du joint, permet d'y introduire un surcroît de mortier, et que, quand celui-ci sèche et se retire, le bois se dessèche et se rétrécit en même temps. Ce jeu a peut-être plus d'efficacité à lui seul que l'effet de la compressibilité du plomb. Nous préférerions à l'emploi de ce métal celui du feutre ou du carton, dont on a fait usage dans quelques grandes constructions ; mais nous répétons que tous ces moyens ne sont, en définitive, que des palliatifs sur lesquels on ne peut se reposer avec certitude, et qui doivent être absolument proscrits, hors les cas que nous signalerons tout à l'heure.

La méthode de pose que nous venons de décrire présente un second inconvénient : c'est de rendre impossible l'obtention des joints serrés et réguliers, qui sont pourtant nécessaires à la beauté de l'ouvrage, sans recourir au *démaigrissement des joints*, opération qui consiste à donner une certaine concavité aux plans des joints, tout en ménageant au parement seulement une *plumée* ou bandeau régulièrement ciselé, de 10 ou 15 centimètres de largeur, et souvent moins, le reste étant grossièrement taillé au poinçon ou même dégrossi au marteau. Or, il résulte de cette disposition la nécessité d'employer un plus fort volume de mortier dans les joints. De là un plus fort retrait, de plus grands tassements, et l'augmentation du danger de porte-à-faux.

C'est aux dispositions vicieuses que nous venons de signaler que l'on a principalement attribué la ruine prématurée des piliers du dôme du Panthéon français, ruine qui a fait craindre sérieusement celle de ce bel édifice, et qui a exigé des reprises en sous-œuvre de la plus grande difficulté.

Observation. — Nous devons faire remarquer, toutefois, que cette méthode de pose n'offre pas dans tous les cas des dangers également imminents. Dans un grand nombre de circonstances même, les pierres offrent un tel surcroît de résistance relativement aux pressions qu'elles supportent, qu'on peut y avoir recours sans nulle crainte. Les indications qu'on trouvera sur la résistance des pierres, dans la troisième partie,

---

(1) On étend quelquefois le mortier à la truelle avant de poser la pierre et les cales ; d'autres fois on pose la pierre *à sec* sur les cales et l'on introduit ensuite le mortier dans le joint au moyen de l'instrument nommé *fiche* ou *queue de morue* (*fig.* 248), espèce de longue truelle armée de dents crochues et relevées ; parfois, enfin, le mortier est coulé liquide dans le joint après qu'on a pris soin de garnir de filasse les parties par lesquelles il pourrait s'écouler.

permettront de reconnaître dans quels cas on pourra en faire usage avec toute confiance. Il n'y a que pour les ouvrages hydrauliques qu'on doit le proscrire d'une manière absolue, parce que, en supposant qu'on n'ait rien à craindre des porte-à-faux, le retrait du mortier occasionne toujours des vides qui donnent bientôt naissance à des filtrations compromettantes.

Pose à bain de mortier. — Il est une autre méthode de pose qui, bien que beaucoup plus expéditive et moins coûteuse que celle des anciens, est cependant dépourvue de tous les défauts de la précédente, et qui doit être employée toutes les fois que, soit à raison de la charge à laquelle les pierres ont à résister, soit à cause de la présence des eaux, la méthode de pose sur cales et à joints démaigris est de nature à présenter quelque danger ; c'est celle connue sous le nom de *pose à bain de mortier*.

Voici comment elle s'exécute :

On doit d'abord exiger que, contrairement à ce qui se pratique dans la méthode précédente, les plans de lit et de joint soient dressés avec la plus rigoureuse exactitude, et n'y tolérer ni flache ni démaigrissement quelconque. Quant aux parements, ils peuvent, dans certains cas que nous indiquerons plus loin, être simplement ébauchés.

Lorsque l'on veut placer sur une assise déjà formée une pierre satisfaisant à ces conditions, on commence par déraser bien exactement la surface supérieure de cette assise, c'est-à-dire que l'on vérifie, au moyen de la règle, du niveau et de l'équerre, si elle présente un plan bien uniforme, bien horizontal, ou offrant le degré d'inclinaison voulu. Dans le cas contraire, on fait retoucher par le tailleur de pierre les parties où c'est nécessaire. Cela étant fait, la pierre est présentée dans la position qu'elle doit occuper, et l'on vérifie, au moyen des mêmes instruments et du fil à plomb, si elle satisfait à la fois aux conditions d'avoir une bonne assiette, de présenter des joints montants bien dressés et d'équerre au lit d'assise, et, de plus, d'avoir son parement dans le plan de celui du massif. Quand on s'est assuré que ces conditions sont suffisamment remplies, on l'enlève, et sur la place préalablement bien nettoyée, qu'elle doit occuper, on étend une couche, d'environ $0^m,02$ d'épaisseur, de mortier bien fin et dégagé de pierrailles. La pierre est ensuite remise en place au moyen de la pince du poseur, et (après avoir de nouveau vérifié sa position au moyen de la règle, du niveau et du plomb), affermie à coups d'un gros maillet de bois dont on la frappe, de manière à faire refluer à l'extérieur tout le mortier excédant, et à donner au joint une aussi petite épaisseur qu'on le veut. Toutes les autres pierres se posent successivement, en prenant les mêmes précautions, et en ayant soin, de plus, de garnir de mortier les joints montants par lesquels elles se juxtaposent aux précédentes. Toute l'assise étant ainsi formée, on la dérase de nouveau comme la première, et l'on continue les autres de la même manière.

Si, pour donner une bonne assiette à la pierre, il fallait en sacrifier le parement, il ne faudrait pas reculer devant cette nécessité. On donnerait alors à la pierre une légère saillie sur le *nu du mur*, et on la retaillerait dans le plan général du parement, après l'achèvement complet du travail.

Comme cette circonstance se présente très-souvent dans l'exécution des ouvrages compliqués, comme certaines voûtes ou intersections de murs, murs chargés de mou-

lures, etc., il vaut mieux, dans ces cas-là, ne faire qu'ébaucher ou *épanneler* les parements, pour les achever entièrement sur place. On évite ainsi de fausses manœuvres.

Pour parer au danger d'écorner ou d'ébrécher les vives arêtes de pierres pendant ces diverses opérations, on peut les essayer sur l'assise en les faisant porter sur quatre cales en bois d'égale épaisseur, que l'on a soin d'enlever avant de les placer à demeure.

Pose en délit. — Il est encore, relativement à la pose des pierres, une précaution fort importante que l'on ne doit pas négliger d'observer pour assurer la solidité de l'ouvrage. Un assez bon nombre de pierres offrant, lorsqu'elles sont pressées perpendiculairement à la surface des bancs dont elles proviennent ou leur *lit de carrière*, une résistance sensiblement plus grande que lorsqu'elles sont pressées dans l'autre sens, on doit les poser sur leur lit de carrière. Toute pierre placée d'une façon différente est dite posée *en délit*.

La pose en délit n'est permise que pour les pierres qui, comme nos petits granites, ont, à très-peu de chose près, autant de résistance dans un sens que dans l'autre. Les pierres à structure schistoïde surtout ne souffrent jamais ce genre de pose.

246. Bardage. — L'opération par laquelle on amène la pierre *à pied d'œuvre* ou *sur le tas*, est connue sous le nom de *bardage*. Dans les cas ordinaires, elle s'effectue au moyen de rouleaux en bois (*fig.* 249), frettés à leurs deux bouts et que l'on fait rouler sur le terrain ou sur des madriers disposés dans le sens du chemin qu'on veut leur faire parcourir, ou bien au moyen de chariots ou de camions de diverses formes traînés par des hommes ou des chevaux. Lorsque les masses sont très-lourdes, les dispositions deviennent plus ou moins compliquées. Le rocher de Saint-Pétersbourg, dont il a été fait mention plus haut, a été transporté au moyen d'un chemin en charpente, formé de deux ornières creuses, doublées en bronze, dans lesquelles étaient placés des boulets, de même matière, et sur lesquels on faisait avancer le rocher. Ce rocher était posé sur un châssis à ornières creuses renversées et doublées en métal, que l'on faisait marcher au moyen de moufles et de cabestans amovibles (*fig.* 250).

247. Levage. — Pour procéder au *levage* de la pierre, c'est-à-dire pour la monter à la hauteur de l'assise dont elle doit faire partie, on se sert de *treuils*, de *chèvres*, de *bigues*, de *grues* ou d'autres engins plus ou moins compliqués. Nous n'avons représenté que les plus simples dans les *fig.* 251, 252 et 253. On pourra consulter les planches 159 et 170 de l'ouvrage de Rondelet, ainsi que les planches 155 et 156 du *Traité de l'art de la charpenterie* du colonel Émy, pour se faire une idée des appareils compliqués qui servent au levage des pierres d'un grand poids.

Ces machines saisissent la pierre à élever au moyen de cordages dont on les enlace, comme on l'a représenté *fig.* 254, ou qui s'engagent (comme on en a des exemples dans quelques monuments antiques), dans des espèces d'oreilles ou de fers à cheval pratiqués dans les joints montants (*fig.* 255) ou, ce qui se pratique plus communément, qui s'attachent à un instrument en fer appelé *louve*, représenté *fig.* 256 et 257. Cet instrument s'engage lui-même solidement dans un encastrement creusé dans le lit d'asisse supérieur de la pierre et dans le prolongement de la droite normale à ce plan qui passe par son centre de gravité.

Cette dernière opération est connue sous le nom de *brayage*.

248. Moyens de liaison. — Indépendamment de la liaison qui s'établit entre les pierres d'un massif composé, ainsi que nous venons de le dire, soit par le simple effet du frottement, soit par l'adhérence du mortier interposé, on emploie, dans certaines circonstances, d'autres moyens de réunion plus ou moins efficaces et dont les principaux sont:

1° Les *ressauts et renfoncements*, dont les *fig.* 258 à 261, *pl.* XI, offrent divers exemples, à l'aide desquels les pierres se cramponnent, pour ainsi dire, les unes aux autres. Mais ce moyen, qui paraît bon au premier coup d'œil, donne cependant assez rarement des résultats avantageux, parce que ces formes exigent, en général, un degré de précision qu'il est fort difficile d'obtenir des ouvriers. Dans tous les cas, les plus simples combinaisons doivent toujours obtenir la préférence, et les enchevêtrements latéraux se font plus facilement avec précision que les autres.

2° Les *agrafes*. On a des exemples, dans quelques monuments romains, d'agrafes en bois dur, taillées en double queue d'hironde et encastrées dans le lit des pierres; les architectes du moyen âge ont souvent employé, d'une manière analogue, des tibias de de bœuf ou de cheval; mais les agrafes les plus employées sont celles en métal. Ce dernier mode de liaison offre sur le précédent, outre une plus grande facilité d'exécution, l'avantage d'être généralement plus économique.

Les *fig.* 262 à 264 offrent divers exemples d'agrafage.

3° Les *goujons* en fer, les *dès* et les *sphères* en pierre, dont nous avons représenté diverses dispositions dans les *fig.* 265 à 267. Ce mode de liaison a été employé, concurremment avec le premier, à la construction du phare d'Eddystone, bâti à quatorze milles en mer au sud-ouest de la rade de Plymouth, sur un rocher battu sans cesse par des vagues furieuses. La *fig.* 267 est la représentation d'une des assises de cet ouvrage remarquable.

4° Les *ancres*, longues barres de fer horizontales ou verticales qui réunissent une ou plusieurs assises de pierre, au moyen de diverses combinaisons, dont les *fig.* 268 et 269 présentent des exemples. La *fig.* 269 est la représentation du système d'armures employé au portail du Panthéon français, elle donnera une idée de la complication que prennent quelquefois ces moyens de liaison.

5° Enfin, dans quelques cas, on pourrait encore employer le procédé suivi par les anciens Gaulois pour la construction des murailles de leurs villes. Suivant une description qui nous en a été laissée par Jules César, dans ses *Commentaires*, il est très-présumable que ces murailles étaient formées de grillages composés de grosses poutres, entre-croisées et entaillées à mi-bois à leur intersection, et dont les cases étaient remplies de terre et de pierres de dimensions convenables.

La *fig.* 270 représente ce dispositif suivant l'interprétation de Rondelet.

Ces divers moyens de liaison sont surtout utiles pour la construction des ouvrages exposés au choc des vagues de la mer, et en général de ceux qui doivent offrir une grande résistance peu de temps après leur achèvement.

249. Scellements. — Les agrafes, goujons, ancres, et autres pièces de fer qui ser-

vent, comme nous venons de le dire, à relier entre elles les pierres d'un mur ou d'un massif quelconque, y sont fixés, en général, au moyen de *scellements*.

Un scellement se pratique en creusant dans la pierre, aux endroits convenables, un logement offrant des dimensions un peu plus grandes que celles de la pièce à sceller, et en remplissant ensuite l'intervalle vide subsistant entre cett epièce et les parois de la cavité, au moyen d'une matière que l'on y coule liquide, et qui s'y fige sans prendre trop de retrait.

Les principales substances employées à cet usage sont le plomb, le plâtre, le soufre, des mélanges résineux, des ciments ou des mortiers hydrauliques.

Le plomb donne les scellements les plus durables ; mais, comme ce métal éprouve un assez grand retrait en se refroidissant, il faut avoir la précaution, après qu'il a été coulé et refroidi, de le poinçonner, afin de le refouler dans les vides qui proviennent du retrait. Ce mode de scellement est le plus usité pour les pierres bleues qu'on emploie en Belgique.

Le plâtre serait une excellente matière de scellement, s'il n'avait pas l'inconvénient de perdre de sa force avec le temps, et surtout de s'altérer très-rapidement dans les lieux humides. Le gonflement qu'il éprouve en se durcissant lui fait parfaitement remplir les creux dans lesquels on l'introduit, et il contracte en outre une très-forte adhérence au fer et à la pierre. Le plâtre est presque exclusivement employé pour les scellements qui s'exécutent dans les pierres blanches, comme la plupart de celles employées en France.

Le soufre prend peu de retrait en se figeant, et il contracte une très-grande adhérence au fer, mais il a l'inconvénient d'agir chimiquement sur ce métal et de le rendre aigre et cassant.

De bons mortiers hydrauliques ou des ciments sont, sans contredit, les meilleures matières de scellement ; cependant elles sont beaucoup plus rarement employées que les autres.

Le coulage de ces diverses matières exige souvent que l'on pratique une espèce d'auget, destiné à les conduire dans les creux qu'elles doivent occuper. Cet auget se fait en terre argileuse, que l'on façonne à la main, en lui donnant la disposition la plus favorable à la réussite de l'opération. Lorsque la matière s'est solidifiée, on enlève l'auget et l'on fait ensuite les ragréments ou poinçonnages nécessaires. Le plâtre et les mortiers s'injectent au moyen de la truelle ou de spatules.

Afin de relier plus solidement les pièces de métal à la pierre, il est convenable, en général, de leur donner des formes en queue d'hironde et de donner la même force aux encastrements. Ces dispositions sont indiquées par la *fig.* 271, qui en fait facilement comprendre le bon effet.

Il convient enfin de ne placer ces pièces à demeure qu'après les avoir enduites de poix ou de goudron appliqué à chaud, ou d'une couleur à l'huile. Cet enduit les préserve de la rouille, qui non-seulement leur enlève de leur force, mais les fait quelquefois suffisamment augmenter de volume pour causer la rupture des pierres dans lesquelles elles se trouvent engagées. Cet accident, qui se produit encore quelquefois malgré cette précaution, peut obliger, lorsqu'il s'agit de travaux d'une grande

importance, soumis à l'action de l'humidité, de remplacer le fer par le cuivre ou le bronze, qui n'offrent pas le même inconvénient, mais qui coûtent beaucoup plus cher.

250. Ravalements. — Quelque soin que l'on ait apporté à la taille des pierres et à leur pose, il arrive très-souvent qu'il est nécessaire, pour donner le dernier fini à l'ouvrage, de revenir sur les parements, lorsque les murs sont entièrement montés.

Cette opération, qui est toujours indispensable lorsque, comme nous l'avons dit, le parement n'a été pour ainsi dire qu'ébauché, porte le nom de *ravalement*. Elle s'exécute ordinairement en commençant par les parties supérieures de l'édifice, et en finissant par le bas.

Le ravalement consiste à dresser, ciseler, ou *layer* les parements ébauchés, à en enlever les *balèvres* ou saillies sur le plan général du parement, à tailler les moulures, à terminer les sculptures qui n'ont été qu'épannelées avant la mise en place ; à creuser les refends s'il doit y en avoir ; enfin à réparer toutes les parties de la construction qui ont été endommagées pendant le cours des travaux.

Dans ce dernier cas, on peut se servir avantageusement, pour la pierre bleue, d'un mastic composé de colophane et de pierre pilée, connu sous le nom de *mastic de tailleur de pierre*. Ce mastic, coulé à chaud dans les ébréchures qu'il s'agit de réparer, contracte bientôt une grande adhérence à la pierre et une dureté qui permet de le tailler ensuite comme la pierre elle même. (1)

On ne saurait du reste prendre trop de précautions pour éviter les dégradations qui nécessitent l'emploi de cet ingrédient, qui ne peut être toléré que pour des réparations peu importantes et qu'il serait difficile de faire autrement ; à cet effet, il est convenable d'envelopper d'une chemise en planches toutes les arêtes saillantes des constructions en pierre de taille, afin de rendre nul ou peu dangereux l'effet des chocs résultant de la chute des corps qui tombent accidentellement des parties plus élevées, pendant le cours de la construction .

251. Jointoiement. — On comprend encore assez souvent dans le ravalement le *jointoiement*.

Cette opération consiste à gratter le mortier qui garnit les joints de la maçonnerie sur un ou deux centimètres de profondeur, et à le remplacer par d'autre mortier auquel on donne la couleur de la pierre, par une addition de noir de fumée, d'ocre jaune ou de pierre pilée. Lorsque ce mortier a pris un certain degré de consistance, on le récire au moyen d'une petite truelle étroite et épaisse (*fig.* 329, *pl.* XV).

252. Échafaudages. — Les diverses opérations de pose, de ravalement et de jointoiement que nous venons de décrire, s'effectuent au moyen d'échafaudages

---

(1) Les carriers et les tailleurs de pierre font un très-grand usage de ce mastic pour dissimuler les défauts plus ou moins graves des pierres de taille qu'ils livrent au commerce ; mais ces pierres mastiquées doivent être considérées comme de rebut et rejetées des travaux soignés. Les parties mastiquées se reconnaissent d'ailleurs aisément avec un peu d'attention. Elles offrent généralement un aspect plus terne et moins cristallin que les autres portions de la pierre, et elles se trahissent en outre par l'odeur de colophane qu'elles exhalent quand on les frotte.

plus ou moins compliqués et plus ou moins solides. Ces échafaudages consistent, en général, en planchers, que l'on élève au fur et à mesure de l'avancement de la construction, et que l'on supporte d'un côté au moyen du mur en élévation, et, de l'autre, par des perches ou poteaux verticaux, reliés entre eux de diverses manières. Nous avons vu en Angleterre un genre d'échafaudage et de machine de levage en même temps, qui nous a paru fort ingénieux et d'un emploi très-avantageux pour les grandes constructions en pierre de taille. Nous l'avons représenté *fig.* 72, pl. XI.

Il consiste en deux forts pans de bois en sapin, établis à une certaine distance du pied du mur ou de l'édifice à construire, et parallèlement à ce mur ou à l'axe longitudinal de l'édifice. Les sablières supérieures de ces pans de bois se trouvent au-dessus du plan supérieur que doit atteindre la construction, et elles portent sur leur face supérieure un rail de chemin de fer. Sur ce chemin de fer roule une espèce de fort chariot, A, formé de deux poutres armées, distantes l'une de l'autre, $0^m,70$ à $0^m,80$ et reliés par des traveses; ce chariot est porté sur quatre roulettes en fonte et à rebord, semblables aux roues des voitures des railways. Il porte lui-même un chemin de fer sur lequel roule un treuil monté sur quatre roulettes, qu'on peut faire avancer ou reculer suivant l'axe du chariot au moyen d'un engrenage. On voit que ces diverses dispositions permettent de donner aux pierres levées des mouvements de translation suivant l'axe longitudinal du mur ou du bâtiment, et suivant des directions perpendiculaires à celui-ci, et de les amener ainsi sans difficulté et d'une manière très-précise à la place qu'elles doivent occuper. En même temps, les pans de bois servent à l'établissement des divers planchers d'échafaudage qu'on élève au fur et à mesure de l'avancement du travail. Nous croyons inutile de mentionner que les pans de bois sont affermis dans leur position verticale, soit par des traverses qui vont de l'un à l'autre, soit par des tirants qui leur font prendre momentanément des points d'appui dans la maçonnerie, soit au moyen de jambes de force qui s'appuient sur le sol, etc.

Ce genre d'échafaudage est aujourd'hui très-fréquemment employé sur le continent. On en fait usage avec un plein succès à la nouvelle église de Laeken, en Belgique, au pont sur le Rhin, à Cologne, au grand viaduc de Chaumont du chemin de fer de Saint-Dizier à Gray, du pont de Libourne sur la Dordogne (chemin de fer de Tours à Bordeaux), etc., etc.

A Paris, pour les constructions particulières, on fait généralement usage de hautes tours en charpente, portant à leurs sommets une poulie sur laquelle passe la corde d'un engrenage qu'on manœuvre du bas et à l'aide duquel les pierres sont hissées à la hauteur où elles doivent être placées. Arrivées là, on les fait avancer au moyen de rouleaux, soit sur le mur même, soit sur les planchers d'échafaudage, jusqu'à la place qu'elles doivent occuper.

Les échafaudages peuvent d'ailleurs varier à l'infini, suivant la forme ou l'importance des ouvrages ; nous décrirons plus loin ceux dont se servent les maçons. Pour le surplus, nous renvoyons aux exemples renfermés dans les planches 123 et 124 de l'ouvrage du colonel Émy, déjà cité.

253. Cintres. — L'exécution des voûtes exige l'emploi d'une sorte d'échafaudage particulier, dont nous dirons ici quelques mots.

L'on sait qu'une voûte est composée d'un système de pierres cunéiformes, appelées *voussoirs*, qui ne se soutiennent au-dessus de l'espace vide qu'elles recouvrent que par l'appui mutuel qu'elles se prêtent lorsque la voûte est entièrement fermée. Jusque-là, elles tendent à glisser les unes sur les autres et à tomber en vertu de leur gravité, si l'on ne s'oppose à cet effet par des dispositions particulières. L'objet des *cintres* est de servir de support aux voussoirs jusqu'à l'entière fermeture de la voûte.

Les cintres consistent en général en une charpente solide, composée d'un certain nombre de bâtis ou fermes, espacés au plus de 2 à 3 mètres, supportant un plancher ou couchis (dont la forme est celle de l'intrados de la voûte) sur lequel on fait porter successivement tous les voussoirs.

Les fermes des cintres affectent des formes extrêmement variées et qui dépendent tout à la fois de la courbure de la voûte et de sa grandeur. Nous en offrons des exemples dans les *fig.* 273 et 274 de la *pl.* XI et dans les *fig.* 275 à 280 de la *pl.* XII.

Les dimensions des diverses pièces de charpente qui entrent dans la composition des cintres se déterminent d'après les considérations qui seront exposées dans la troisième partie. Toutes ces pièces sont droites, à l'exception de celles qui forment le pourtour extérieur des fermes, qui sont gabariées suivant une courbe parallèle à celle de l'intrados ou surface de douelle de la voûte. Ces dernières sont désignées sous le nom de *veaux*.

Les *couchis* ne se posent pas immédiatement sur les *veaux*, ils en sont séparés par une cale suffisamment épaisse, comme on peut le voir en *a* (*fig.* 273).

On distingue deux espèces de cintres :

1° Ceux qui posent sur des points d'appui pris dans l'intervalle qui sépare les naissances de la voûte. Tels sont ceux représentés *fig*, 273, 277 et 278 ; on les nomme *cintres fixes*.

2° Ceux qui n'ont d'autres points d'appui que ceux pris sur les piles, culées ou pieds-droits des voûtes, on les nomme *cintres retroussés* (*fig.* 274 275, 276, 279 et 280). Ces cintres sont en général beaucoup plus flexibles que les autres, ce qui donne lieu à plusieurs inconvénients. On doit leur préférer les cintres fixes chaque fois que leur emploi est possible sans de trop grandes difficultés. Dans tous les cas, on ne doit négliger aucun moyen pour réduire leur flexibilité au minimum.

254. Démolition des échafaudages. Décintrement. — Les échafaudages s'enlèvent sans embarras, quand la construction est terminée. Au fur et à mesure qu'on descend avec les ravalements, on démonte les pièces qui ont cessé d'être utiles et l'on bouche les trous dans lesquels étaient provisoirement engagées certaines pièces de leurs planchers ; mais pour enlever les cintres, la chose exige plus de précautions, surtout lorsqu'il s'agit de grandes voûtes, telles que des arches de ponts, de viaducs, etc. Ces précautions ont pour but d'éviter des mouvements brusques dans la maçonnerie, mouvements qui pourraient déterminer la rupture des voussoirs et peut-être même celle des voûtes.

Il y a plusieurs manières de procéder au *décintrement* : la plus ancienne, mais rarement employée aujourd'hui, consiste à ruiner, au moyen du ciseau, les cales

qui supportent les couchis et à les enlever successivement. On enlève d'abord un couchis entre deux, puis on dédouble ceux qui restent, opérant ainsi jusqu'aux derniers qu'on enlève à leur tour. On procède d'ailleurs à l'enlèvement des couchis d'une manière symétrique par rapport à l'axe de la voûte. Malgré cette précaution, le tassement de la maçonnerie ne peut s'opérer d'une manière uniforme. L'éloignement des derniers points de supports occasionne souvent une sorte de serpentement dans la courbure de la voûte. On évite ces inconvénients en faisant descendre lentement tout le cintre d'un seul coup, et c'est le procédé que l'on suit généralement aujourd'hui.

Ce résultat peut être atteint soit en amincissant petit à petit le pied des principales pièces de support qui s'écrasent sous la charge et s'affaissent lentement, jusqu'au point où le tassement de la voûte est totalement arrêté, soit en les faisant poser, lors du placement des cintres, sur des clefs cunéiformes qu'on desserre à coups de masse au moment du décintrement. Une disposition de ce genre est représentée dans la *fig.* 275.

Les pièces marquées *b* sont les clefs en questions. On voit qu'en les poussant ou en les retirant, le cintre s'abaisse ou s'élève. Pendant la construction de la voûte, la position de ses clefs et du cintre est maintenue fixe au moyen de cales ou de coins jumellés, chassés dans les crans des endents de l'assemblage.

Dans ces dernières années, on a fait usage avec succès, pour le décintrement des grandes arches de ponts :

1° Des sacs en forte toile bien cousue, remplis de sable fortement tassé, sur lesquels on faisait reposer le pied des cintres. Pour opérer le décintrement, on pratique une ouverture aux sacs et l'on en fait couler le sable plus ou moins lentement. Les cintres descendent ainsi sans secousse, et le décintrement s'opère avec une grande facilité et avec toute la sécurité désirable.

2° De verins, composés de doubles vis à tête carrée et à pas inverse, s'engageant dans un écrou unique, de telle sorte qu'en tournant l'écrou dans un sens ou dans l'autre, les deux vis entrent ou sortent d'une égale quantité.

On peut aussi, par ce procédé, régler le décintrement avec une grande exactitude.

On décintre parfois les voûtes aussitôt après la pose de la clef ; mais on préfère généralement attendre quelques jours, pour donner au mortier interposé dans les joints, le temps de faire prise. Le tassement est alors moins fort.

255. Outils du maçon appareilleur. — Les outils du maçon appareilleur, autres que ceux qui servent à la taille, au transport et au levage des pierres, lesquels ont été précédemment décrits, sont les mêmes que ceux du maçon, dont la nomenclature et la description succincte seront données plus loin.

ARTICLE II.

ART DU MAÇON.

256. Tandis que le maçon appareilleur exécute ses constructions avec des blocs de pierre de grandes dimensions et régulièrement taillées, le maçon exécute les siennes avec des matériaux plus petits et plus maniables, quelquefois de forme très-irrégulière.

L'art du maçon n'est donc, si l'on peut s'exprimer ainsi, qu'un diminutif de l'art de l'appareilleur.

L'on a vu, par ce qui précède, que le poids et la régularité des pierres employées dans les maçonneries d'appareil suffisaient pour leur donner une solidité presque totalement indépendante de l'adhérence du mortier interposé. Dans les maçonneries ordinaires, il n'en est pas ainsi, et c'est, au contraire, de la bonne qualité de cette matière que dépend, en grande partie, la bonté de la construction.

Quelques détails sur la fabrication des mortiers sont donc nécessaires, avant d'aborder ceux relatifs aux divers genres de maçonnerie en petits matériaux.

DES MORTIERS.

I. — NOTIONS PRÉLIMINAIRES.

257. Conditions auxquelles doivent satisfaire les mortiers en général. — Les mortiers se fabriquent au moyen d'ingrédients de diverses natures, suivant que les maçonneries doivent être exposées aux températures ordinaires ou à une chaleur plus ou moins intense, ou bien elles sont soumises à l'action de l'air ou de l'eau ; mais en général ils doivent satisfaire aux conditions suivantes :

1° Avoir la consistance d'une pâte suffisamment molle pour permettre aux pierres qu'on y superpose de se former, par leur propre poids ou au moyen d'une légère pression, un lit convenable et de prendre ainsi une bonne assiette, malgré les irrégularités des plans de joint.

2° Être susceptibles d'acquérir, peu de temps après leur emploi, et dans les circonstances où se trouve placée la maçonnerie, une dureté comparable à celle des pierres, et de contracter en même temps avec elles, un degré d'adhérence capable de les réunir fortement, et de former ainsi un tout presque aussi solide qu'une masse homogène.

3° Enfin, conserver ces propriétés de pureté et d'adhérence pendant un temps indéfini.

258. Espèces diverses de mortiers. — On peut réduire à trois espèces principales les mortiers dont on fait l'usage de nos jours : les mortiers d'argile, les mortiers de plâtre et les mortiers de chaux.

259. Mortiers d'argile. — L'argile réduite, par le gâchage avec de l'eau, à consistance de pâte, est susceptible de satisfaire, en toutes circonstances, à la première des conditions ci-dessus ; mais elle ne peut satisfaire aux deux autres que dans le cas où elle est, après son emploi, soumise à une chaleur intense. Dans ce dernier cas, elle se transforme en une véritable pierre artificielle, qui acquiert toute la solidité des pierres qu'elle relie, si l'on a pris soin de bien la choisir et de bien la travailler. Dans le cas contraire, elle ne prend qu'un degré de durcissement peu considérable, et peut toujours être ramollie par l'action de l'eau, ou même de l'air humide; elle ne peut donc former, alors, qu'un mortier très-médiocre.

Sauf les cas de constructions grossières et provisoires, les mortiers de cette espèce

ne doivent être employés qu'à la construction de fours, de fourneaux ou d'appareils dans lesquels la chaleur est assez forte pour opérer la cuisson de l'argile. Dans ce dernier cas, les autres sortes de mortiers présenteraient l'inconvénient de se fondre, et de provoquer la fusion des pierres adjacentes, ce qui constituerait une cause de destruction fort active.

Les seules précautions qu'il faille prendre pour faire un mortier d'argile, c'est de démêler parfaitement la matière, de la battre avec de l'eau jusqu'à consistance d'une pâte liante et bien homogène, et de la débarrasser avec soin des pierrailles qu'elle contient.

Il est inutile, du reste, de faire observer qu'il faut choisir une argile d'autant plus réfractaire que la chaleur à laquelle elle doit pouvoir résister est plus intense.

260. Mortiers de plâtre. — Le plâtre gâché avec une certaine quantité d'eau se réduit en une pâte liante, qui a la propriété d'acquérir, très-peu de temps après son gâchage, une dureté assez considérable et de contracter une grande adhérence aux matières qu'elle enveloppe. Le plâtre réunirait donc tous les qualités requises d'un bon mortier, s'il n'avait l'inconvénient de se détériorer très-rapidement, surtout dans l'eau ou dans l'air humide, et de perdre bientôt toutes ses qualités ferrumentaires. Le plâtre présente encore un autre inconvénient fort grave. C'est qu'il augmente de volume en vieillissant, et par là il occasionne, dans les constructions où il a été employé comme mortier, des déformations qui peuvent devenir très-dangereuses et qui sont toujours désagréables à l'œil.

Malgré ces inconvénients, le plâtre est néanmoins fort employé par les maçons dans les localités où il est commun. A Paris, par exemple, on en fait, pour ainsi dire, un usage exclusif pour les constructions particulières ; mais l'état de délabrement d'une immense quantité de maisons de cette capitale est un frappant exemple des inconvénients inhérents à son emploi.

La fabrication du mortier de plâtre n'offre aucune difficulté. Il suffit de réduire la matière en poudre fine, de la gâcher ensuite avec de l'eau, jusqu'à ce que l'on ait obtenu une pâte homogène et plus ou moins fluide.

Le plâtre employé pour les ouvrages de maçonnerie doit être *gâché serré ;* c'est-à-dire avec peu d'eau ; mais comme il se prend, alors, avec une grande rapidité et n'est ensuite, plus bon à rien (1), on doit avoir la précaution de n'en gâcher qu'au fur et à mesure des besoins.

261. Mortiers de chaux. — Les mortiers dont l'usage est le plus répandu et qui satisfont le mieux aux conditions précédemment énumérées, sont ceux à base de chaux.

Leur fabrication exige des soins et des connaissances théoriques dont nous allons présenter le résumé.

262. Propriétés principales de la chaux. — La chaux, telle qu'elle sort du four, est dite *chaux vive*. L'on sait que, si l'on verse de l'eau sur de la chaux vive, elle

(1) On pourrait toutefois le rendre susceptible d'emploi en le cuisant de nouveau, mais ce serait une opération coûteuse et qu'on doit, par cela même, éviter.

est rapidement absorbée, qu'en même temps la chaux s'échauffe, se gonfle, se fendille, se délite et tombe finalement en poudre sèche et fine ; que si, dans cet état de choses, on ajoute une nouvelle quantité d'eau, ce liquide est de nouveau absorbé, avec un sifflement semblable à celui que produit un fer rouge que l'on plonge dans l'eau, et qu'il y a en même temps dégagement d'abondantes vapeurs, d'une chaleur suffisamment intense pour enflammer la poudre à canon, et même production de lumière si l'on opère dans l'obscurité.

Lorsque ces phénomènes ont cessé, par suite d'une addition suffisante de liquide, la chaux a perdu sa causticité ; c'est-à-dire que, mise sur la langue, elle n'y produit plus cette chaleur âcre et brûlante qui caractérise la chaux vive. Elle prend alors le nom de *chaux éteinte*, *chaux hydratée*.

Les mêmes phénomènes se produisent également, mais d'une manière beaucoup plus lente, par une exposition dans l'air humide.

Si à de la chaux éteinte on ajoute une nouvelle quantité d'eau, elle se réduit en une bouillie plus ou moins épaisse, et finalement, si l'on continue à y verser de ce liquide, la bouillie s'allonge au point de devenir bientôt une eau blanche, connue sous le nom de *lait de chaux*.

Le lait de chaux, abandonné à lui-même, laisse déposer les particules de chaux qu'il tient en suspension. Lorsque ce dépôt est entièrement achevé, il est recouvert d'une eau surnageante limpide, d'une saveur alcaline, verdissant les couleurs bleues végétales, qui n'est rien autre chose qu'une dissolution de chaux. Cette dissolution porte vulgairement le nom d'*eau de chaux*.

Placée dans l'air atmosphérique, l'eau de chaux se recouvre rapidement d'une pellicule solide et glacée, extrêmement mince, de carbonate de chaux. Si l'on enlève cette pellicule, elle se trouve bientôt remplacée par une autre, et cette expérience peut se répéter jusqu'à ce que l'eau soit entièrement dépouillée de la chaux en dissolution. Ce phénomène remarquable, qui sert, comme nous le verrons plus tard, à expliquer la solidification de certains mortiers de chaux, est dû à l'absorption de l'acide carbonique de l'air, qui reconstitue ainsi un carbonate calcaire cristallin. Cette révivification du carbonate a également lieu, mais beaucoup plus lentement, dans les bouillies et les poudres de chaux.

Tous les phénomènes d'extinction que nous venons de rappeler ne se produisent pas également avec toutes les chaux que l'on obtient par la cuisson des carbonates calcaires. Ils n'ont réellement lieu, ainsi que nous venons de le dire, qu'avec de la chaux parfaitement pure, telle que celle provenant du marbre blanc ou de calcaires qui ne contiennent que de la chaux, de l'acide carbonique, de l'eau ou d'autres substances susceptibles d'être détruites par la calcination. Avec des chaux plus ou moins impures, ces phénomènes ne se produisent souvent qu'en partie, et même semblent quelquefois ne pas avoir lieu du tout. Nous spécifierons davantage ces différents cas dans ce qui va suivre :

263. Classification des chaux. — Les chaux obtenues par la cuisson des carbonates calcaires sont rarement pures ; elles sont souvent mélangées de silice, de magnésie, de fer ou d'argile, qui en modifient plus ou moins la qualité et les propriétés.

Les chaux pures ou presque pures sont les seules qui se comportent à l'extinction, ainsi que nous l'avons dit plus haut. Réduites à consistance de pâte ferme et exposées ensuite au contact de l'air, elles y acquièrent, à la longue, une dureté comparable à celle d'une pierre; mais plongées dans l'eau ou enterrées dans un lieu humide, elles y restent éternellement à l'état de pâte, et si l'eau est courante, elles y sont entièrement délayées et entraînées.

Les chaux plus ou moins souillées de silice, d'argile ou de magnésie, de fer, etc., se conduisent différemment. Elles sont d'abord plus difficiles à éteindre, s'échauffent moins, foisonnent moins, et quelquefois demandent à être réduites en poudre par des moyens mécaniques, pour être amenées à l'état de pâte, par une addition d'eau.

Dans cet état, si on les soumet à l'action de l'air, elles y durcissent de la même manière que les précédentes, et si on les plonge dans l'eau, tantôt elles y prennent, au bout d'un temps variable, une dureté plus ou moins considérable, et tantôt elles s'y comportent absolument comme les chaux pures, c'est-à-dire qu'elles n'y durcissent jamais.

Les propriétés caractéristiques de durcissement dans l'air et dans l'eau, que nous venons de signaler, ont d'abord fait diviser les chaux en deux grandes classes, désignées sous les noms de:

Chaux aériennes ou communes ;

Chaux hydrauliques.

L'on a établi ensuite dans chacune d'elles les subdivisions suivantes :

Chaux aériennes. — Parmi les chaux *aériennes* on distingue :

1° Les chaux *grasses*: toutes les chaux parfaitement pures ; caractère qui peut se reconnaître à ce qu'elles absorbent 3 $\frac{1}{4}$ à 3 $\frac{1}{2}$ fois leur poids d'eau et à ce qu'elles augmentent 3 $\frac{1}{2}$ fois leur volume primitif, par l'extinction pratiquée, ainsi que nous l'avons décrite (262). Après plusieurs années d'immersion, la consistance de ces chaux est encore la même qu'au premier jour. Elles se dissolvent, jusqu'à la dernière parcelle, dans une eau pure fréquemment renouvelée.

Raucourt de Charleville range aussi parmi les chaux grasses, des chaux légèrement souillées de matières étrangères, qui n'absorbent que 3 à 2 $\frac{3}{4}$ fois leur poids d'eau, qui n'augmentent que de 3,36 à 3,15 en volume par l'extinction, et qui se conduisent d'ailleurs sous l'eau exactement comme les chaux pures.

2° Les chaux *moyennes* : Raucourt range dans cette catégorie les chaux souillées de matières étrangères dans la proportion de $\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{3}$ en poids. Ces sortes de chaux n'absorbent que de 2 $\frac{1}{2}$ à 1 $\frac{1}{4}$ d'eau par l'extinction et ne rendent en volume que 3 à 2, 33 pour 1. Comme les précédentes, elles ne durcissent jamais sous l'eau.

3° Les chaux *maigres* : suivant le même auteur, on doit comprendre, dans la catégorie des chaux maigres, celles qui contiennent de $\frac{2}{5}$ à $\frac{1}{2}$ de leur poids de substances étrangères, qui absorbent seulement de 2 à 1 $\frac{1}{4}$ de leur poids d'eau par l'extinction, qui ne rendent que de 2,25 à 1,50 pour 1, et qui, comme les précédentes, ne durcissent jamais sous l'eau.

Chaux hydrauliques. — Les chaux hydrauliques ont été classées d'après la rapidité avec laquelle elles font prise sous l'eau.

On dit que la chaux a fait prise quand, éteinte à la manière ordinaire et immergée, sans mélange, à l'état de pâte forte, elle peut supporter, sans dépression sensible, une aiguille à tricoter de $0^m,0012$ de diamètre, limée carrément à son extrémité et chargée d'un poids de $0^k,30$ ($0^k,265$ par millimètre carré). En cet état, la chaux résiste au doigt pressé avec la force moyenne du bras ; elle ne peut changer de forme sans se briser.

On place ordinairement la chaux que l'on veut essayer, dans un verre ou dans un vase en faïence, où l'on a soin de la tasser, en frappant quelques petits coups avec le plat de la main sur le fond du vase.

On distingue parmi les chaux hydrauliques :

1° Les chaux *faiblement hydrauliques*, confondues quelquefois avec les chaux grasses, à cause de leur grand foisonnement. Suivant Raucourt de Charleville, ces chaux absorbent 3 à $2\frac{3}{4}$ fois leurs poids d'eau et rendent 3,36 à 3,15 pour 1 par l'extinction faite comme nous l'avons décrite. Elles prennent sous l'eau dans un intervalle qui varie de 2 à 6 mois.

2° Les chaux *moyennement hydrauliques* : ces chaux font prise après 15 ou 20 jours d'immersion ; elles absorbent de $2\frac{1}{4}$ à $2\frac{1}{2}$ fois leur poids d'eau et rendent de 2,33 à 3 pour 1 de chaux en pâte, par l'extinction.

3° Les *chaux hydrauliques :* elles font prise après 6 à 8 jours d'immersion ; elles absorbent environ 2 fois leurs poids d'eau et rendent environ 2,25 de chaux en pâte pour 1 par l'extinction.

4° Les chaux *éminemment hydrauliques :* elles font prise du 2e au 4e jour d'immersion ; elles absorbent de $1\frac{1}{4}$ à $1\frac{1}{2}$ leurs poids d'eau et rendent par l'extinction 1,50 à 2 de chaux en pâte pour 1 de chaux vive.

5° Les *chaux limites* : ces chaux, suivant M. Vicat, proviennent de calcaires parfaitement cuits et ne s'éteignent pas sous l'eau ; mais, réduites en poudre fine et manipulées avec une petite quantité d'eau, elle font prise très-rapidement dans l'air ou sous l'eau. Ces propriétés caractérisent les matières désignées sous le nom de *ciments*, dont nous allons parler; mais ce qui distingue les chaux limites des ciments, c'est que tandis que ces derniers augmentent de dureté et de consistance avec le temps, les chaux limites perdent bientôt la cohésion qu'elles ont acquise instantanément et tombent en poussière par l'effet d'une extinction tardive.

6° Les *ciments* (ciment romain, ciment anglais, ciment Parker, ciments de Pouilly, de Vassy, d'Anvers) : ce sont des matières calcaires parfaitement cuites qui, réduites en poudre fine et gâchées avec une certaine quantité d'eau, font prise instantanément à la manière du plâtre. On les désigne d'ailleurs, suivant M. Vicat, sous les noms de *ciments limites inférieurs* ou de *ciments limites supérieurs*, selon la vitesse de prise qui les caractérise, et qui est telle, pour les ciments limites supérieurs, qu'on a à peine le temps de manipuler la matière.

7° Les *pouzzolanes* : ce sont des matières volcaniques formées principalement d'argile (silice et alumine) unie à un peu de chaux, de potasse, de soude ou de magnésie. Ces matières ne peuvent plus, comme les ciments, constituer, à elles seules, un mortier susceptible de faire prise, sous l'eau, dans un temps très-court ; mais, ré-

duites en poudre et mélangées avec de la chaux grasse en pâte, elles forment des mortiers qui durcissent du premier au vingtième jour, suivant la proportion qu'on en introduit dans le mélange et le degré d'énergie de la matière.

Quoique, à proprement parler, les pouzzolanes, et même les ciments limites supérieurs, soient plutôt des substances argileuses cuites que des chaux véritables, nous les avons rangées à la suite de celles-ci, parce qu'elles forment, comme on le verra plus loin, les derniers termes d'une série de mélanges de chaux et d'argile, jouissant de la qualité hydraulique à un plus ou moins haut degré, et qu'il est, en réalité, impossible de séparer.

264. Cause de l'hydraulicité de la chaux. — Pendant bien longtemps, on n'a possédé que des notions extrêmement vagues et obscures sur les causes de l'hydraulicité des chaux. Les uns, comme Guyton-Morveau, attribuaient la qualité hydraulique à la présence exclusive de l'oxyde de manganèse ; d'autres faisaient jouer le même rôle par l'alumine ; d'autres par la silice, l'oxyde de fer, etc., etc. C'est à M. Vicat que l'on doit les premières données certaines sur cet important objet ; nous allons les résumer en peu de mots. La silice combinée, l'argile et la magnésie sont les substances à la présence desquelles on doit attribuer les qualités hydrauliques de la chaux. La silice non combinée, ou à l'état sableux, les oxydes de fer et de manganèse, auxquels on avait anciennement attribué ce rôle, rendent simplement les chaux maigres, mais non hydrauliques.

Suivant M. Vicat :

DES CALCAIRES CONTENANT SUR 100 PARTIES		DONNENT DES CHAUX	COMPOSÉES DE	
CARBONATE de chaux.	ARGILE (silice et alumine).		CHAUX caustique.	ARGILE combinée.
89	11	Moyennement hydrauliques.	100	22
83	17	Hydrauliques.....	100	36
80	20	Eminemment hydrauliques.	100	44
77	23	Chaux limites.....	100	53
73	27	Ciments limites inférieurs..	100	63
64	36	— ordinaires.	100	100
39	61	— supérieurs.	100	273
16,40	83,60	Pouzzolanes.....	100	900 non combinée.

M. Raucourt, de Charleville, admet aussi les mêmes données ou à très-peu près ; mais, en outre, suivant lui, des calcaires contenant de 5 à 10 pour 100 d'argile, ou des chaux contenant 10 à 20 pour 100 de la même matière, sont faiblement hydrauliques.

Suivant des recherches récentes de M. Vicat, 40 ou 50 parties pour 100 de magné-

sie mélangée avec de la chaux pure (ou ne contenant que de très-petites quantités d'argile) donnent aussi des mélanges plus ou moins hydrauliques.

Enfin, l'analyse faite par M. Berthier, du calcaire marneux de Senonches (Eure-et-Loir), renommé par l'excellente chaux hydraulique qu'il fournit, et des expériences faites sur la silice en gelée, par MM. Vicat et John, indiquent que la silice seule, combinée avec la chaux, jouit aussi de la faculté de rendre la chaux hydraulique. Le calcaire de Senonches contient en effet :

Carbonate de chaux.....	800
Carbonate de magnésie.....	15
Silice.....	170
Alumine.....	10
Eau.....	10
	1,005

Ces données ne sont pourtant pas tout à fait exemptes d'exceptions et d'anomalies, qui ne s'expliquent pas toujours d'une manière satisfaisante, mais on peut les admettre en général.

Quant aux exceptions, on les attribue au mode de cuisson employé, au degré plus ou moins complet de calcination de la pierre, à la nature du combustible employé ; mais ce sont des points à l'égard desquels on n'est pas encore suffisamment éclairé pour assigner la juste part qui leur revient dans les faits observés (1).

265. Chaux hydrauliques, ciments artificiels. — Non-seulement la plupart des calcaires qui contiennent naturellement les doses d'argile, de silice ou de magnésie, indiqués ci-dessus, peuvent donner, par une cuisson complète, des chaux hydraulique ou des ciments ; mais on peut encore fabriquer des chaux de cette espèce en mélangeant artificiellement l'argile au *calcaire* ou à la *chaux* purs dans les proportions du tableau et en soumettant ensuite les mélanges à une cuisson bien ménagée.

On appelle *chaux hydrauliques et ciments artificiels* les chaux et les ciments obtenus de cette dernière manière ; leur invention est due à M. Vicat.

Quand on se sert de mélanges d'argile et de calcaire, le procédé de fabrication est dit à *simple cuisson* ; on le dit *à double cuisson* quand on fait usage de chaux obtenue par une cuisson préalable du calcaire.

266. Fabrication à simple cuisson. — Le premier procédé est particulièrement pratiqué en grand, à la fabrique de Meudon, près Paris, dont les produits ont été avantageusement employés aux fortifications de cette capitale.

Pour fabriquer la chaux hydraulique ou le ciment par ce procédé, on se sert de calcaires friables et tendres, facilement réductibles en poudre impalpable et en bouillie par addition d'eau ; de la craie ou des marnes, par exemple. On y incorpore de l'argile en proportions convenables.

---

(1) Un travail tout récent de M. Vicat, et qu'il vient de publier sous le titre de *Nouvelles Etudes sur les pouzzolanes artificielles*, jette cependant une vive lumière sur l'influence du degré de cuisson des pouzzolanes. Nous en rendrons compte en traitant de ces matières.

La machine dont on se sert, à Meudon, pour opérer la trituration et le mélange des matières, est composée de deux meules verticales, mises en mouvement par un manége, sur une meule horizontale formant le fond d'une auge circulaire d'environ 2 mètres de rayon. La craie et l'argile qu'on jette dans cette auge, dans la proportion de quatre mesures de craie et d'une mesure d'argile, sont constamment arrosées par un jet d'eau fourni par un robinet, et remuées par un système de râteaux qui suit le mouvement des meules verticales. Au bout d'une heure et demie de trituration, on obtient environ $1^{m3},50$ de bouillie claire, que l'on évacue par un orifice percé au fond du bassin.

La matière s'écoule dans une suite de fosses étagées qu'elle remplit successivement en débordant de chacunes d'elles, par le sommet d'un déversoir dont elles sont toutes munies. Les matières en suspension dans l'eau se déposent ainsi tranquillement jusqu'à la dernière parcelle, de telle façon que l'eau qui s'échappe du dernier déversoir est parfaitement claire.

Quand une première série de fosses est remplie, on y laisse durcir le dépôt jusqu'à consistance de pâte à faire les briques, et pendant ce temps-là on déverse les produits de la machine dans d'autres fosses, en tout semblables aux premières.

Quand la pâte a la consistance convenable, on la moule en prismes qui cubent environ $0^{m3},012$; on fait sécher ces prismes et on les soumet ensuite à la cuisson.

Le moulage des prismes s'effectue avec une grande rapidité ; un mouleur à la tâche en fait moyennement 5,000 par jour.

267. Fabrication à double cuisson. — Le second procédé est en tout point conforme au précédent ; toutefois, comme la chaux et l'argile peuvent sans trituration être amenées à l'état de bouillie claire, on peut se dispenser de l'emploi de la machine à broyer pour en opérer le mélange ; mais malgré cela, la nécessité de cuire deux fois la matière rend, en général, ce procédé plus dispendieux que le premier.

On voit au surplus que, quel que soit le procédé que l'on suive, on est maître, par des proportions convenablement établies, d'obtenir des chaux ou des ciments à tel degré d'hydraulicité que l'on veut.

268. Pouzzolanes factices. — On peut fabriquer des *pouzzolanes factices*, comme on fabrique des chaux hydrauliques et des ciments artificiels, en calcinant des mélanges convenablement dosés de chaux ou de calcaire et d'argile. Mais comme la nature offre très-abondamment des substances argilo-calcaires dont la composition se rapproche beaucoup de celle indiquée (264), on peut, dans la plupart des cas, se dispenser des mélanges dispendieux que nécessite la préparation des chaux hydrauliques.

Un grand nombre de schistes, d'arènes, d'argiles, de psammites, etc., soumis à une torréfaction convenable et réduits en poudre impalpable, donnent des pouzzolanes artificielles plus ou moins énergiques. La brique et le tuileau pilé (que bon nombre de constructeurs appellent encore improprement *ciment*), sont des pouzzolanes factices.

Le degré de cuisson ayant sur la qualité du produit une influence très prononcée, il est nécessaire de chercher à reconnaître, par une expérience préalable, celui qui convient le mieux dans chaque cas particulier.

L'expérience peut être faite de cette manière :

On construit un petit four en tronc de cône renversé, ayant environ $1^m,50$ de hauteur sur $0^m,80$ de diamètre en gueule. On place dans ce four des fragments de la matière à éprouver par couches, alternant avec des couches de charbon, comme pour la cuisson de la pierre calcaire ; on allume le feu, mais on l'éteint avant qu'il ait également atteint toute la fournée. On opère ensuite un triage pour classer les échantillons, suivant autant de subdivisions qu'on le juge convenable, et l'on a pour se guider dans cette classification, les nuances de couleur que la chaleur plus ou moins intense développe ordinairement. Prenant ensuite les poudres provenant des divers échantillons et les mélangeant dans des proportions déterminées avec une même chaux en pâte, on forme des mortiers qu'on immerge aussitôt et dont on apprécie le degré relatif d'hydraulicité comme on l'a dit (263). Une fois qu'on a reconnu, au moyen de ces essais, répétés plusieurs fois, afin d'éviter toute erreur, l'échantillon qui donne le résultat le plus favorable, on peut aisément, après quelques tâtonnements, fixer les proportions convenables de combustible, de manière à obtenir constamment, dans la cuisson en grand, la matière cuite à la même couleur ou au même degré de chaleur que cet échantillon.

D'après des expériences toutes récentes de M. Vicat (1), on pourrait se dispenser de ces tâtonnements. Il paraîtrait constant que le degré de cuisson qui donne aux pouzzolanes factices leur *maximum* d'énergie est celui que ce savant ingénieur désigne sous le nom de *cuisson normale*, c'est-à-dire la torréfaction de l'argile sèche, réduite en poudre, pendant 6 à 7 minutes, à une chaleur d'environ 600 à 700 degrés centigrades.

M. Vicat donne le dessin et la description d'un fourneau propre à réaliser en grand cette espèce de cuisson ; nous croyons utile de les reproduire ici l'un et l'autre.

« La *fig.* 281 représente la coupe verticale prise sur l'axe du canal de chauffe *mm*. « L'inclinaison de ce canal ne pourra être définitivement réglée que par l'expérience. « Il faudra reconnaître sous quelle pente une file de cylindres, chargés chacun de sa « dose d'argile et portés sur des rails, sera tenu en arrêt par le seul obstacle d'une « courte contre-pente, et avec cette condition qu'il soit possible de faire franchir cette « courte contre-pente au cylindre chef de file par une traction médiocre. On conçoit que « la solution de ce problème sera aussi simple par l'expérience qu'elle le serait peu « par le calcul.

« Les cylindres rouleront sur des rails en fonte, assez saillants pour que les cendres « emportées par le courant d'air chaud ne puissent les obstruer. La manœuvre ne pré- « sente aucune difficulté. La porte-vanne qui ferme le canal étant élevée, on attire le « cylindre *c* dans la chambre *xx* ; au même instant toute la file descend, et le cylin- « dre *c* se trouve remplacé par celui qui le précédait immédiatement. On ferme, on « décharge le cylindre parvenu en *b*, on le roule après jusqu'en *a*, d'où il est promp-

(1) *Nouvelles Études sur les pouzzolanes artificielles*, par Vicat, Paris, 1846.

« tement transporté en *e*, à l'entrée supérieure du canal. Là il est chargé et enfourné « avec la même promptitude. Ces diverses manœuvres peuvent s'effectuer en une « minute ou une minute et demie au plus.

« La fig. 282 représente le plan de raccordement du foyer avec le canal de chauffe « et la *fig.* 283 achève de faire comprendre comment l'air chaud arrive du foyer audit « canal.

« Bien que ces diverses parties du fourneau puissent être mesurées d'après l'échelle « de la planche XII, on conçoit que l'expérience pourra seule indiquer les vrais rap- « ports qui doivent coordonner ces diverses parties : la grille du foyer, par exemple, « devra être plus ou moins éloignée de l'entrée du canal de chauffe, selon que le com- « bustible employé donnera une flamme plus ou moins longue (1).

« La section totale de ce canal ne pourra être bien exactement déterminée que par « tâtonnement; les formules que donnent les traités spéciaux (2), relativement à l'écoule- « ment de l'air chaud, supposent qu'il a lieu dans des conduits cylindriques ou prisma- « tiques à section vide, mais ici les résultats seraient modifiés par les remous et dévia- « tions en divers sens, dus à l'obstacle formé par la file des cylindres; la partie libre « de la section de notre canal ne saurait donc se conclure théoriquement de l'étendue « de la grille focale et de la vitesse de consommation du combustible, vitesse d'où « dépend celle du courant d'air chaud. Nous ne saurions même décider *à priori* s'il « conviendra de maintenir l'égalité continue de cette section, telle qu'elle est figurée « sur les dessins de la planche, ou s'il deviendra nécessaire de l'agrandir de bas en haut, « afin de modérer d'une part les premiers effets de la haute température du foyer, et « d'en rendre, d'un autre côté, le décroissement moins rapide.

« Toutes ces questions seront résolues une fois pour toutes, et très-facilement par « quelques expériences *ad hoc*.

« Pour ce qui touche la durée de la cuisson, c'est-à-dire, le temps qu'il faudra don- « ner au cylindre pour parcourir toute la longueur du canal de chauffe, nous rappelle- « rons d'abord que la température du foyer sera d'environ 1300° et que nous ne devons « porter celle de l'argile qu'à 700° au plus. Cela étant, si nous fixons à deux minutes « l'intervalle compris entre deux des enfournements successifs, la variable du problème « ne portera plus que sur la longueur du canal, et, pour la déterminer, on aura deux « sortes de moyens, savoir : les moyens chimiques et les moyens physiques.

« Les moyens chimiques consisteront à s'assurer *à priori*, de la quantité d'alumine « que l'argile dont on dispose abandonne à l'acide hydrochlorique ou sulfurique, « quand elle a été cuite normalement dans un creuset. Or, la longueur du canal de « chauffe qui permettra à l'argile enfournée de se modifier chimiquement, de manière

---

(1) Avec le charbon, le coke ou l'anthracite, l'air brûlé atteint immédiatement sa plus haute température et se refroidit à mesure qu'il s'éloigne du combustible. Avec le bois et les houilles grasses, la combustion se continue au delà du combustible, et la température n'arrive à son maximum que vers la fin de cette combustion.

(2) *Traité de la chaleur*, par Péclet.

« à céder aux mêmes réactifs la même quantité d'alumine, sera celle qu'il faudra « adopter.

« Les moyens physiques seraient beaucoup plus simples, ils consisteraient à intro- « duire dans les cylindres qu'on aurait choisis pour régulateurs un alliage fusible à « environ 850° (1) ; la température convenable se trouvant au-dessous de cette limite, « on réglerait, une fois pour toutes, l'allure du fourneau, de manière à l'y maintenir. « Nous disions une fois pour toutes, parce que la consommation, par heure, du com- « bustible, et l'intervalle du temps entre les désenfournements étant invariablement « donnés, l'allure résulterait de la longueur conclue pour le canal, et cette longueur « une fois déterminée, il n'y aurait pas de raison pour que la cuisson cessât d'être à peu « près uniforme. On pourrait d'ailleurs répéter l'épreuve de temps à autre.

« Nous n'avons rien dit de l'emploi de l'air qui sort du canal de chauffe, à une tem- « pérature d'environ 300°. On l'appliquerait naturellement à la dessiccation de l'argile « humide telle qu'elle sort des fouilles, et à ce sujet il ne peut se présenter aucune dif- « ficulté sérieuse. Il n'y aura qu'à choisir, parmi les systèmes de séchoirs connus, « celui qui paraîtra convenir le mieux à l'objet qu'on a en vue, en dirigeant, par exem- « ple, l'air chaud sous l'argile en mottes, portée par des grilles et entourée d'une paroi « peu conductrice, comme la pierre calcaire dans un four à chaud à longue flamme, « et avec la faculté de retirer par le bas les mottes sèches au fur et à mesure, sans in- « terrompre la continuité du séchage. Cette dessiccation artificielle n'est, au surplus, « présentée ici que comme moyen auxiliaire ; il va sans dire que l'on profiterait, autant « que possible, de la belle saison et de la chaleur solaire pour s'approvisionner d'ar- « gile sèche, proportionnellement aux besoins prévus. »

269. Trituration des pouzzolanes, des argiles et des ciments. — Pour qu'une argile cuite puisse agir comme pouzzolane dans les mortiers, il faut qu'elle soit réduite en poudre impalpable, soit après, soit avant la cuisson. Les ciments doivent subir la même préparation pour être rendus susceptibles de faire pâte. On emploie pour cela divers moyens qui sont :

---

(1) La poudre d'argile ne prendra pas tout à fait la température du cylindre qui la contient. Si donc l'alliage métallique, dont la *non-fusion* doit servir de limite à cette température, pouvait rester continuellement suspendu dans cette poudre, il suffirait de le composer avec *cinquante parties de cuivre et soixante parties de plomb*. Mais comme il est probable que son poids le fera presque constamment descendre au contact de la fonte incandescente, il faudra employer *le cuivre et le plomb par parties égales*.

Telle est la proportion à laquelle le tâtonnement conduit, abstraction faite de toute mesure pyrométrique, c'est-à-dire qu'au point où cet alliage commence à se fondre sur la paroi chauffée plus fortement que ne le demande la cuisson de l'argile, l'argent mis en présence est encore éloigné du terme de sa fusion. (1000°.)

Quant à la limite inférieure de la température, elle peut, indépendamment des moyens chimiques ci-dessus indiqués, se régler sur la condition de dépasser franchement le rouge sombre.

On se procurera facilement l'alliage fusible, cuivre et plomb, chez un fondeur; on le fera couler en forme de baguettes de 7 à 8 millimètres de grosseur, sur une longueur indéfinie, et on en tirera au besoin des bouts ou fragments pour essais. Il est sous-entendu que le cuivre et le plomb employés doivent être très-purs.

1° Le pilonnage à la main ;

2° La trituration par la meule verticale ;

3° La pulvérisation au moyen de moulins semblables à ceux qui servent à moudre le café et le grain.

Dans tous les cas, les matières pulvérisées doivent être passées par un tamis suffisamment fin.

Nous avons réuni, dans le tableau ci-dessous, quelques indications, fournies par M. Vicat (1), qui permettront d'apprécier la bonté relative des divers procédés indiqués ci-dessus, et la quantité de poudre que l'on peut en retirer par journée de 10 heures de travail.

INDICATION des travaux ou des lieux ou les expériences ont été faites.	QUANTITÉ DE POUDRE obtenue en une journée de 10 h. de travail au moyen				QUANTITÉ de poudre passée au tamis en une journée de 10 heures.	PRIX de revient.	OBSERVATIONS.
	du pilonnage à bras.	de la meule verticale.	du moulin à café.	du moulin à farine.			
Port de Souillac.	$0^{m3},10$	»	»	»	»	fr. c. 90,0	Briques de dureté moyenne.
Argentat.....	$0^{m3},75$	»	»	»	»	0,966	Les briques étaient présumablement beaucoup plus tendres.
Pointe de Grave.	»	$1^{m3},91$	»	»	$1^{m3},58$	3,87	L'expérience a été faite sur une argile cuite tenant moitié sable ; l'appareil était mû par un cheval ; le tamisage se faisait à la main par des hommes payés à la journée.
Canal latéral de la Garonne à Agen.....	»	$3^{m3},33$	»	»	$1^{m3},66$	2,70	Pouzzolane artificielle très-friable ; l'appareil était mû par un cheval ; le tamisage s'effectuait comme ci-dessus.
Travaux de la Marne.....	»	»	4^{m3} à 5^{m3}	»	2^{m3} à $2^{m3},50$	2,00	L'argile cuite avait à peu près la ténacité de la brique ; moteur et tamisage comme ci-dessus.
Idem.....	»	»	4^{m3}	»	$2^{m3},00$	2,25	Argile crue, desséchée à une température de moins de 100°.
Paris.....	»	»	3^{m3}	»	$2^{m3},00$	2,66	Argile crue bien sèche ; moteur et tamisage comme ci-dessus.
»	»	»	»	7^{m3}	»	»	Ciment ; la poudre n'a pas une très-grande finesse ; on a opéré avec une meule de 1m,72 de diamètre, pesant 1800 k., animée d'une vitesse de 70 à 80 tours par minute.
»	»	»	»	12^{m3}	»	1,74	Argile crue très-douce, légèrement ocreuse et préalablement desséchée dans un four à cuire le pain, à une température d'environ 250° ; on a employé la même machine que pour l'expérience précédente.

(1) Ouvrage cité.

270. Essai et analyse des calcaires. — L'essai et l'analyse des matières calcaires pouvant fournir des indications utiles sur la nature des produits qu'on peut en obtenir par la cuisson, nous allons indiquer comment on procède à ses opérations.

Essai des calcaires. — L'essai consiste à dissoudre 3 ou 4 grammes de calcaire dans de l'acide azotique ou chlorhydrique étendu ; s'il ne reste qu'un dépôt nul ou faible d'argile, la chaux qui en proviendra sera grasse ; s'il est abondant ou très-abondant, le résultat de la cuisson sera de la chaux hydraulique ou du ciment ; si le dépôt est très-sableux, la chaux sera maigre et non hydraulique ; s'il est gélatineux et abondant, la chaux sera hydraulique ; enfin si le calcaire se dissout lentement avec effervescence (ce qui indique que l'on a affaire à un calcaire magnésien), il suffira d'un dépôt assez peu volumineux d'argile (5 à 7 p. 100) pour que le résultat de la cuisson soit déjà de la chaux très-hydraulique.

Analyse des calcaires. — L'analyse se fait, suivant M. Berthier, de la manière suivante.

On réduit en poudre le calcaire à essayer, et l'on passe la poussière au tamis de soie. On met 10 grammes de cette poussière dans une capsule et l'on verse dessus, peu à peu, de l'acide chlorhydrique étendu (à défaut de cet acide, on peut employer de l'acide azotique ou du fort vinaigre), en agitant continuellement avec une baguette de verre ou de bois. On cesse d'ajouter de l'acide lorsqu'il ne se fait plus d'effervescence. Alors on évapore la dissolution à une douce chaleur, jusqu'à ce que le tout soit réduit à l'état pâteux ; on délaye la matière dans environ un demi-litre d'eau, et on la filtre. L'argile reste sur filtre ; on fait sécher cette substance au soleil ou devant le feu, ou, ce qui vaut mieux, on la calcine au rouge, et on la pèse. Le liquide qui a passé au travers du filtre est ensuite repris et examiné ; on y verse de l'eau de chaux bien limpide tant qu'il s'y forme un précipité ; on recueille le plus promptement possible ce précipité, qui est de la magnésie (quelquefois mêlée de fer et de maganèse), sur un filtre ; on le lave avec de l'eau pure, on le dessèche le plus fortement que l'on peut, enfin on en prend le poids.

Le poids de l'argile et celui de la magnésie, comparés à celui de la substance dissoute, indiquent approximativement le rang que cette substance doit occuper parmi les calcaires à chaux hydraulique ou à ciment. Il est à remarquer, comme précédemment, qu'au lieu d'argile il pourrait fort bien ne rester qu'un sable très-fin après la première opération, ou bien un mélange de sable fin et d'argile, ou bien enfin un dépôt de silice gélatineuse : dans le premier cas, la pierre essayée ne serait propre qu'à fournir de la chaux maigre ; dans le second, il faudrait séparer le sable de l'argile par lavages et décantations et évaluer séparément le poids de l'un et de l'autre ; dans le troisième, enfin, la chaux sera hydraulique si le dépôt est de 15 à 20 pour 100 du poids de la matière employée.

II. — FABRICATION DES MORTIERS DE CHAUX.

271. On a vu, d'après ce qui précède, que les ciments, réduits en poudre et gâchés avec de l'eau, pouvaient à eux seuls former des mortiers susceptibles de prendre tout

aussi bien dans l'air que dans l'eau ; que les pouzzolanes mélangées avec des chaux grasses donnent des résultats analogues, que les chaux éteintes et réduites à l'état de pâte pouvaient aussi former des mortiers susceptibles de prendre à l'air ou dans l'eau, selon qu'elles jouissent ou non des qualités hydrauliques.

Il est assez rare, cependant, que les mortiers soient constitués d'une manière aussi simple ; le plus souvent on les compose au moyen de mélanges en diverses proportions des matières ci-dessus énumérées, et d'autres substances qui, ne jouissant d'aucune action sur la chaux ou sur les ciments, sont appelées *inertes*.

La plupart des sables sont des matières inertes.

On conçoit qu'au moyen de ces mélanges on peut former des mortiers à tous les degrés d'hydraulicité, ou bien faire un mortier hydraulique d'une énergie déterminée, de mille façons différentes.

Cependant, il paraîtrait qu'il n'est pas tout à fait indifférent de les composer, dans ce dernier cas, de telle manière qu'on le veut ; et qu'il est certaines circonstances où il n'y a qu'un petit nombre de combinaisons susceptibles de fournir de bons résultats. Ceci sera éclairci par la suite.

La fabrication des mortiers se compose de plusieurs opérations que nous allons actuellement décrire.

272. Extinction de la chaux. — L'extinction de la chaux peut se faire de plusieurs manières.

Extinction ordinaire.—On place dans un bassin de bois une certaine quantité de chaux vive en pierre, et au moyen d'addition d'eau, on la réduit en bouillie épaisse. On fait ensuite couler cette bouillie dans un trou pratiqué dans le sol, où elle s'épaissit bientôt à consistance de pâte. Lorsque la chaux n'est pas hydraulique, on peut la conserver indéfiniment en cet état, en ayant soin de la recouvrir de sable.

La *fig.* 287, *pl.* XIII, représente les dispositions le plus communément adoptées pour procéder à cette opération.

A. Auge en bois dans laquelle on place la chaux à éteindre.

B. Orifice grillé, bouché par une vanne, par lequel on fait écouler la bouillie. Les barreaux de la grille doivent être suffisamment rapprochés pour retenir dans l'auge les pierrailles et les grumeaux de chaux non éteints.

C. Fosse dans laquelle on coule la bouillie.

Souvent, pour faciliter cette dernière opération, l'auge est établie sur un système de tasseaux de bois, disposés de manière qu'on puisse la faire légèrement basculer de l'arrière vers l'avant.

Lorsqu'on éteint la chaux par ce procédé, il faut avoir la précaution de ne pas la noyer dans trop d'eau, mais seulement d'en employer assez pour la réduire totalement en bouillie. Une surabondance de liquide paraît, en effet, être nuisible aux qualités de la chaux éteinte.

On peut, assez bien, au moyen d'un essai en petit, estimer quelle est la quantité d'eau nécessaire pour cette opération : on prend un petit morceau de chaux bien vive et on le place dans un gobelet de verre. On verse ensuite sur ce morceau de chaux un peu plus d'eau qu'il n'est nécessaire pour l'éteindre complétement ; puis on laisse dé-

poser, jusqu'à ce qu'il ne reste plus au-dessus de la chaux éteinte que de l'eau limpide ; on décante cette eau limpide, et en pesant ensuite la chaux restée au fond du vase, on trouvera, par la différence de son poids actuel avec son poids primitif, quelle a été la quantité d'eau absorbée.

Une autre précaution qui n'est pas moins importante, c'est de faire en sorte que tous les morceaux de chaux qu'on éteint soient en contact avec assez d'eau pour ne pas *fuser à sec*. Dans ce cas, la chaux ne s'éteint qu'imparfaitement et reste en grumeaux plus ou moins gros, qu'il est fort difficile de réduire ensuite. On s'en assure facilement en enfonçant un bâton dans les parties douteuses. Si le bâton, lorsqu'on le retire, est entouré de chaux pâteuse et gluante, c'est un signe que l'opération marche bien ; si, au contraire, il est entouré d'une poussière sèche, et si, du trou qu'il a formé, il s'échappe des vapeurs brûlantes et abondantes, c'est un signe qu'en cet endroit la chaux fuse à sec, et il faut de suite y conduire de l'eau en pratiquant des rigoles convenables avec le bout du même bâton.

Cette opération se fait très-rarement par les maçons, avec tous les soins que nous venons d'indiquer : mais il est à observer qu'en Belgique il est fort rare que l'on éteigne par ce procédé la chaux destinée à la fabrication des mortiers de maçonnerie. On ne l'emploie guère que pour la fabrication du *blanc-en-bourre* et des mortiers dont se servent les plafonneurs ; et dans ce cas l'emploi d'une grande quantité d'eau présente des avantages qui compensent les inconvénients signalés plus haut.

Assez souvent, les maçons emploient un mode d'extinction qui se rapproche beaucoup du précédent, mais qui est fort grossier : ils forment d'abord une diguette circulaire, au moyen du sable qui doit entrer dans la composition du mortier ; dans l'espace circonscrit par cette diguette, ils placent la chaux à éteindre et ils y ajoutent de l'eau jusqu'à ce qu'elle soit réduite à l'état d'une bouillie suffisamment liquide ; alors ils mélangent le sable avec la chaux et ils forment ainsi un mortier grossier qu'ils laissent reposer pendant plusieurs jours et qu'ils rebattent ensuite au moment de l'emploi.

Cette méthode n'est pas tolérée dans les travaux du génie militaire ni des ponts et chaussées ; elle paraît peu recommandable.

Le rendage ou le foisonnement des chaux par cette méthode d'extinction est à peu près tel qu'il suit :

Les chaux grasses éteintes en bouillie très-épaisse donnent de 2 à 3 volumes pour un.

Les chaux maigres, la plupart des chaux hydrauliques et toutes les chaux éminemment hydrauliques ne rendent, dans les mêmes circonstances, que 1 à $1\frac{1}{4}$ ou à $1\frac{1}{2}$ tout au plus.

Extinction par immersion. — On place la chaux, fragmentée en petits morceaux, dans des paniers d'osier ; on plonge ensuite ces paniers dans l'eau, on les y laisse séjourner pendant quelques secondes et on les retire ; au bout de peu de temps, la chaux se réduit en poudre. Quand on opère avec des chaux très-grasses, il faut prendre la précaution d'enfermer le contenu des paniers dans des futailles ou des caisses immédiatement au sortir de l'eau ; sans cela la chaux se divise seulement en grumeaux qu'il est très-difficile de réduire ensuite.

Ce procédé est dû à M. Lafaye, qui lui attribuait de merveilleux effets ; mais quoiqu'il offre des avantages dans certaines circonstances, il est rarement employé; on lui substitue souvent, en Belgique du moins, le suivant, qui est tout aussi bon et plus commode.

Extinction par aspersion. — La chaux, disposée en tas plus ou moins volumineux, est arrosée au moyen d'un arrosoir ordinaire et réduite ainsi en poudre ; quelquefois, et cela vaut mieux, on en forme de petits tas d'environ un quart de mètre cube (appelés *mottes*) qu'on recouvre de sable, et on les arrose de la même manière. Si l'on a soin de boucher avec du sable les fissures qui se forment à la surface des mottes, par suite du gonflement de la chaux, et de s'opposer ainsi à l'échappement de la vapeur, on obtient une chaux parfaitement éteinte et réduite en poudre très-fine.

Le rendage des chaux éteintes par l'un des deux procédés décrits en dernier lieu est: pour les chaux grasses, de 1,50 à 1,70 pour 1; pour les chaux hydrauliques, de 1,80 à 2,18 pour 1. Les matières étant mesurées en poudre, avant comme après l'extinction.

Extinction spontanée. — Si on laisse de la chaux vive exposée pendant longtemps à l'air humide, elle s'éteint spontanément et tombe en poussière. Longtemps on a cru, et beaucoup de constructeurs croient encore que la chaux éteinte spontanément a perdu toutes ses qualités ; mais il paraîtrait, d'après quelques expériences de M. Vicat, qu'il n'en est pas toujours ainsi et que dans quelques cas l'extinction spontanée offre des avantages. Ce mode d'extinction est pourtant fort peu usité.

Les chaux éteintes par ce procédé rendent, savoir :

Les chaux grasses, jusqu'à 3,52 pour 1.

Les chaux hydrauliques, de 1,75 à 2,55 pour un. (Les matières étant mesurées en poudre avant comme après l'extinction.)

273. Convenance des divers modes d'extinction. — Chacune de ses méthodes a été tour à tour très vivement critiquée et prônée. M. Lafaye, entre autres, croyait avoir retrouvé, au moyen de son procédé d'extinction, le secret de fabrication des Romains. MM. Vicat et Raucourt de Charleville, attribuent à l'extinction spontanée d'excellents effets sur les chaux grasses, auxquelles elle communiquerait des propriétés hydrauliques ; mais d'autres constructeurs, et M. Treussart de ce nombre, tout en ne contestant pas son efficacité sous ce rapport, pensent que l'extinction spontanée est rarement assez complète pour qu'on n'ait pas à craindre une extinction tardive qui désagrégerait les mortiers aussi bien dans l'air que dans l'eau.

En résumé, il paraît plus prudent de s'en tenir provisoirement au mode d'extinction par aspersion, dont on s'est bien trouvé, en général, jusqu'à présent.

Toutefois, afin de ne rien omettre d'intéressant, nous consignerons ici l'opinion de M. Vicat à cet égard.

Suivant ce savant ingénieur, l'ordre de prééminence des diverses méthodes d'extinction doit être réglé ainsi qu'il suit :

1° Pour les chaux grasses et les chaux moyennement hydrauliques :

Extinction spontanée ;

Extinction par immersion ;

— ordinaire.

2° Pour les chaux hydrauliques ou éminemment hydrauliques :

Extinction ordinaire ;

— par immersion ;

— spontanée.

On voit d'après cela, que l'extinction par immersion ou par aspersion, qui revient au même, peut être considérée, même suivant M. Vicat, comme moyennement bonne, *pour toutes les chaux possibles*.

274. Passage au crible de la chaux éteinte. — Lorsque la chaux a été éteinte et réduite en poudre par l'un des trois derniers procédés d'extinction, elle doit, avant d'être réduite en mortier, être passée au crible ou à la claie, pour en séparer les pierrailles et les grumeaux trop volumineux. Les cribles les plus employés consistent en un châssis rectangulaire en bois, de 1 mètre à 1m,20 de largeur sur 1m,50 à 2 mètres de hauteur, portant un treillis de fil de fer dont les mailles ont environ 1 $\frac{1}{2}$ centimètre d'ouverture. On les place dans une position inclinée à 45° (*fig.* 288) et l'on jette dessus la chaux éteinte ; les parties fines passent au travers du treillis, les autres viennent rouler au pied du cadre.

275. Choix des sables et des pouzzolanes. — Les sables sont, en général, des matières tout à fait inertes qui paraissent ne remplir d'autre rôle, dans les mortiers, que de diviser la chaux, de rendre ainsi les mortiers plus poreux, et de faciliter les réactions de l'acide carbonique ou de l'eau auxquels on doit attribuer, selon toute apparence, leur solidification. On doit donc, en général, les choisir d'une grosseur moyenne ; car trop gros, ils ne divisent pas suffisamment la chaux, et trop fins, ils ne rendent pas le mortier assez poreux.

Cependant, d'après les expériences de MM. Vicat et Treussart, il paraîtrait que le sable de grosseur moyenne ne serait pas toujours le meilleur, avec toutes les espèces de chaux; suivant eux, voici leur ordre de prééminence :

1° Avec les chaux éminemment ou simplement hydrauliques : 1. sables fins ; 2. sables à grains inégaux (arènes) ; 3. gros sables (graviers).

2° Avec les chaux moyennement hydrauliques : 1. sables à grains inégaux ; 2. sables fins ; 3. gros sables.

3° Avec les chaux grasses : 1. gros sables ; 2. arènes ; 3. sables fins.

On recommande, en général, d'employer des sables très-purs. M. Treussart a trouvé que l'emploi d'un sable lavé donnait au mortier une résistance double de celle qu'il avait quand on faisait usage du même sable non lavé.

Cependant, il paraîtrait encore que certains sables argileux ou arènes jouiraient de propriétés hydrauliques qui ne sont pas à dédaigner.

On voit donc que, si l'on peut disposer de plusieurs sortes de sables, on fera bien de les soumettre à des essais comparatifs avant de se décider pour l'un ou pour l'autre ; leurs caractères extérieurs ne pouvant donner que des indications très-vagues.

Le sable de mer, qui se présente sous tous les degrés de grosseur et de finesse, ne

doit être employé qu'avec beaucoup de circonspections, à cause des sels déliquescents qu'il contient.

Les pouzzolanes offrent des qualités très-variables ; les unes ont une action très-marquée sur les chaux, les autres n'en ont qu'une très-faible.

On les divise en pouzzolanes peu énergiques, énergiques et très-énergiques.

Une pouzzolane est *peu énergique* lorsqu'en la mélangeant avec de la chaux grasse, dans la proportion la plus favorable, on obtient un mortier qui fait prise au bout de 10 à 20 jours.

Elle est *énergique* lorsque la prise du mortier a lieu du quatrième au huitième jour.

Enfin elle est *très-énergique* quand le mortier fait prise du premier au troisième jour.

Suivant M. Vicat, on peut apprécier approximativement l'énergie d'une pouzzolane au moyen de l'essai suivant :

On prend une certaine quantité d'eau de chaux bien pure (un litre par exemple), et l'on y projette la pouzzolane à petite dose, jusqu'à ce que la liqueur, essayée par le carbonate de potasse ou de soude, ne soit plus troublée. Plus la quantité de pouzzolane employée pour arriver à ce résultat sera petite, et plus cette matière sera énergique.

On conçoit qu'il est très-important de s'assurer à l'avance de l'énergie comparative des pouzzolanes, naturelles ou artificielles, dont on peut disposer, parce que, connaissant également leur prix, il est facile de déterminer ensuite celle dont l'emploi sera le plus avantageux pour obtenir un mortier à un degré d'hydraulicité voulu.

276. Pouzzolanes naturelles et artificielles employées en Belgique et en France. —On n'emploie en Belgique qu'une seule espèce de pouzzolane naturelle, qui est très-énergique. C'est la matière connue sous le nom de *trass d'Allemagne* ou de *terrasse de Hollande*, laquelle est le produit d'une roche volcanique qui s'exploite dans les environs d'Andernach, sur le Rhin, réduite en poudre par des moyens mécaniques.

Le trass est en général d'une couleur gris rougeâtre. Pris dans la main et fortement comprimé, puis plongé dans l'eau, il ne doit pas laisser de poussière à la surface. Quand on retire la main de l'eau, il ne doit pas se délayer, mais rester en masse. Au reste, le meilleur moyen de l'éprouver est d'en faire du mortier, en mélangeant une partie de trass, 1,50 de chaux commune mesurée vive, et 0,50 d'eau. Ce mélange doit durcir promptement dans l'eau si le trass est de bonne qualité.

Parmi les pouzzolanes artificielles, les plus généralement employées sont :

1° La *brique* ou le *tuileau pilé*. Cette pouzzolane est d'une énergie très-variable et qui dépend non-seulement de la composition de la terre, mais aussi de son degré de cuisson. Comme aucun caractère physique ne peut indiquer le degré d'énergie de ces matières, il est convenable de les essayer souvent avant de les employer, par l'un ou l'autre des procédés ci-dessus indiqués (263 et 275).

2° Les *scories de forge* et les *cendres de houille*. Ces matières sont quelquefois très-énergiques, d'autres fois elles ne le sont pas du tout. Les cendres de houille maigres, sont celles qui donnent, en général, les meilleures pouzzolanes, à cause de l'argile qui se trouve mélangée avec cette sorte de houille.

La *cendrée de Tournay*, renommée à cause de ses excellentes qualités hydrauliques, n'est rien autre chose qu'un mélange de petits fragments de chaux plus ou moins hydrauliques avec les résidus de la combustion de la houille maigre, employée à la cuisson du calcaire. Les résidus de presque tous nos fours à chaux constituent des cendrées du même genre, souvent aussi bonnes que celles de Tournay. Les cendrées sont surtout d'un bon emploi pour la confection des maçonneries souterraines, des citernes, des chapes de voûtes, des aires, etc., etc.

En France, on fait usage des mêmes pouzzolanes artificielles, et de quelques autres fabriquées suivant les procédés indiqués par M. Vicat. Les volcans éteints de l'Auvergne et du Vivarais donnent des pouzzolanes naturelles.

277. Dosage des matières. — Le dosage des matières qui doivent entrer dans la composition d'un mortier est une chose extrêmement importante et délicate. Non-seulement il faut rechercher quelle est la composition qui donnera le meilleur résultat, dans les circonstances où l'on doit l'employer; mais il faut encore obtenir ce résultat avec la moindre dépense possible.

La première chose à faire, pour parvenir au but proposé, est donc de s'enquérir aussi exactement qu'on le peut, par les procédés précédemment indiqués, des propriétés des divers ingrédients dont on dispose, et de leur prix. On pourra ensuite essayer divers mélanges, les comparer sous l'un et l'autre rapport, et bientôt on se trouvera à même de faire un choix convenable.

278. Mortiers ordinaires. — Si l'on ne veut que des mortiers ordinaires de chaux grasse, il suffira de mélanger à la chaux diverses proportions de sable bien pur et inerte, et d'observer la dose qui donne le maximum de résistance. Le sable coûtant généralement moins cher que la chaux, plus il pourra en être introduit dans le mortier, sans que sa résistance en souffre, et plus le mélange sera avantageux.

Les expériences de M. Vicat indiquent que la résistance des mortiers de cette espèce croît à partir de 50 jusqu'à 230 parties de sable (en volume) pour 100 de chaux en pâte forte; au delà elle décroît indéfiniment.

Les conditions générales qui sont encore en vigueur, pour l'exécution des travaux du génie militaire, prescrivent pour le mortier ordinaire les proportions suivantes :

$$\left.\begin{array}{l}\text{1 partie de chaux éteinte}\\ \text{1 partie de sable.....}\end{array}\right\} \text{ en volume.}$$

Ces proportions ne semblent pas être convenablement établies d'après les indications précédentes; on pourrait peut-être augmenter la dose de sable sans diminuer la résistance du mortier. C'est une question qui vaut la peine d'être examinée à fond (1).

279. Mortiers hydrauliques. — Si l'on veut faire des mortiers hydrauliques, le champ des combinaisons devient beaucoup plus vaste; il faut d'abord déterminer quel

(1) Il n'est pas hors de propos d'observer toutefois, que les conditions générales ont principalement en vue les chaux belges, qui sont à peu près toutes plus ou moins hydrauliques, comme on le verra plus loin.

est le degré d'hydraulicité que doit avoir le mortier pour le cas où l'on se trouve. S'il s'agit, par exemple, de bâtir dans des lieux faiblement humides, des mortiers très-faiblement hydrauliques pourront suffire ; si la construction doit être baignée par une eau stagnante, il faudra un mortier moyennement hydraulique ; si elle doit être placée dans une eau courante, ou si elle est soumise à des pressions d'eau considérables, qui tendent à faire filtrer le liquide avec force au travers des maçonneries, les les mortiers les plus énergiques deviendront nécessaires.

On peut former des mortiers à divers degrés d'hydraulicité :

1° Au moyen des ciments seuls ou mélangés avec du sable ;

2° Avec des chaux hydrauliques mélangées de sable, de pouzzolanes ou de ciment ;

3° Avec des chaux communes mélangées de ciment ou de pouzzolanes.

Mais il est impossible de donner des règles fixes à cet égard. C'est par des essais qu'il faut s'éclairer pour chaque cas particulier. Les chaux hydrauliques, ciments et pouzzolanes peuvent être, d'ailleurs, naturels ou artificiels.

280. Compositions prescrites par les conditions générales. — Les conditions générales déjà citées, prescrivent des compositions hydrauliques qui ont bien réussi en Belgique, mais qu'on pourrait, peut-être, remplacer par de toutes aussi bonnes et moins chères. Nous les consignons ci-dessous.

a. Mortier très-hydraulique, désigné sous le nom de *trass-fort* (sterck tras), 6 parties de chaux éteinte et 5 de trass.

b. Mortier hydraulique, désigné sous le nom de *fort trass bâtard* (sterk basterd tras), 6 parties de chaux, 4 de trass et 1 de sable.

c. Mortier moyennement hydraulique, appelé *trass bâtard* (basterd tras), 2 parties de chaux, 1 de trass et 1 de sable.

d. Mortier faiblement hydraulique, appelé *trass bâtard dormant* (sleap basterd tras), 3 parties de chaux, 1 partie de trass et 2 parties de sable.

Les quantités renseignées se mesurent en volume et en poudre fine.

On suppose que les chaux employées seront les chaux ordinaires de Tournay et des environs de Liége, qui sont faiblement et très-inégalement hydrauliques.

281. Dosages adoptés pour les travaux de Diest. — Aux travaux des fortifications de Diest, l'on a remplacé avec avantage le trass par les ciments connus dans le commerce sous le nom de *ciments romains d'Anvers*.

Les dosages adoptés pour la place de Diest sont les suivants :

1° Mortier hydraulique pour les maçonneries soumises simplement à l'humidité :

8 volumes de mortier ordinaire.
1 volume de trass d'Allemagne.

Ou bien :

10 volumes de mortier ordinaire.
1 volume de ciment d'Anvers n° 1.

2° Mortier hydraulique pour les jointoiements :

4 volumes de mortier ordinaire.
1 volume de ciment d'Anvers, n° 2.

3° Mortier hydraulique pour les enduits des parements cachés et pour les chapes de voûtes :

4 volumes de mortier ordinaire.
1 volume de ciment d'Anvers, n° 1.
1 volume de ciment d'Anvers, n° 2.

Le mortier ordinaire employé à ces travaux est composé de chaux hydraulique de Tournay, devant commencer à faire prise dans l'eau après deux jours d'immersion, et de sable quartzeux pur, mélangés dans la proportion de :

1 partie de chaux éteinte en poudre.
1 partie de sable.

Les ciments doivent satisfaire aux conditions suivantes :

Le ciment n° 1, réduit en pâte de la consistance qu'on donne au mortier, au moment de son emploi, et plongé immédiatement dans l'eau, doit, après *une heure* environ d'immersion, avoir acquis assez de dureté pour supporter, sans pénétration, une aiguille de 1 1/2 millimètre de diamètre, portant 1/3 de kilogramme.

Le trass d'Allemagne et le ciment n° 2, mélangés respectivement, avec le mortier ordinaire, à volumes égaux, doivent donner le même résultat après quarante-huit heures d'immersion.

282. Indications de M. Vicat relativement au dosage des mortiers. — Suivant M. Vicat, pour obtenir des mortiers capables d'acquérir une grande dureté *dans l'eau ou sous terre* ou *dans des lieux constamment humides*, il faut combiner :

Avec les chaux *grasses*, les pouzzonales naturelles ou artificielles *très-énergiques ;*

Avec les chaux *moyennement hydrauliques*, les pouzzonales naturelles ou artificielles simplement *énergiques*, ou bien des pouzzolanes très-énergiques, tempérées par un mélange d'environ moitié sable ou d'autre matières inertes ;

Avec les chaux *hydrauliques*, des pouzzonales *peu énergiques* ou des pouzzolanes énergiques, tempérées par un mélange d'environ moitié sable ;

Avec les chaux *éminemment hydrauliques*, des matières *inertes* comme des sables, des laitiers, des scories de forge, etc. En thèse générale, pour atteindre le meilleur résultat possible, il faut employer dans les mélanges, des pouzzolanes d'autant plus énergiques que l'hydraulicité de la chaux est moins grande, de manière à ce que le sable *inerte* corresponde au plus haut degré d'hydraulicité et la pouzzolane *la plus énergique* à l'absence complète de cette qualité.

Pour obtenir des mortiers capables d'acquérir une grande dureté *en plein air et de résister à la pluie, aux chaleurs et aux fortes gelées*, conditions dans lesquelles sont particulièrement placés les mortiers pour rejointoiements, M. Vicat conseille de n'employer pas d'autre combinaison que des mélanges de *sables* ou matières *inertes* avec des chaux *hydrauliques* ou *éminemment hydrauliques*. Ce savant ingénieur pense qu'il est impossible de faire rien qui vaille, pour ce cas, avec des chaux grasses ou aériennes, quelles que soient les matières avec lesquelles on les mélange.

Ces dernières espèces de chaux ne peuvent, en résumé, former de bons mortiers

que *pour les constructions hydrauliques*, en les combinant, comme on l'a dit ci-dessus, avec des pouzzolanes très-énergiques, ou *pour les intérieurs*, auquel cas des mélanges avec des matières inertes suffisent, bien qu'il soit préférable de leur substituer des pouzzolanes plus ou moins énergiques.

M. Vicat fait encore remarquer qu'il vaut mieux pécher par défaut de chaux que par excès, quand il s'agit de mélange de chaux grasses et de pouzzolanes quelconques et qu'au contraire il vaut mieux pécher par excès de chaux que par défaut, quand il s'agit de mélanges de chaux hydrauliques ou éminemment hydrauliques avec des matières inertes.

Il conseille toutefois de procéder toujours à des essais préalables pour déterminer le choix le plus convenable des proportions des diverses matières à employer.

283. Mortiers pour les constructions à la mer. — Suivant de nouvelles observations très-curieuses et très-précises de M. Vicat, les mortiers qui résistent en général le mieux à l'action des sels tenus en dissolution dans l'eau de la mer, sont ceux composés de chaux hydraulique et de matières siliceuses inertes. Les mortiers composés de chaux grasses et de pouzzolanes s'exfolient fréquemment sur une plus ou moins grande profondeur, surtout lorsqu'ils sont immergés frais. L'effet de l'eau de mer est d'autant moins à craindre qu'ils ont été plus desséchés avant d'en ressentir l'influence.

Smeaton, qui connaissait probablement cette action de l'eau de mer sur les mortiers, lorsqu'il construisit le phare d'Eddystone, dont il a été question au n° 248, les y soustrayait, pour un temps suffisant, au moyen d'un jointoiement profond au plâtre, qui prenait sur-le-champ. Cette précaution nous paraît très-bonne à imiter en pareil cas.

284. Manipulation des mortiers. — Les quantités de chaux, sable, ciment ou pouzzolane, qui doivent entrer dans la composition du mortier, se mesurent toujours en volume et en poudre ou en pâte fermé. Pour en opérer le mélange, on les place le plus souvent sur une aire plane, pavée en briques ou en dalles, ou recouverte de madriers, et l'on y ajoute la quantité d'eau strictement nécessaire pour les réduire, par le battage et le corroyage, à l'état de bonne pâte argileuse, de la consistance de celle à fabriquer les briques.

Le corroyage s'effectue alors à bras d'hommes et au moyen de râbles recourbés en fer ou *rabots* (*fig.* 289), armés de longs manches.

On ne considère cette opération comme bien faite que lorsque, le mortier étant rassis de quelque temps ou ressué, l'on ne discerne plus les matières dont il est formé ; la présence d'un grand nombre de petits points blancs, de chaux, est le signe caractéristique d'un mortier mal corroyé.

Cette opération demande à être surveillée de très-près. Les ouvriers, pour abréger la besogne et épargner leurs peines, sont toujours disposés à arroser le mélange de plus d'eau qu'il ne faut, c'est une malfaçon très-préjudiciable ; car non-seulement le mortier perd sa qualité, mais il peut paraître ainsi passablement manipulé, tandis qu'il l'est en réalité fort mal.

285. Machines à corroyer le mortier. — Dans les grands ateliers, on se sert souvent, dans un but d'économie et en même temps pour éviter cette fraude, de machines de diverses espèces, mues par des chevaux ou d'autres moteurs et dont l'effet peut être rendu très-régulier.

Machines à meules verticales. — La plus communément employée est un manége à meules verticales, en tout semblable à celui dont nous avons donné la description en décrivant la fabrication de la chaux hydraulique artificielle ; mais les meules n'ont pas besoin d'être aussi pesantes, et l'on peut leur substituer tout simplement, ainsi qu'on l'a fait aux fortifications de Paris, des roues de voitures à larges jantes.

Nous donnons (*fig.* 290) le dessin d'une de ces machines qui est aussi remarquable par sa simplicité et le peu de frais d'installation qu'elle exige, que par la bonté des produits qu'elle fournit.

Elle se compose :

1° D'une auge circulaire *a*, d'environ $2^m,50$ de rayon, ménagée dans un massif de maçonnerie et dont le fond est formé de pierres plates. Au centre du massif qui est encore évidé, de la manière indiquée par le plan et la coupe, pour épargner la maçonnerie, se trouve planté un poteau *b*, terminé supérieurement par un pivot.

2° D'une croix formée de deux perches *c* et *d*, de 12 à 15 centimètres de diamètre, assemblées à angle droit et à mi-bois. Cet assemblage est fortifié par quatre liens *e*, assemblés, par entaille, avec les branches de la croix, ou simplement cloués sur elles. Cette croix est posée sur le poteau tourillon *b*. Trois de ses branches sont articulées, ainsi qu'on le voit en B, à environ 1 mètre de l'extrémité, laquelle est convenablement amincie et arrondie, pour servir d'essieu à une roue de chariot ordinaire à larges jantes *f*. La quatrième branche de la croix n'a pas d'articulation. Elle porte une espèce de fourche grossière A, dont l'office est de retourner les matières contenues dans l'auge, tandis que celui des roues est de les broyer. Les trois roues sont placées à des distances inégales de l'axe de rotation du manége, afin de pouvoir ainsi labourer successivement tout le fond de l'auge.

3° D'une troisième perche *h*, de même équarrissage que les deux autres, assemblée avec le système inférieur au moyen d'entailles, et maintenue, de plus, par des tirants en fer fendu *i*. A l'une des extrémités de cette perche, est attaché le cheval qui doit faire tourner la machine ; l'autre extrémité porte une vanne C, glissant dans des coulisses *l*, fortifiées par des liens *m*. L'on verra plus bas l'usage de cette vanne. On fera seulement remarquer ici qu'elle peut être maintenue à divers degrés d'élévation, au moyen d'une broche en bois ou en fer. Pour soulager la perche du poids de cet appareil, on le fait porter sur une roulette *n*, attachée à la coulisse extérieure de la vanne et qui roule sur le bord extérieur de l'auge.

Autant que possible, pour faciliter le service, la machine est établie sur le bord d'une petite éminence. Cela permet d'y pratiquer une chambre *o*, couverte d'un parement, revêtue de murs grossiers et dont le plafond est supporté par quelques pièces de blindage. On fait tomber le mortier dans cette chambre, lorsqu'il est suffisamment corroyé, en ouvrant une trappe P, pratiquée au fond de l'auge, et en abaissant la vanne

C, qui râcle le fond et chasse le mortier devant elle. Un manége de cette espèce peut fabriquer de 15 à 20 mètres cubes de mortier par journée de dix heures.

Les machines de ce genre ont été souvent construites avec plus de soin et de luxe dans les grands chantiers, mais sans donner pour cela de meilleurs résultats. Elles ont aussi quelquefois été disposées d'une manière un peu différente. Ainsi, pour l'exécution des bassins de Liverpool, les meules verticales et en fonte avaient seulement un mouvement de rotation autour d'un axe horizontal AB (*fig.* 291); mais le bassin également en fonte où l'on jetait les composants du mortier recevait, au moyen d'une machine à vapeur, un mouvement de rotation autour d'un axe vertical C. Toute la matière passait ainsi sous les meules verticales, comme dans les machines que nous avons décrites, mais par l'effet d'un mouvement différent. Une même machine à vapeur communiquait le mouvement à plusieurs moulins à mortier. D'autres fois, au lieu de meules cylindriques, on s'est servi de meules coniques, roulant dans une auge à fond conique (*fig.* 292). Cette disposition avait pour but de ramener constamment le mortier sous les meules, par le seul effet de la gravité. Elle n'est pas sensiblement meilleure que celle employée aux fortifications de Paris et elle est beaucoup plus chère.

L'on a quelquefois reproché à ces machines de ne pas aussi bien corroyer le mortier que le travail à bras d'homme; mais nous pensons que ce reproche n'est nullement fondé, et qu'au contraire, lorsqu'elles sont bien construites et dirigées, on en obtient de meilleurs résultats.

On pourrait d'ailleurs les améliorer sous ce rapport, en faisant les jantes des roues en fer ou en fonte et en les perçant d'un grand nombre de trous, comme on le voit *fig.* 290 *bis*. Les matières broyées et comprimées par le poids des roues seraient forcées de jaillir par ces trous, en subissant ainsi une division et une sorte de pétrissage qui seraient certainement d'un bon effet; mais nous ne conseillerions cette modification que pour des travaux de la plus haute importance et où l'augmentation de dépense, qui en résulterait dans l'installation des machines, pourrait être considérée comme insignifiante.

On s'est aussi servi, pour la manipulation des mortiers, de machines d'un autre genre.

Machine à râteau. — Perronet employait, dans les grands travaux qu'il a dirigés, un râteau mû circulairement par un manége (*fig.* 293).

Machine à tonneau. — Aux travaux des ports de Toulon et de Lorient, on s'est servi de grands tonneaux en fonte ou en bois cerclés de fer, dans lesquels on faisait mouvoir circulairement plusieurs râteaux étagés, fixés à un arbre vertical, mis en mouvement par des chevaux ou par une machine à vapeur. Les dents des râteaux mobiles passaient à travers les intervalles des dents de râteaux fixes, disposés en rayon à l'intérieur du tonneau. Les matières jetées dans la machine par la partie supérieure en sortaient corroyées, par une ouverture pratiquée tout au bas (*fig.* 294).

Des machines de ce genre ont été employées, concurremment avec celles à roues, aux fortifications de Paris; mais elles donnaient de moins bons résultats et on les a abandonnées.

286. Remarque sur une prescription des conditions générales. — Nous avons

dit plus haut à quels signes on reconnaissait que le mortier était corroyé suffisamment. Il est au moins inutile de pousser l'opération au delà du temps strictement nécessaire pour arriver à ce résultat. Il paraîtrait même, d'après les expériences de M. Vicat, que, loin de gagner à un corroyage prolongé, ainsi que le pensent encore certains constructeurs, quelques mortiers en éprouveraient un notable préjudice. Les seuls mortiers auxquels cela semble un peu favorable sont ceux à chaux grasse, et encore l'amélioration est si minime qu'elle est loin de compenser le surcroît de travail et de dépense auquel elle est due. Pour les mortiers hydrauliques, une manipulation trop prolongée est toujours préjudiciable.

Les *conditions générales*, prescrivent que le mortier, quelle que soit son espèce, sera préparé au moins trois jours à l'avance et battu et rebattu chaque jour. Seulement, quand on fait usage de trass, elles stipulent que le mélange de cet ingrédient ne sera effectué qu'au moment même de la mise en œuvre.

La première de ces prescriptions paraît bonne, parce qu'elle permet à la chaux de compléter son extinction, ce qui est très-important pour éviter que, postérieurement à son emploi, le mortier n'augmente de volume et ne fasse gauchir ou *souffler* les maçonneries. Elle est observée par tous les maçons soigneux ; mais la seconde paraît au contraire, peu utile, et doit même être préjudiciable dans bien des cas, si l'on considère que la plupart de nos chaux sont plus ou moins hydrauliques. Aussi, les bons maçons se bornent-ils à rebattre le mortier au moment même de son emploi, tout en le préparant grossièrement plusieurs jours à l'avance. Nous pensons qu'on ferait bien de modifier les conditions générales en ce sens.

287. Baraques à mortier. — La manipulation des matières qui entrent dans la composition des mortiers, s'effectue ordinairement dans des baraques légères, construites exprès et qu'on démolit après l'achèvement des travaux. Ces baraques doivent être assez grandes pour contenir : 1° l'approvisionnement de chaux, de sable, de ciment, de pouzzolanes ou des autres ingrédients nécessaires; 2° une aire suffisamment grande pour opérer le corroyage à bras de ces matières ou les manéges et machines adoptés pour le remplacer; 3° un emplacement assez grand pour contenir le mortier fabriqué trois jours à l'avance.

Dans les travaux bien ordonnés, ce dernier emplacement est divisé par des cloisons en planches en quatre cases ou compartiments de grandeur suffisante pour recevoir chacun le mortier nécessaire au travail de chaque jour. Pendant les trois premiers, on emplit les cases 1, 2, 3, le quatrième, on emplit la case 4, et l'on rebat, pour l'employer, le mortier de la case 1; le cinquième, on emplit la case 1 et l'on vide la case 2; et ainsi de suite. De cette manière on est certain de ne pas se tromper sur le degré de vieillesse des mortiers, et d'obtenir en même temps un résultat constant pendant toute la durée de l'ouvrage.

288. Réduction de volume des matières employées par l'effet du corroyage. — Nous consignons ici une remarque assez importante et à laquelle il faut avoir égard dans les évaluations du prix de revient des mortiers : c'est que le corroyage a toujours pour résultat de réduire, d'une certaine quantité, le volume total des matières qui

entrent dans leur composition. On estime moyennement que cette réduction varie de 1/5 à 2/7 lorsque le mélange est très-intime.

289. Théorie du durcissement des mortiers. — On explique différemment le durcissement des mortiers hydrauliques et de ceux qui ne le sont pas.

Les premiers paraissent être composés, d'après les idées maintenant admises par la généralité des chimistes, d'un silicate de chaux anhydre, avec excès de chaux, jouissant comme le plâtre de la propriété de se durcir en s'hydratant. Le silicate basique se forme tout naturellement par la cuisson, lorsque le calcaire contient une quantité suffisante de silice dans un état particulier qui lui permet de se combiner avec la chaux (la silice en combinaison avec l'alumine dans l'argile remplit surtout cette dernière condition), ou bien il est formé par l'addition de pouzzolanes (composées aussi de silice et d'alumine principalement), dont la silice peut se combiner à la chaux par la voie humide. Les sables et les autres matières inertes qui entrent dans la composition du mortier paraissent remplir uniquement l'office de diviser la matière et de faciliter la réaction de l'eau.

Les mortiers non hydrauliques, composés de chaux commune et de matières inertes, se solidifient par l'absorption de l'acide carbonique de l'air, qui fait repasser la chaux à l'état de carbonate solide et cristallin, quand le mortier se trouve placé dans des conditions favorables.

Les matières inertes qui font partie de leur composition n'ont aucune action chimique sur la chaux, ils n'ont d'autre effet que de la diviser, de rendre le mortier plus poreux et de faciliter ainsi la réaction de l'acide carbonique.

Les mortiers durcis par les réactions chimiques dont il vient d'être fait mention ne peuvent plus se dissoudre dans l'eau; mais, indépendamment de ce durcissement, ils peuvent acquérir un autre genre de solidification dû simplement à la compression qu'ils subissent dans les maçonneries et à leur dessiccation. Ce dernier genre de solidification ne leur communique pas la même propriété. Les parties durcies par compression ou dessiccation peuvent toujours être délayées par l'eau.

290. Conséquences découlent de cette théorie. — Il résulte de cette théorie:

1° Que les mortiers non hydrauliques ne peuvent faire une prise solide que dans l'air et que cette prise, rapide pour les parties extérieures du mortier, se ralentit bientôt, au point de devenir presque nulle, pour les parties intérieures. Celles-ci sont en effet bientôt soustraites à l'action de l'acide carbonique par l'incrustation de la surface.

2° Que les mortiers hydrauliques, au contraire, prennent tout aussi bien dans l'air humide que dans l'eau; que leur durcissement est beaucoup plus rapide et plus complet, favorisé qu'il est par l'eau surabondante qui existe toujours dans les mortiers.

3° Que les mortiers non hydrauliques ne peuvent que difficilement se solidifier vers le centre des massifs épais de maçonneries (1), tandis que les mortiers hydrauliques, prennent là aussi bien que partout ailleurs.

---

(1) On en trouve la preuve dans l'observation suivante de M. John : « Lorsqu'on démolit dernièrement, dit-il, un des piliers de la tour de Saint-Pierre, à Berlin, bâti depuis environ *quatre-*

4° Qu'il faut éviter une dessiccation trop rapide des maçonneries aussi bien quand on fait usage de mortiers non hydrauliques que de mortiers hydrauliques, car le durcissement étant dû, dans le premier cas, à la cristallisation du carbonate calcaire recomposé, on n'obtiendrait qu'une cristallisation confuse et du carbonate à l'état pulvérulent, si ce dépôt ne pouvait avoir lieu avec la lenteur convenable. Dans le second cas, l'eau étant la cause déterminante du durcissement, on conçoit que sa présence est nécessaire tant que ce durcissement n'est pas aussi complet que possible.

On voit, d'après cela, que dans tous les cas, la construction des maçonneries s'effectue plus avantageusement pendant les temps humides que pendant les grandes sécheresses, pourvu toutefois que l'humidité ne soit pas assez grande pour délayer la chaux et l'entraîner au loin.

291. Fausse application qu'on en fait. — Certains constructeurs, frappés de la justesse de ces déductions, et se basant d'ailleurs sur les prescriptions de M. Vicat, rapportées au n° 282, sont cependant tombés dans une erreur contre laquelle nous croyons qu'il est bon de se prémunir.

Ils ont pensé que, *même pour des constructions ordinaires, c'est-à-dire exposés uniquement à l'air humide de nos climats,* il n'était plus permis, d'après les indications de la théorie, d'employer d'autres mortiers que ceux composés des meilleurs éléments hydrauliques. Ainsi quelques-uns prescrivent l'emploi des chaux hydrauliques les plus renommées et ils ne reculent devant aucune dépense pour aller les chercher au loin; d'autres ne trouvant pas suffisamment de garantie dans l'hydraulicité naturelle de ces chaux, en réputation, y ajoutent encore des ciments et des pouzzolanes plus ou moins énergiques.

Si ces chaux hydrauliques, si ces ciments, si ces pouzzolanes n'augmentaient pas sensiblement le prix du produit fabriqué, certes nous trouverions peu de choses à y redire. Nous ferions seulement observer qu'en outre-passant ainsi le but, on obtient peut-être un résultat de moindre valeur; car il résulte des expériences de Raucourt de Charleville, qu'à l'air, la chaux et les mortiers acquièrent d'autant plus de dureté et de résistance que la chaux est plus pure. Mais si, au contraire, la dépense se trouve augmentée, et c'est ce qui arrive presque toujours, alors nous n'hésiterions pas à déclarer que l'on commet une très-grave erreur.

En effet, il est de peu d'importance, pour un mortier placé dans les conditions indiquées, qu'il fasse prise endéans 4, 8, 10 ou 15 jours; tout ce qu'il faut, c'est qu'il ait acquis avant l'hiver assez de dureté pour ne plus être attaqué par la gelée, et qu'il soit susceptible de se durcir de plus en plus avec le temps dans toutes les parties de la maçonnerie.

Or, des chaux *faiblement hydrauliques,* mélangées avec des sables jouissant eux-mêmes, bien souvent des propriétés hydrauliques analogues à celles des arènes (275) sont très-propres à donner de tels mortiers.

---

vingts ans, et de vingt-sept pieds de diamètre, on trouva le mortier de l'intérieur de la maçonnerie aussi frais que s'il n'avait été employé que depuis quelques jours; il avait la saveur caustique et formait du lait de chaux avec l'eau.

Pour ce qui concerne la Belgique en particulier, nous avons tout lieu de croire que la plupart de ceux qu'on fabrique avec les chaux ordinaires et les sables de mine, sont dans ce cas. La dureté et la cohérence des mortiers de tous nos vieux édifices, l'état de conservation de toutes nos constructions urbaines, auxquelles on n'apporte cependant pas toujours tout le soin désirable, semblent le démontrer surabondamment.

Nous pensons donc que l'on aurait tort, en présence d'un pareil état de choses, de se lancer dans une voie nouvelle, et que la prudence, autant qu'une économie bien entendue, doivent engager à suivre les vieux errements tant qu'il ne s'agit que de constructions élevées à l'air. Que gagnerait-on, en effet, à consacrer un surcroît de dépense à l'emploi de chaux plus hydrauliques, de pouzzolanes ou de ciments coûteux, lorsque l'expérience démontre que tels qu'on les fait depuis un temps immémorial, nos mortiers ordinaires de chaux et de sable peuvent supporter l'épreuve des siècles?

Si certaines parties des maçonneries sont plus exposées que d'autres aux pluies et à l'humidité, si quelques-unes exigent une prise rapide, afin d'éviter ou d'amoindrir l'effet des tassements, de résister à des poussées ou à des chocs auxquels elles seraient soumises immédiatement après leur construction, il suffira d'employer pour celles-là seulement des mortiers plus hydrauliques.

Dans ce cas, nous conseillerons toujours, avant de recourir à l'emploi de matières étrangères à la localité (matières qui jouissent bien souvent d'une réputation plus grande que d'une énergie réelle), de s'assurer par des expériences faites avec soin, d'abord si le mortier tel qu'on le fabrique avec les ingrédients ordinaires n'a un caractère d'hydraulicité suffisamment prononcé et, en cas de négative, de voir si des mélanges de cendrées des fours à chaux ordinaires, soit avec des sables, soit avec des argiles cuites ne sont pas propres à atteindre ce but d'une manière plus économique. Enfin, l'on pourra trouver souvent la solution du problème, lorsque les deux moyens précédents ne l'auront pas donnée, en soumettant à la cuisson le produit de certains bancs calcaires de la localité, plus riches en argile que ceux qu'on emploie ordinairement et souvent inexploités, soit parce que la pierre de taille qu'on en retire est moins belle et moins bonne, soit parce que la chaux qu'on en obtiendrait est d'un rendage moins fort que celle qui provient de couches plus pures.

Il faut bien faire attention, d'ailleurs, que l'on aurait tort de s'en rapporter, comme on ne le fait que trop souvent, à la réputation de telle ou telle chaux, de tel ou tel ciment, de telle ou telle pouzzolane naturelle ou artificielle. Il n'y a que des essais précis et souvent répétés qui puissent donner des apaisements suffisants sur leur degré d'énergie hydraulique. La nature des bancs calcaires et des autres substances propres à fournir des bases hydrauliques est chose tellement variable, qu'à elle seule elle suffirait pour qu'on ne pût répondre d'obtenir un produit constant, même en exploitant la matière première dans la même couche ou dans le même dépôt; et l'on sait que le degré de cuisson qu'on leur fait subir, la nature du combustible employé, etc., sont encore d'autres causes plus ou moins efficaces de perturbation.

Ces essais sont du reste si simples, si faciles et exigent si peu de temps (263) qu'on serait tout à fait inexcusable de les avoir négligés dans un travail d'importance.

292. La plupart des chaux belges sont suffisamment hydrauliques pour les con-

structions ordinaires.—La bonté des mortiers fabriqués en Belgique depuis un temps immémorial par les méthodes qui sont encore actuellement suivies, nous avait fait croire depuis longtemps que la plupart des chaux belges étaient plus ou moins hydrauliques. Cette opinion se trouve confirmée aujourd'hui par les recherches de M. l'ingénieur des ponts et chaussées Carrez. Nous avons constaté, sur les tableaux d'analyses qu'il a publiés au t. II, p. 291 et suiv., et au t. IV, p. 294 et suivantes des *Annales des travaux publics*, que : sur 697 échantillons de pierre calcaire recueillie dans les provinces de Liége, du Limbourg et de Luxembourg :

93 sont propres à donner des chaux faiblement hydrauliques.
— — moyennement hydrauliques.
54 — — hydrauliques.
32 — — éminemment hydrauliques.
65 des ciments à divers degrés d'énergie.

340

Quant aux 357 échantillons restants, nous avons remarqué que 33 seulement ont présenté la composition du calcaire tout à fait pur et que, dans le surplus, l'analyse a indiqué des proportions d'argile variables de 1.50 à 6.70 p. 100 et, en outre, des doses de magnésie variant de 0 à 40 p. 100.

Nous pensons, d'après cela, que la plupart des 357 échantillons que M. Carrez classe parmi les calcaires propres à donner seulement des chaux aériennes (grasses ou maigres) doivent être rangés parmi les calcaires à chaux très-faiblement hydrauliques suivant les indications de Raucourt de Charleville, et que les chaux qui en proviennent peuvent être très-propres, comme nous l'avons fait observer ci-dessus, à la confection des mortiers des constructions simplement exposées aux influences de l'air.

Bien que les analyses des calcaires des provinces de Namur et du Hainaut ne soient pas encore publiées et qu'elles doivent nous éclairer sur la nature des chaux les plus réputées et les plus employées, on peut s'attendre à des résultats analogues. Les observations faites embrassent maintenant tout le système de nos bancs calcaires, et si l'on observe souvent de brusques changements de composition dans des parties différentes d'un même banc, il n'est pas présumable pourtant que la *composition moyenne du système* change brusquemeut en passant d'une province dans une autre (1).

---

(1) Cette observation s'est trouvée confirmée. Voici les résultats généraux des analyses de M. l'ingénieur Carrez, résultats insérés au tome IX des *Annales des travaux publics*, p. 229 et suivantes.

	NAMUR.	HAINAUT.
Nombre d'échantillons essayés.	417	236
Chaux faiblement hydrauliques	76	37
— moyennement hydrauliques	40	40
— hydrauliques.	24	29
— éminemment hydrauliques.	21	22
— ciments et pouzzolanes	18	34
	179	162
Chaux tout à fait pures	8	1

APPENDICE AUX MORTIERS.

DES MASTICS.

293. Les mastics sont des compositions en général plus compliquées que les mortiers, mais qui sont employées, quoique d'une manière beaucoup plus restreinte, aux mêmes usages.

Nous consignons ici, comme pouvant être utiles, les compositions des mastics les plus employés en Belgique et les plus réputés.

294. Pierre artificielle. — On emploie en Belgique, sous le nom de *pierre artificielle*, un mastic qui a une grande analogie de composition avec celui de *Dihl*, dont la fabrication est encore tenue secrète et qui jouit d'une réputation justement méritée.

La pierre artificielle se compose de sable sec, rude et bien lavé, de calcaire grossier plus ou moins silicifère réduit en poudre, de litharge moulue et passée au tamis de soie fin, le tout incorporé dans de l'huile de lin.

Les proportions de ces divers ingrédients peuvent varier.

Voici celles qui nous ont été indiquées comme les meilleures par M. Delangle, négociant à Anvers, qui s'occupe depuis de longues années de tout ce qui est relatif à la fabrication des mortiers.

Sable	1 volume.
Pierre moulue et finement tamisée	2 volumes.

A ces deux matières mélangées dans les proportions ci-dessus, on ajoute 12 kilogrammes de litharge pour 100 kilogrammes de mélange, on passe le tout au tamis pour avoir un mélange parfait, et l'on conserve jusqu'au moment de l'emploi.

Pour composer le mastic avec cette poudre, on y ajoute de l'huile de lin aussi vieille que possible, dans la proportion de *quatre litres d'huile* pour *cinquante kilogrammes de poudre*, et l'on bat fortement le tout. Plus la masse est travaillée et plus le mastic acquiert de qualité.

On peut augmenter la bonté et la compacité de ce mastic, en ajoutant à la dose précitée de litharge, 4 ou 5 kilogrammes de céruse moulue et tamisée.

On peut remplacer la dose de calcaire silicifère par une dose équivalente de brique ou de tuileau pilé et bien cuit, et l'on obtient ainsi un mastic d'une composition analogue à celle donnée par Thenard dans son *Traité de chimie* (tome II).

Ce mastic s'emploie surtout aux rejointoiements et à la réparation des constructions exécutées en pierres blanches (calcaires grossiers plus ou moins silicifères, grès plus ou moins calcarifères, etc.). Sa durée dépend beaucoup des soins apportés à sa préparation. Moyennement, on ne peut guère compter sur plus de 5 à 6 ans quand il est exposé à l'air.

295. Mastic des tailleurs de pierre. — Les tailleurs de pierre des carrières des bords de la Meuse et du Hainaut se servent, pour boucher les ébréchures et cacher les défauts de la pierre calcaire bleue ou anthraxifère, d'un mastic dont nous avons déjà parlé (250).

Ils le composent en faisant fondre ensemble une partie de cire et deux parties de colophane et en ajoutant à ce mélange une plus ou moins forte proportion de pierre pilée. Ce mastic est ensuite façonné en bâtons cylindriques, que l'on conserve pour l'emploi.

296. Mastic ferrugineux.— On fait, dans les environs de Liége, un mastic ferrugineux d'une composition assez compliquée, mais qui paraît très-dur et très-résistant. On l'emploie surtout pour les rejointoiements et le crépissage des capes de murs. Nous devons la connaissance de sa composition à l'obligeance de M. le capitaine du génie Crets.

La voici :

Limaille de ferre.	4	volumes.
Mollaye (1)	4	—
Suie de cheminée.	2	—
Fiente de vache.	1	—

On mélange le tout et on le bat sans eau sur une aire en briques, avec un rabot. Le mélange s'amollit par le travail. Si cependant il était trop sec, on y ajoute de l'urine. La plus vieille est celle qui convient le mieux.

Ce mastic se confectionne 3 ou 4 jours à l'avance et doit être rebattu deux fois par jour au moment de l'emploi.

On peut encore composer un mastic ferrugineux en mélangeant à une partie de chaux vive mesurée en poudre et éteinte dans du sang de bœuf, deux parties de tuileau ou de brique pilée, auxquelles on ajoute une petite quantité de limaille fine de fer. Ce mélange doit être battu jusqu'à ce qu'il forme une pâte douce et parfaitement homogène (1).

297. Mastic des fontainiers. — Le mastic des fontainiers, dont on se sert pour jointoyer ou unir des matériaux constamment exposés à l'humidité, est aussi une composition ferrugineuse plus ou moins analogue aux précédentes.

On le compose en faisant infuser pendant vingt-quatre heures 10 kilogrammes de limaille de fer ou de fer mêlé de cuivre dans deux litres de vinaigre et deux litres six dixièmes d'urine, auxquels on joint quatre œufs et $1^k,70$ de sel de cuisine. Avant d'en faire usage, il faut s'être assuré que la limaille est rouillée; autrement le mastic ne pourrait se fixer sur la pierre ni durcir.

298. Mastic de Vauban. — A cinq ou six parties de chaux éteinte dans l'huile de lin, mêlez deux parties de poudre de tuileau passée au tamis. Battez le mélange pendant une demi-journée. Laissez reposer une nuit, et le lendemain, au moment de vous en servir, rebattez pendant une demi-heure. Ce mastic est recommandé comme très-

---

(1) On donne ce nom à Liége au résidu produit par l'usure des meules en grès sur lesquelles on dégrossit les canons de fusil. C'est en conséquence un mélange de limaille de fer et de grains siliceux.

(2) Cette dernière composition est extraite du *Manuel du chaufournier*, p. 222; il en est de même des suivantes.

propre à crépir l'intérieur ces citernes. On l'étend par couches de 3 à 4 millimètres, qu'on laisse sécher pendant 3 ou 4 jours avant de les recouvrir par une autre couche.

299. Mastic Loriot. — Mettre trois parties de chaux éteinte dans un baquet contenant quatre parties d'eau ; broyer le mélange avec la truelle, jusqu'à ce que la chaux soit parfaitement divisée et forme un lit sans aucun peloton. Cette chaux étant bien délayée, on y jettera seize parties de cailloux (1) ou de tuileaux pulvérisés, ou même un mélange de ces deux matières, et l'on triturera parfaitement le tout. Enfin, au moment de l'emploi, on ajoutera une partie de chaux vive bien pulvérisée, que l'on incorporera aussi bien que possible.

On recommande l'usage de ce mastic pour les travaux de citernage.

Nous pourrions encore rapporter un grand nombre d'autres compositions plus ou moins analogues aux précédentes; mais nous pensons que celles que nous avons données sont suffisantes. Dans bien des cas, des mortiers hydrauliques, fabriqués avec soin, peuvent d'ailleurs remplacer avantageusement ces compositions compliquées et presque toujours coûteuses.

DES MAÇONNERIES.

300. Espèces diverses de maçonneries. — Parmi les maçonneries on distingue :

Les maçonneries en libages ;
— en moellons ;
— en briques ;
— en bétons ;
— en pisé ;
Enfin les maçonneries mixtes.

I. — MAÇONNERIES EN LIBAGES.

301. Définition. — Les libages sont des blocs de pierre plus ou moins volumineux, simplement dégrossis au marteau, ou au moyen d'une taille grossière exécutée au poinçon.

On voit, d'après cela, que les maçonneries en libages ne diffèrent de celles d'appareil que par le peu de régularité de leurs éléments.

302. Précautions à observer dans l'exécution. — On recherche, autant que possible, des libages bien gisants et d'une épaisseur uniforme ; ce que l'on obtient aisément, et à peu de frais, en les prenant dans des bancs d'une épaisseur convenable, qu'il suffit de fractionner dans le sens perpendiculaire au lit de carrière.

Les libages doivent être posés à bain flottant de mortier ; c'est-à-dire sur une bonne couche de mortier que l'on fait fluer de toutes parts en frappant sur la pierre posée avec une masse en bois, jusqu'à ce qu'elle ait pris une position tout à fait stable.

---

(1) Il est probable qu'il s'agit de cailloux siliceux.

Lorsque cela est nécessaire, on assure cette stabilité au moyen de cales en pierres, de même nature, que l'on fiche sous la pierre au milieu du mortier. On doit d'ailleurs, en arrangeant les libages dans chaque assise de maçonnerie, faire en sorte d'obtenir une bonne liaison et d'éviter les joints montants. Au parement, on les arrange, autant que faire se peut, de manière à faire alternativement carreau et boutisse, comme dans les maçonneries en pierre de taille.

On peut en outre les relier au moyen de chaînes, d'agrafes et d'ancres disposées comme dans les maçonneries d'appareil ou dans celles dont nous parlerons ci-après.

Les maçonneries en libages s'emploient principalement dans les fondements des grands ouvrages.

303. Maçonneries sèches en libages. — Leur emploi. — On emploie, dans quelques circonstances et avec avantage, de la maçonnerie sèche en libage, c'est-à-dire sans interposition de mortier. Les libages sont affermis, dans ce cas, au moyen de cales en pierres. Les maçonneries sèches en libages sont surtout d'un bon emploi pour les jetées à la mer, les barrages submersibles dans les fleuves, le revêtement des talus des digues exposées au choc des vagues, etc. On a remarqué, en effet, que les joints nombreux et ouverts qui existent dans cette espèce de maçonnerie avaient la propriété de diviser et d'amortir le choc des vagues ou l'action corrosive des eaux, en absorbant la force vive dont elles sont animées. Ces maçonneries sont fréquemment désignées sous le nom de *perrés*, nom qui s'applique également aux maçonneries sèches ou moellons, dont nous parlerons plus loin.

II. MAÇONNERIES EN MOELLONS.

304. Comment on les subdivise. — Parmi les maçonneries en moellons, on distingue d'abord celles en moellons piqués, en moellons smillés et en moellons bruts, d'après la façon que l'on a fait donner au moellon à la carrière (1). On subdivise ensuite chaque espèce en :

Maçonneries par assises réglées,
— par relevés,
— irrégulières,

suivant les dispositions prises dans l'élévation des murs.

305. Maçonnerie par assises réglées. — Définition. — On dit qu'une maçonnerie en moellons est faite par assises réglées, quand chaque lit ou assise est d'égale épaisseur sur toute la longueur du mur.

306. Détails d'exécution. — Voici comment on procède à l'exécution de ce genre de maçonnerie.

On commence par former les deux parements du mur au moyen d'une ligne de moel-

(1) On appelle *moellon piqué* celui dont les faces ont été régularisées au poinçon ; *moellon smillé*, celui qui a été dégrossi et équarri au marteau, et *moellon brut* celui qui n'a reçu aucune façon.

lons posés à bain flottant de mortier et de manière à former alternativement carreau et boutisse (*fig.* 295). L'intervalle est ensuite rempli au moyen d'une maçonnerie de blocage ou de moellons bruts choisis bien gisants, posés ou plutôt noyés dans un bain de bon mortier. Les interstices trop grands existant au milieu de cette maçonnerie de blocage sont encore remplis de petites pierres fichées dans le mortier et l'assise est arasée avec des retailles de pierres et du mortier.

Il est important, dans cette espèce de maçonnerie, que tous les vides entre les pierres soient parfaitement remplis de mortier et que chaque pierre soit aussi bien assise que possible. Pour cela, on les affermit dans le mortier à coups de marteau, et lorsque cela est nécessaire, au moyen de cales ou d'éclats de pierres fichés convenablement.

Les maçons sont dans l'habitude de monter trois ou quatre assises au parement avant d'araser; mais il vaut mieux araser chaque assise en particulier. On est plus sûr d'obtenir une bonne liaison et une bonne assiette.

Les maçonneries par assises réglées se font presque toujours soit en moellons piqués soit en moellons smillés. On exige qu'ils soient bien équarris et bien gisants; que les lits et les joints soient dressés d'équerre au parement et qu'ils se rapprochent, autant que possible, d'un parallélipipède rectangle, deux fois aussi long que haut et large.

On recommande, aussi bien pour ces maçonneries que pour celles dont nous allons parler, de poser les pierres sur leur lit de carrière; la pose en délit offrant, dans quelques cas, les inconvénients déjà signalés à propos des maçonneries d'appareil (245).

On doit prendre soin de bien nettoyer chaque assise avant de passer à la suivante et de mouiller les moellons lorsqu'ils sont secs et absorbants, afin de ne pas dépouiller trop rapidement les mortiers de leur eau qui, comme on l'a vu, est nécessaire à leur durcissement. Cette observation est également applicable aux autres espèces de maçonneries.

Quelquefois, les maçonneries en moellons n'ont qu'un parement par assises réglées, l'autre est formé par relevés ou en maçonnerie irrégulière. Cela a lieu chaque fois que l'un des parements seulement doit rester visible.

307. Maçonnerie par relevés. — La maçonnerie par relevés s'exécute comme celle par assises réglées et en prenant les mêmes précautions. Toute la différence consiste en ce que, au lieu de former chaque assise au moyen de moellons d'égale épaisseur, on la compose de moellons de toute épaisseur que l'on superpose, en bonne liaison, les uns aux autres. On s'astreint seulement à obtenir des arasements réguliers de 30 en 30 centimètres, comme c'est indiqué *fig.* 296 (1). L'intervalle compris entre deux arasements consécutifs s'appelle un *relevé*. Du reste, on monte d'abord les deux parements du mur et l'on remplit l'espace qui les sépare avec de la maçonnerie de blocage comme dans la maçonnerie par assises réglées.

---

(1) Les moellons pourraient être équarris au lieu d'être irréguliers, comme dans cette figure, et c'est même ce qui a lieu le plus souvent. Cette observation s'applique aussi à la maçonnerie irrégulière.

308. Maçonnerie irrégulière. — Si au lieu de s'astreindre au parement, à avoir des arasements régulièrement espacés, comme dans la maçonnerie par relevés, on forme ces parements de moellons de toute forme et de toute grosseur, posés en aussi bonne liaison qu'on le peut dans toute l'étendue du mur (*fig.* 297), on a de la maçonnerie irrégulière.

Ce genre de maçonnerie a été fort employé par les Romains, qui le désignaient sous le nom d'*opus incertum* ; il est encore très-usité de nos jours. On en rencontre de nombreux exemples dans toutes nos provinces où la pierre est commune, bien qu'on lui substitue souvent la construction par relevés. En France, cette maçonnerie est connue sous le nom de *limousinage*, et elle y est très-employée. Enfin, c'est à ce genre de maçonnerie que l'on doit rapporter celles en grès fistuleux des environs de Bruxelles et celles en galets roulés ou en rognons tuberculeux de silex, dont on fait usage dans plusieurs lieux de la France et de l'Angleterre.

309. Observations générales sur les maçonneries en moellons. — Inégalités des tassements. — Le principal défaut de toutes les espèces de maçonnerie en moellons, est d'offrir dans le sens de l'épaisseur des murs deux sortes de maçonneries susceptibles de prendre un tassement différent. A moins que l'on n'emploie des mortiers capables de faire prise presque immédiatement, mortiers qui ont souvent l'inconvénient d'augmenter de beaucoup le prix de ces maçonneries, l'intérieur du mur, formé d'une maçonnerie de blocage, tasse beaucoup plus que les parements auxquels on a donné plus de soin et où il entre moins de mortier. Il résulte souvent de cette circonstance une séparation entre les parements et la maçonnerie intérieure, que l'on doit chercher à empêcher par les moyens les plus convenables.

Précautions à prendre pour prévenir ses effets. — On doit d'abord, dans ce but, relier, aussi bien qu'on le peut en montant le mur, les parements à la maçonnerie intérieure au moyen de moellons à longue queue, que l'on place dans toute l'étendue du mur, à distance à peu près régulière les uns des autres. En second lieu, on ne doit rien négliger pour bien asseoir et affermir les blocailles de la maçonnerie intérieure, afin de réduire son tassement au minimum.

Mais indépendamment de ces précautions, il est convenable de fortifier la liaison par l'une ou l'autre des dispositions suivantes :

1° On place en quinconce, et à environ 1 mètre les unes des autres, des pierres prismatiques, dites *boutisses*, longues de $0^m,80$ à 1 mètre et ayant en tête 25 à 30 centimètres et en carré. Ces boutisses sont seulement poinçonnées ou ciselées à la tête, la queue est simplement dégrossie au marteau. Elles doivent faire *parpaing* lorsque le mur n'a pas trop d'épaisseur. Quand cette épaisseur est considérable, il convient de les relier deux à deux par des agrafes en fer ou tout au moins de les agrafer à quelque grosse pierre de l'autre parement. Ces diverses dispositions sont représentées par la *fig.* 298 et les détails qui l'accompagnent.

2° On établit, dans le sens de la longueur du mur, des chaînes horizontales en pierre de 20 à 25 centimètres d'épaisseur, formées de pierre de 25 à 30 centimètres de queue sur $0^m,80$ à 1 mètre de long. Ces pierres sont reliées entre elles au moyen d'agrafes en fer scellées au plomb ou au plâtre. Lorsque le mur est parementé des deux

côtés, on établit des chaînes semblables dans chaque parement, et l'on relie chaque couple par des tirants en fer méplat de très-petit échantillon, dont les extrémités sont scellées. Quand le mur n'a qu'un parement, chaque chaîne est ancrée de la même manière à de grosses pierres qu'on a soin de placer aux endroits convenables du côté opposé. Les tirants ou ancres doivent être espacés à environ $1^m,50$ de distance l'un de l'autre. Il suffit de placer les chaînes de deux en deux mètres pour obtenir une très-bonne liaison Ces diverses dispositions sont représentées par la *fig.* 299 et les détails qui l'accompagnent.

Ce moyen de liaison est de beaucoup préférable au précédent. D'abord il coûte moins cher, et en second lieu les tirants en fer ont l'avantage de se prêter sans se briser aux tassements intérieurs de la maçonnerie, tandis que les boutisses se cassent bien souvent, en pareil cas, dans le plan de séparation du parement et de la maçonnerie intérieure. De plus, les ancres en fer offriraient, en cas de chute accidentelle du parement, le moyen de relier facilement et solidement à la maçonnerie restante, le nouveau parement que l'on construirait, tandis que des boutisses brisées ou fortement ébranlées ne peuvent remplir le même office.

310. Cirage et jointoiement. — Toutes les maçonneries en moellons qui ne sont pas destinées à être recouvertes d'enduits doivent être cirées ou jointoyées.

Le *cirage* consiste à comprimer fortement, au moyen d'un outil particulier, et à le lisser, le mortier qui reflue aux joints du parement. Cette opération doit se faire aussitôt que le mortier a pris assez de consistance pour se lisser ou se cirer sous la pression de l'outil.

Le *jointoiement* s'exécute comme pour les maçonneries d'appareil, seulement l'opération demande quelques soins particuliers, à cause de l'importance qu'elle acquiert dans ce cas, par suite du nombre de la grandeur et de l'irrégularité des joints.

Les jointoiements doivent être faits, pour bien réussir, en temps humide et à l'ombre, afin d'éviter une trop rapide dessiccation du mortier. Le mortier qu'on y emploie doit être d'autant plus hydraulique qu'on approche davantage de la fin de la bonne saison. Il doit nécessairement être bien durci avant l'hiver; car, dans le cas contraire, il est attaquable par la gelée, et l'ouvrage est souvent à recommencer au printemps suivant. Enfin, on doit faire en sorte que chaque joint de mortier soit sans bavures ou lèvres sur les pierres adjacentes. Ces bavures forment autant de gouttières où l'eau se rassemble, et quand elle se gonfle par l'effet de la congélation, elle fait éclater le joint. Dans un jointoiement bien fait, tous les joints doivent présenter un léger dos d'âne (*fig.* 300).

En général, les cirages tiennent mieux que les jointoiements et ils coûtent moins cher.

311. Emploi des maçonneries en moellons. — Les maçonneries en moellons servent non-seulement à la construction de murs de toute espèce, mais on peut aussi les employer à celle de voûtes de moyennes dimensions. Dans ce dernier cas, on donne aux moellons la forme plus ou moins approchée de voussoirs, afin de dimi-

nuer l'épaisseur des joints de mortier et les tassements qui s'ensuivent. Ces moellons portent le nom de *pendants*.

Ces maçonneries, bien exécutées, sont très-bonnes, très-solides, très-économiques et d'un entretien peu coûteux. Elles sont très-employées, principalement dans les provinces du Hainaut, de Namur, de Liége et de Luxembourg. Un grand nombre de bâtiments militaires et presque tous les murs de soutènement des forteresses de Charleroi, de Namur, de Philippeville, de Dinant et de Huy, sont faits en maçonnerie de moellons. Les murs de revêtement des fortifications de Paris sont également en moellons de pierre meulière, et il en est de même d'un grand nombre de quais et d'autres ouvrages de cette capitale. Lorsqu'elles sont encadrées dans des chaînes verticales et horizontales en pierres de taille, les maçonneries en moellons font en général très-bon effet. Elles ont un caractère de sévérité qui convient parfaitement aux constructions militaires et aux ouvrages d'art.

312. Maçonnerie sèche en moellons. — On fait quelquefois des maçonneries sèches en moellons : c'est ce que l'on appelle des *perrés*. Les perrés se construisent exactement d'après les mêmes principes que les autres maçonneries ; seulement, comme on n'a pas la ressource du mortier pour asseoir les pierres les unes sur les autres, c'est une raison de plus pour les rechercher aussi bien gisantes que possible. On les affermit d'ailleurs au moyen de cales en pierres, lorsque cela est nécessaire. Les perrés servent surtout à revêtir des talus d'ouvrages en terre exposés à l'action de l'eau.

III. — MAÇONNERIES EN BRIQUES.

313. Leur emploi. — Les maçonneries en briques sont d'une très-facile exécution, à cause de la petitesse et de la régularité des matériaux employés. Elles conviennent très-bien pour les ouvrages hydrauliques, à cause de leur impénétrabilité à l'eau, et l'on peut en faire des murs et des voûtes de toutes formes et de toutes dimensions.

314. Détails d'exécution. — L'arrangement des briques pour obtenir de bonnes liaisons varie suivant l'épaisseur des murs. Nous allons indiquer les combinaisons les plus usitées.

Notons auparavant que dans les maçonneries de cette espèce, on appelle *as* ou *lit* ce qu'on désigne sous le nom d'*assise* dans les maçonneries précédentes, et *panneresse* ce qu'on appelle *carreau* dans la maçonnerie d'appareil.

Manières d'arranger les briques dans des murs de diverses épaisseurs. — Dans les murs composés, dans le sens de leur épaisseur, d'une seule brique posée de champ ou à plat et en panneresse, les briques s'arrangent comme le montrent les *fig.* 301 et 302, *pl.* XIV. Les extrémités des briques de chaque tas supérieur tombent sur le milieu ou au tiers de celles du lit inférieur.

Dans les murs d'une brique boutisse d'épaisseur, les briques peuvent être déjà combinées d'un grand nombre de manières. Les plus usitées sont celles représentées par les *fig.* 303, 304 et 305. La *fig.* 305 représente l'arrangement adopté par les maçons belges.

Le mur est alternativement composé de lits de boutisses et de panneresses posées plein sur joint. Les joints montants de tous les tas de boutisses sont sur de mêmes verticales, dans toute l'étendue du mur, tandis que ceux des tas de panneresses ne se correspondent que de cinq en cinq tas.

Cette combinaison est connue des maçons flamands et hollandais sous le nom de *kruisverband*. Ils la considèrent, ainsi que nous, comme la meilleure. Les maçons wallons l'appellent maçonnerie *en losange* (1).

La *fig.* 304 représente un arrangement très-fréquemment employé en Angleterre et connu sous le nom de *Flemish bond*. Chaque tas est composé alternativement de boutisses et de panneresses disposées comme dans l'appareil diatonous (244).

La *fig.* 303 représente un autre arrangement usité en Angleterre et connu sous le nom d'*English bond*. C'est le même que celui des maçons belges, avec cette différence que que les joints montants des panneresses, aussi bien que ceux des boutisses se correspondent verticalement dans tous les tas.

On concevra aisément que ces combinaisons de boutisses et de panneresses peuvent être variées de mille manières ; mais quelle que soit celle que l'on adopte, il faut chercher à satisfaire aux deux conditions suivantes :

1° Eviter la continuité des joints verticaux dans deux tas consécutifs, aussi bien dans le sens de la longueur que dans celui de l'épaisseur du mur, parce que ce serait, on le conçoit, rompre la liaison en ces points :

2° Faire en sorte que l'interruption des joints montants soit la plus grande possible, car on doit comprendre que de là dépend principalement la force de l'appareil.

En effet, en cas de tassements inégaux dans le sol ou dans la maçonnerie, les briques tendent à se briser dans le prolongement de ces joints montants, et plus l'intervalle qui les sépare sera grand, plus aussi sera grande la section de rupture et la résistance qui en résultera.

En partant de ces principes, il est aisé d'apprécier la bonté relative des trois espèces d'appareils que nous venons d'indiquer.

On remarque d'abord qu'ils satisfont, l'un aussi bien que l'autre, à la première des deux conditions ci-dessus. Quant à la seconde, on observe que sur une longueur de briques :

1° L'appareil en losange offre quatre joints montants; que pour deux de ces joints seulement la grandeur de l'interruption est d'un tas de briques, tandis qu'elle est de trois tas pour les deux autres.

2° Le *Flemish bond* offre à peu près deux tiers de joints montants interrompus par l'épaisseur d'un tas de briques.

3° L'*English bond*, enfin, présente trois joints dans les mêmes conditions.

On peut donc conclure que le premier l'emporte certainement sur le dernier et qu'il offre même un avantage assez marqué sur le second. D'ailleurs, il est d'une exécution beaucoup plus facile que celui-ci, surtout dans les murs d'une grande épaisseur.

---

(1) Cet appareil est celui que prescrivent les *Conditions générales*.

Pour les murs plus épais qu'une brique boutisse, les dispositions peuvent varier à l'infini ; mais celle qui est la plus employée par nos maçons et qui satisfait le mieux à la condition d'une bonne liaison en tous sens, consiste à monter les deux parements du mur en *kruisverband* et à remplir l'intervalle au moyen de briques posées toutes en boutisses. Dans les très-gros murs et dans ceux des ouvrages hydrauliques principalement, de cinq en cinq tas, ou de six en six tas, on peut former le remplissage intérieur d'un ou deux tas de briques posées en diagonale et croisées (1) (*fig.* 306 et 307).

En France, dans les travaux du génie militaire, les parements des gros murs se font différemment. On les compose entièrement de briques posées en boutisse; mais afin d'obtenir la liaison du parement avec la maçonnerie intérieure, on place alternativement dans chaque tas une brique entière suivie d'une demi-brique, comme on le voit dans la *fig.* 308.

Cette disposition, qui offre, à ce qu'on dit, l'avantage de résister, mieux que toute autre aux accidents que produisent les écorchements d'une demi-brique (2), présente selon nous, plusieurs inconvénients :

1° La liaison des briques dans le sens longitudinal du parement n'est pas aussi complète que dans la disposition précédente.

2° La nécessité d'employer un grand nombre de demi-briques occasionne un déchet considérable ou facilite l'emploi de matériaux qui ne sont pas de la meilleure qualité.

3° Enfin, et c'est là peut-être son plus grave inconvénient, cette disposition donne au parement un bien plus grand nombre de joints que le système dont nous faisons usage. En comparant, par exemple, deux murs construits en *klampsteen*, l'un selon le système belge, l'autre suivant la méthode française, on trouve que les développements de leurs joints sont dans le rapport de 26,30 à 29. Or, plus les joints sont nombreux dans une maçonnerie, plus les chances de destruction sont grandes, et en outre plus la dépense d'entretien en rejointoiement est considérable.

Les faibles avantages que présente le système français ne nous paraissent donc pas racheter ses inconvénients.

Arrangements des briques dans les têtes de murs, les couronnements, les capes. — Les diverses dispositions que nous venons de décrire, sont applicables seulement au corps des murs. On doit en employer d'autres pour les abouts ou les têtes, pour les retours d'équerre, les couronnements, les capes, etc.

Nous avons rassemblé quelques-unes des dispositions les plus usitées dans les *fig.* 309 à 315.

La disposition représentée *fig.* 309 pour les têtes de murs et les retours d'équerre est celle qui est presque toujours employée par nos maçons. On doit lui préférer celle que représente la *fig.* 310. On évite ainsi l'emploi de quarts de brique qui font mauvais

---

(1) *Stroomlagen* des *Conditions générales.*
(2) Notes au *Devis modèle français*, p. 103.

effet et ont peu de solidité (1). Les *fig.* 309 à 314 représentent divers couronnements en briques de champ et en cape. Ces parties étant les plus exposées, doivent être faites avec des briques de choix. Quand les murs font des angles rentrants ou saillants, on recouvre ordinairement ces parties angulaires au moyen de pierres de taille offrant la forme voulue pour se raccorder avec les parties adjacentes en briques. Ces pierres marquées A (*fig.* 311 et 314) doivent toujours être ancrées dans les maçonneries. Finalement, la *fig.* 315 représente une disposition en épi fréquemment employée pour terminer les parties inclinées des murs en aile de profil, etc. Elle est beaucoup plus solide que les autres par lesquelles on pourrait la remplacer.

Voûtes en briques. — Les voûtes en briques peuvent se construire de différentes manières ; mais il est un principe que l'on ne doit jamais perdre de vue : c'est que dans toutes les voûtes, sauf celles en plante-bande, les joints doivent toujours être normaux à la courbe d'intrados.

Suivant leur destination et leur importance, les voûtes peuvent être composées d'un ou de plusieurs rouleaux de briques posées à plat ou de champ, en boutisse ou en panneresse, ou même formées de plusieurs briques reliées comme dans les murs ordinaires :

Les voûtes plates (dites *en impériale*, quand elles sont en arc de cloître), dont on recouvre quelquefois les appartements, en remplacement de planchers, peuvent être composées de deux lits de briques superposés à plat, ou d'un lit de briques de champ maçonnées au plâtre ou avec un bon mortier hydraulique. On a fait des voûtes de cette espèce, en anse de panier, qui avaient jusqu'à 10 mètres de portée et seulement $\frac{1}{5}$ de la portée pour flèche. On en a fait d'autres en arc de cercle de 6 mètres environ de largeur et dont la flèche n'était que de $\frac{1}{14}$ de la portée. Ces voûtes sont très-solides quand elles sont exécutées avec beaucoup de soin. Nous avons représenté les deux dispositions indiquées plus haut dans les *fig.* 316 et 317.

Les briques creuses sont d'un emploi très-avantageux pour la construction de ces voûtes légères. On en a fait un assez grand usage dans les édifices publics de Paris.

Les voûtes des caves, des casemates, des bâtiments à l'épreuve de la bombe, des ponts, ponceaux, aqueducs, etc., etc., se construisent différemment.

Quand elles ne doivent pas avoir plus d'une brique ou d'une brique et demie d'épaisseur, on les compose de briques reliées comme des murs ordinaires, en observant seulement que les plans de lit concourent vers le centre de courbure de l'intrados.

Comme, à raison de cette disposition et de l'égale épaisseur des briques, les joints deviendraient beaucoup plus grands à l'extrados qu'à l'intrados au delà de cette épais-

(1) On pourrait encore obtenir le même résultat par une autre disposition qui consisterait à conserver l'arrangement représenté par la *fig.* 309, sauf à y remplacer les demi-briques suivi de quarts de briques par des trois quarts. Ces quarts et trois quarts de briques sont nommés *clausoirs*. Les Anglais appellent *clausoir-reine* (queen closer) ceux de $\frac{1}{4}$ de brique et *clausoir-roi* (king-closer ceux de $\frac{3}{4}$.

seur d'une brique et demie, on compose les voûtes plus épaisses de plusieurs rouleaux superposés et indépendants, construits de la même manière que le premier (*fig.* 318, *pl.* XV).

Cette méthode est suivie presque sans exception en Belgique, en Hollande et en France. En Angleterre on a adopté d'autres dispositions Quelle que soit l'épaisseur de la voûte, les Anglais la composent d'une suite de rouleaux d'une brique panneresse chacun. La différence de la largeur des joints se trouve par là réduite à son minimum, ainsi que le tassement des voûtes. Nous avons représenté cette disposition dans la *fig.* 319.

La *fig.* 320 donne un exemple d'une plate-bande en briques, dans lequel tous les tas concourent vers un centre commun placé de manière que le triangle ACB soit équilatéral.

La *fig.* 321 représente une disposition communément adoptée en Angleterre.

315. Observations générales relatives aux maçonneries de briques. — Pose des briques. — Dans toute maçonnerie en briques, les briques doivent être posées à bain flottant de mortier, tout en réduisant les joints à leur moindre épaisseur. Dans une maçonnerie soignée, cette épaisseur ne doit pas aller au delà de 6 à 7 millimètres. Les briques doivent être affermies à la main seulement et sans les frapper avec la tranche de la truelle, ainsi que le font les maçons. On a observé que les briques adhéraient mieux au mortier lorsqu'on opérait ainsi. On peut cependant tolérer la méthode habituelle des maçons pour les parements, qu'il est fort difficile de bien monter autrement ; mais pour l'intérieur des maçonneries, on doit exiger que les briques soient posées à la main seulement et sans les frapper. On les frotte en les comprimant avec force dans un lit de mortier, que l'on fait fluer de toutes parts. Cette méthode est d'ailleurs plus expéditive que l'autre quand les maçons en ont acquis l'habitude.

Il faut mouiller les briques avant de les poser. — Les briques étant des matériaux très-absorbants, il est indispensable de les mouiller, surtout par des temps secs, avant de les maçonner. Chaque maçon doit avoir près de lui un baquet plein d'eau, dans lequel il plonge la brique au moment de la mettre en place ; mais comme en général les ouvriers aiment à se dispenser de cette opération, il vaut mieux charger spécialement quelques manœuvres d'arroser les briques sur le tas. Dans les grands travaux, on s'est quelquefois servi, à cet effet, de pompes à incendie. Il est bien entendu que les briques ne doivent pas être assez mouillées pour délayer le mortier.

Précautions particulières à observer dans la construction des parements. — Tous les tas doivent être parfaitement horizontaux et les joints montants se correspondre verticalement, suivant ce qui a été dit plus haut. Lorsqu'on maçonne en *kruisverband*, on vérifie aisément et d'un seul coup d'œil si cette précaution a été bien observée par le plus ou moins de régularité des losanges que forme l'ensemble des joints tant horizontaux que verticaux de la maçonnerie.

Si la maçonnerie est exposée aux pluies battantes amenées par les mauvais vents, il faut faire le parement en bon mortier hydraulique, tandis que l'intérieur peut être fait en mortier ordinaire. Enfin, l'on doit choisir pour les parements les meilleures briques, c'est-à-dire les mieux cuites, les mieux moulées et d'une couleur uniforme.

316. Cirage et jointoiement. — Les maçonneries en briques non destinées à être

recouvertes d'enduits doivent toujours être cirées ou jointoyées, ainsi que cela a été indiqué à l'article des maçonneries en moellons, et en observant les mêmes précautions.

317. Boutisses et chaînes. — Les maçonneries en briques tassent beaucoup plus régulièrement que celles en moellons, et les moyens de liaison que nous avons indiqués pour ces maçonneries sont en général superflus. Cependant, on trouve dans les vieilles constructions des exemples assez nombreux où l'on en a fait usage. Dans les constructions modernes, on se borne seulement à renforcer les parties les plus exposées par des chaînes horizontales et verticales, des dés ou des pierres d'angle disposés de diverses manières, et ancrés dans la maçonnerie quand cela est nécessaire.

IV. — MAÇONNERIE EN BÉTON.

318. Composition. — Le béton est un composé de cailloutis, de fragments de briques ou de recoupes de pierres d'un petit volume, et de mortier plus ou moins hydraulique en quantité suffisante non-seulement pour remplir les intervalles des fragments de pierre ou de cailloutis, mais encore pour empêcher que, dans aucun point, il n'y ait de contact immédiat entre eux.

Le vide existant au milieu d'une masse de cailloutis ou de recoupes de pierre s'estime facilement au moyen de l'expérience suivante :

On place une certaine quantité de cette blocaille, un quart de mètre cube, par exemple, dans une auge bien étanche ; puis on y verse de l'eau avec une mesure connue, jusqu'à ce que le liquide affleure la surface supérieure du cailloutis arasée bien horizontalement. Le volume d'eau versée est égal à celui des vides.

On a reconnu, au moyen d'expériences de ce genre, que le vide existant dans un volume de pierres concassées de diverses formes et grosseurs pouvait approximativement s'estimer ainsi qu'il suit :

Pour des pierres concassées en petites masses à peu près cubiques ou anguleuses de toutes grosseurs, le vide varie de 46 à 50 p. 100 du volume occupé par le cailloutis.

Pour le gravier et les galets arrondis, et quelle que soit aussi leur grosseur, il est de 37 à 40 p. 100.

Suivant la remarque faite ci-dessus, on ajoute en mortier la moitié ou le tiers en sus du vide constaté.

On emploie rarement la blocaille en fragments cubiques plus gros que 4 à 5 centimètres de côté. Les galets ne doivent pas être plus gros qu'un œuf de poule.

319. Manipulation. — Les proportions de cailloutis et de mortiers ayant été convenablement déterminées d'après le procédé qu'on vient d'indiquer et le mortier ayant été fabriqué à part au degré d'hydraulicité voulu, on mélange les matières, au moyen de râteaux ou de griffes en fer en les labourant et retournant plusieurs fois sur une aire pavée en dalles, en briques ou couverte en madriers, jusqu'à ce que le mélange soit aussi parfait que possible.

Ordinairement on forme à l'une des extrémités de l'aire un tas composé de couches

alternatives de cailloutis et de mortier, et on l'attire, de l'autre côté, au moyen de griffes ou de herses en fer mues par des hommes ou par des chevaux. Quelques ouvriers placés à la suite de râteaux ramassent et jettent en avant ce qui reste de béton en arrière. On fait ainsi plusieurs allées et venues, jusqu'à ce qu'on ait obtenu l'effet désiré.

On s'est quelquefois servi avec succès du procédé suivant : les approvisionnements de blocaille et de mortier sont faits à quelque distance du lieu où l'on doit employer le béton. On les mélange grossièrement et on les transporte sur l'emplacement dans des caisses carrées garnies de quatre barreaux en fer à l'intérieur et fixées à deux roues dont elles suivent le mouvement de rotation. Le béton arrive très-bien mélangé.

Généralement, lorsqu'on a à fabriquer de grandes quantités de béton, on se sert aujourd'hui d'une *machine à coffres* dont la *fig.* 325 *bis* et les explications suivantes donneront une idée.

Sur un bâti solide en charpente sont montés 10 coffres en fonte ou en tôle A tournant autour de tourillons *b* et armés de poignées *c*, qui servent à la manœuvre ; en avant et à l'arrière du bâti sont construits deux aires de planches, sur lesquelles on place d'une part les matériaux grossièrement mélangés, d'autre part le béton fabriqué.

Les matériaux grossièrement mélangés sont jetés à la pelle dans le premier coffre situé à l'arrière de la machine, et lorsqu'il est suffisamment rempli, des ouvriers saisissent les poignées C, le font tourner de manière à en déverser le contenu dans le coffre qui se trouve devant, puis ils remettent le coffre vide dans la première position et, tandis qu'on l'emplit de nouveau du mélange, ils déversent le contenu du *deuxième* coffre dans le troisième et ainsi de suite. Le béton après son transvasement successif dans les dix coffres arrive parfaitement trituré sur l'aire située à l'avant de la machine. — Dix hommes suffisent pour le service de cet appareil et peuvent fabriquer 35 mètres cubes de béton par journée de 10 heures de travail. L'installation de l'appareil coûte environ 500 francs.

Par l'effet de la manipulation, le volume total des matières (mortier et cailloutis) employées se réduit d'environ 10 p. 100.

320. Emploi du béton. — Le béton est surtout employé dans les travaux de fondations des ouvrages hydrauliques. On le coule dans des coffres en charpente ou dans des excavations convenablement disposées, par des procédés et en prenant des précautions que nous décrirons dans la quatrième partie. Il doit être d'autant plus hydraulique que l'action de l'eau est plus à redouter.

On a fait aussi en béton des murs et des voûtes d'une grande solidité et très-économiques. Nous citerons, entre autres, le mur de mer de Brighton, sur la côte d'Angleterre, qui a environ 1,600 mètres de long, 15 à 18 mètres de haut, 1 mètre d'épaisseur au sommet et 3 mètres environ à la base.

Les murs en béton formeraient d'excellents murs de revêtement qui coûteraient moins cher que les murs ordinaires et qui résisteraient probablement mieux au tir en brèche. Un mur de cette espèce, lorsque le mortier a bien pris, peut-être considéré comme formé d'une seule pierre. Il n'exige aucune dépense d'entretien.

La fabrication des murs en béton se fait à peu près comme celle du pisé, dont il sera

question plus loin. On se sert de coffres en charpente formés de panneaux qu'on peut aisément démonter et transporter et dans lesquels on coule le béton par couches régulièrement épaisses. Le béton se tasse d'ailleurs suffisamment de lui-même pour ne pas avoir besoin d'être comprimé.

Les voûtes en béton se coulent sur des cintres ordinaires, mais dont le couchis est remplacé par un plancher tout à fait jointif. Le temps qui s'écoule jusqu'au décintrement varie naturellement avec la vitesse de prise du mortier dont on fait usage.

Dans toutes les maçonneries en béton exposées à l'air, on doit surtout prendre garde que le desséchement ne soit trop actif. Il faut au besoin les arroser avec de l'eau ou les recouvrir de toiles mouillées pour y entretenir une humidité suffisante.

Au lieu de faire les murs et les voûtes tout d'une pièce, comme on vient de le dire, on peut faire, avec le béton, des blocs réguliers plus ou moins volumineux qu'on maçonne ensuite comme des pierres d'appareil. On peut au moyen de moules, donner à ces blocs telle forme qui est nécessaire. Ces moules sont immergés jusqu'à ce que le béton ait acquis un bon degré de dureté.

Nos maçons fabriquent assez souvent dans les fondations, dans les remplissages au-dessus des reins des voûtes et à l'intérieur des gros murs, une sorte de maçonnerie en béton qui acquiert à la longue une grande dureté. Il y jettent pèle-mèle et concassent à coups de marteau des fragments de briques ou de pierres, et quand ils en on fait un lit de 15 à 20 centimètres d'épaisseur, ils y coulent du mortier de chaux fort clair en quantité suffisante pour affleurer sa surface supérieure.

V. — MAÇONNERIE EN PISÉ.

321. Composition. — La maçonnerie en pisé se fait avec de la terre légèrement humectée, qu'on massive fortement dans des moules d'une construction particulière. Ce genre de maçonnerie est employé à la construction des bâtiments ruraux en Espagne, et en France dans les départements méridionaux. Il est très-économique et très-durable dans ces contrées, mais il est présumable qu'il réussirait moins bien dans un pays plus humide. Le pisé est inconnu en Belgique et dans le nord de la France, mais nous pensons qu'on pourrait l'y introduire avec quelque succès en modifiant tant soit peu le mode de préparation de la terre. Il suffirait peut-être de la mélanger avec une légère quantité de bonne chaux hydraulique en pâte ou en poudre, ou de l'humecter convenablement avec du lait de chaux de même qualité, pour obtenir un pisé susceptible de résister pendant longtemps aux intempéries de notre climat (1).

322. Choix des terres. — Toutes les terres qui ne sont ni trop grasses ni trop maigres sont propres à faire du pisé. La meilleure est la *terre franche* (2) qui est un peu

---

(1) J'ai fait construire de cette manière une étable et une écurie au camp de Beverloo. Ces constructions ont maintenant environ dix années d'existence et elles ont résisté d'une manière satisfaisante.

(2) On désigne sous le nom de *terre franche* la terre jaunâtre que l'on trouve dans la plupart des lieux immédiatement au-dessous de la terre végétale.

graveleuse. Toutes les fois qu'avec une pioche, une bêche ou une charrue, on enlève des mottes de terre qu'il faut briser pour les désunir, cette terre est bonne pour piser. Les terres cultivées, les terres de jardin, les terres naturelles formant des berges qui se soutiennent presque à plomb ou avec peu de talus, peuvent être employées avec succès.

323. Préparation des terres. — Pour préparer la terre, il faut l'écraser et la faire passer par une claie moyenne pour en extraire les pierres qui excéderaient la grosseur d'une noix. Si la terre est trop sèche, on la mouille par aspersion, en la remuant avec une pelle pour l'humecter également. Il suffit qu'elle soit un peu humide, de manière qu'en en prenant une poignée elle puisse, étant jetée sur le tas, conserver la forme qu'on lui a donnée en la pressant un peu dans la main.

324. Fabrication. — On se sert pour fabriquer le pisé d'un moule dont l'ensemble est présenté dans la *fig.* 322. Il est composé de deux parois en planches (*fig.* 323), nommées *banches* et de quatre châssis représentés *fig.* 324. Chacun de ces châssis est formé d'une traverse *a*, appelée *clef* ou *lassonier*, longue de $1^m,13$ et de 10 centimètres d'équarrissage, et de poteaux ou *aiguilles b*, longs de $1^m,46$ et de même grosseur que les lassoniers. Ces aiguilles s'assemblent dans le lassonier, ainsi qu'on le voit dans les *fig.* 322 et 324, et sont maintenues à distance convenable par une entretoise *d*, appelée *gros de mur*, contre laquelle elles sont serrées par le moyen d'une corde tordue, comme celles qu'on voit aux armatures des scies de menuisier.

Les dimensions intérieures du moule sont d'environ 54 centimètres de largeur, $2^m,25$ de longueur et $0^m,90$ de hauteur.

La terre, préparée ainsi que nous l'avons dit plus haut, est étendue dans le moule par couches d'environ 10 centimètres d'épaisseur, qu'on réduit de moitié par le pilonnage. Cette opération s'exécute au moyen d'une dame d'une forme particulière appelée *pisoir*, que nous avons représentée *fig.* 325. On forme ainsi un massif qui a les dimensions intérieures du moule, mais qu'on termine par deux plans inclinés à 60° avec l'horizon.

Le même moule sert à faire successivement tous les massifs qui composent les diverses assises du mur. Aussitôt qu'une *banchée* est terminée, on démonte le moule et on le transporte plus loin, de manière que les banches recouvrent en entier la partie en talus qui termine la banchée précédente. On continue de la même manière jusqu'au bout du mur.

Les extrémités des assises devant se terminer carrément, il devient nécessaire, lorsqu'on est arrivé à ce point, de compléter le moule par une troisième banche qu'on y assemble solidement, mais de manière pourtant à pouvoir la démonter sans difficulté.

Lorsqu'on a terminé une assise, ainsi que nous venons de l'expliquer, on passe à la suivante, qui s'exécute exactement de la même manière, mais en observant d'incliner les talus des banchées en sens inverse de ceux de l'assise précédente. Aux angles du mur les extrémités des assises sont construites en liaison, c'est-à-dire que l'extrémité des assises d'un des murs recouvre et est recouverte alternativement par celle des assises de l'autre mur.

Ordinairement, les murs en pisé s'établissent sur un soubassement en pierre ou en maçonnerie de briques, afin de les préserver de l'humidité. L'on garnit également en pierre ou en maçonnerie de briques le pourtour des ouvertures des portes et des fenêtres. Lorsque les murs sont complétement secs, on les enduit d'un crépi de plâtre ou de mortier de chaux.

Nous avons passé sous silence une foule de petits détails dont il serait bon de s'enquérir si l'on voulait faire quelque essai de ce genre de construction. On pourra au besoin consulter Rondelet, *Art de bâtir*, t. I, p. 103 et suiv., d'où nous avons extrait ce qui précède.

On fait usage en Suède d'une autre espèce de pisé, qui résiste fort bien dans ce pays. En 1828, un incendie ayant réduit en cendres la ville de Bocas, un architecte nommé Ridyn imagina de la reconstruire au moyen d'un pisé formé de sable allié à un dixième de chaux en poudre, le tout fortement tassé dans des moules semblables à ceux décrits plus haut (324). La réussite de ce genre de construction a été complète et depuis lors il s'est importé dans d'autres villes de la Suède et même à Stockholm, où l'on a construit de cette manière des maisons à plusieurs étages. Les murs se font entièrement pleins et l'on découpe ensuite à la scie les baies des portes et des fenêtres. — Ce genre de construction est fort économique et peut être employé partout (1).

Un ingénieur français, M. Coignet, en a fait dans ce dernier temps de très-heureuses applications, et il est parvenu à réaliser dans les environs de Paris des constructions fort importantes, dans lesquelles, non-seulement les murs, mais encore les voûtes et les planchers sont formés de même matière, sans interposition ou secours d'aucune autre, de façon que les édifices réalisés semblent formés d'un seul bloc de pierre tendre, dans lequel on aurait taillé tous les vides. Les procédés de fabrication de M. Coignet sont tout à fait semblables à ceux de la fabrication du pisé, et ses mélanges ont la plus grande analogie avec ceux employés en Suède. Toutefois, pour accélérer la prise de son pisé ou *béton aggloméré*, comme il l'appelle, ou pour le rendre plus résistant, il ajoute parfois au mélange de petites quantités de pouzzolanes naturelles ou factices. Les dernières expériences de M. Coignet ont été faites au port de Saint-Jean-de-Luz (département des Basses-Pyrénées), dans le but de constater que le *béton pisé*, convenablement fabriqué, est susceptible de résister à l'action des eaux de la mer, et les essais semblent avoir donné de bons résultats. — Ce genre de construction mérite donc toute l'attention des constructeurs, et il nous paraît que son application aux murs de revêtement des ouvrages de fortification serait fort à conseiller.

---

(1) En 1851, j'avais proposé au gouvernement de faire étudier ce mode de construction sur les lieux, afin de l'appliquer aux constructions permanentes du camp de Beverloo, ce qui aurait permis de faire une économie qu'on pouvait, sans exagération, évaluer à un million de francs sur l'ensemble des constructions projetées. On n'a pas jugé utile de donner suite à cette proposition et l'on a préféré faire la prétendue économie de la suppression de quelques cordons en briques noires et de quelques accidentements de forme, en gâtant complétement un établissement qui n'eût pas eu son pareil en Europe, si l'on avait réalisé le projet dressé en 1849 à l'inspiration de l'honorable général que les événements politiques de l'an dernier ont replacé à la tête du département de la guerre.

VI. — MAÇONNERIES MIXTES.

325. Les maçonneries *mixtes* sont celles dont le parement et l'intérieur sont construits d'une manière différente.

On fait des maçonneries mixtes dont le parement est en pierre de taille, tandis que l'intérieur est formé d'un simple moellonnage ou même d'un bétonnage. Les Grecs ont souvent fait usage, dans leurs monuments, de ce genre de maçonnerie, qu'on emploie encore très-fréquemment de nos jours ; ils l'appelaient ἔμπλεκτον (*emplecton*).

Dans ce cas, on nomme *appareil réduit*, l'épaisseur moyenne de la maçonnerie en pierre de taille, épaisseur qu'on obtient en divisant la surface totale du parement par la queue moyenne des assises.

On a fait aussi des maçonneries mixtes dont le parement est en moellons ou en briques et l'intérieur en béton.

Enfin, M. le colonel du génie Bergère a proposé, pour les murs de revêtement des fortifications, une maçonnerie en pisé renfermée dans un coffre en maçonnerie de briques. Nous ignorons si cette construction a été réalisée ; mais, à coup sûr, elle mériterait d'être expérimentée.

VII. — OBSERVATIONS SUR LES MAÇONNERIES EN GÉNÉRAL.

326. Époque propre à l'exécution des maçonneries. — Dans nos contrées, l'époque la plus favorable à l'exécution des maçonneries de toute espèce est celle comprise entre la mi-avril et la mi-octobre. Les maçonneries faites avant ou après cette époque sont très-souvent détériorées par les gelées.

327. Précautions à observer dans la construction des murs et des voûtes. — 1° Lorsque l'on construit des bâtiments composés de plusieurs murs, on doit, autant que possible, les monter tous à la fois et de la même quantité. De cette manière, on relie mieux tous ces murs entre eux et l'on charge également le terrain sur tous les points, ce qui est très-important, surtout quand il est plus ou moins compressible. Quand on monte d'un seul coup de grandes parties de murs pour y relier ultérieurement d'autres maçonneries, il en résulte presque toujours des tassements inégaux et des *lézardes*. Lorsqu'il est impossible toutefois de faire autrement, on doit ménager, à l'extrémité des maçonneries faites, des amorces ou *harpes* inclinées autant que possible à 45°.

2° Les voûtes doivent se monter symétriquement à partir des naissances, afin de rendre leur tassement uniforme, de charger également les cintres et d'empêcher qu'ils ne se déforment d'une manière désagréable à l'œil.

3° Quand les voûtes sont composées de plusieurs rouleaux, on doit éviter de trop serrer les joints des derniers rouleaux vers la clef, ainsi que le font quelquefois des maçons inexpérimentés. Par suite du tassement qui s'opère quand on décintre, ces joints tendent à se serrer beaucoup plus que ceux des rouleaux situés vers l'intrados, et il en résulte, si l'on n'a pas pris cette précaution, que les rouleaux supérieurs ne peuvent suivre le mouvement des rouleaux inférieurs, et par suite des désunions fâcheuses ont lieu.

4° Il faut empêcher, en montant toute espèce de mur ou de voûte, que les ouvriers ne marchent sur la maçonnerie. Cela la salit et casse les mortiers qui ont encore trop peu de consistance. Quand on ne peut s'en dispenser, il faut les recouvrir de planches.

5° Quand une brique, un moellon ou une pierre quelconque a été mal placée ou se trouve dérangée, on doit la dégarnir de tout le vieux mortier qui l'enveloppait et la reposer avec du mortier frais.

6° Lorsqu'une maçonnerie doit être abandonnée pendant l'hiver, pour être reprise au printemps suivant, il faut en abriter le sommet avec des paillassons ou des planches. Au moment de la reprise, on la nettoie en enlevant avec soin toutes les ordures et les parties de mortier détériorées, puis on l'arrose avant de poser les premiers tas. Ces dernières précautions doivent être observées, en outre, chaque fois qu'on reprend des parties de murs abandonnées pendant plusieurs jours consécutifs.

328. Échafaudages et cintres. — Les échafaudages et les cintres dont se servent les maçons sont tout à fait semblables à ceux précédemment décrits (252 et 253). Seulement ils se font le plus souvent dans de plus petites dimensions, et d'une manière plus légère, à cause de la petitesse des matériaux, qui les chargent moins que des pierres d'appareil.

L'échafaudage le plus employé est représenté *fig.* 326 : il se compose de perches ou *espars* A, plantées verticalement dans le sol, à 1 mètre environ de distance du parement du mur à élever et à 1m,50 ou 2 mètres les unes des autres. De deux en deux mètres elles sont reliées par d'autres perches horizontales B, appelées *filières* ou *tendières*, qu'on fixe avec des nœuds de corde, et finalement on attache de la même manière aux filières d'autres bouts de perches C appelés *boulins*, qui, par leur autre bout, portent sur la maçonnerie en exécution. Les filières et les boulins forment ainsi la charpente d'un plancher grossier, qu'on recouvre de madriers en bois blanc ou en sapin que l'on monte successivement d'étage en étage au fur et à mesure que la maçonnerie s'élève.

Ces dispositions doivent d'ailleurs se modifier suivant les circonstances; mais il faut, en tout état de cause, adopter les plus économiques du moment qu'elles offrent toute garantie de sécurité pour les ouvriers. Par exemple, si l'édifice est divisé par des planchers, il suffira de supporter les échafaudages au moyen de chevalets grossiers ou de tonneaux vides que l'on fait porter sur la charpente des planchers, recouverte de quelques madriers ; si l'on monte une haute cheminée de machine à vapeur, la tour d'un phare, etc., etc., on place de distance en distance, et à mesure qu'on s'élève, des pièces de bois portant sur la maçonnerie et servant de support à des planchers provisoires qu'on enlève par la suite. Les trous d'encastrement des pièces de bois sont bouchés ultérieurement avec de la maçonnerie quand on démonte les échafaudages.

Pour les petites voûtes, les cintres se composent souvent de simples panneaux en planches ou en madriers, sur lesquels on cloue un lattis ayant la forme de l'intrados de la voûte. Quelquefois, et lorsqu'il s'agit de voûtes compliquées surtout, le cintre se compose d'un plancher, supporté par des étais ou des chevalets, recouvert de terre ou de sable, dont la surface supérieure est dressée suivant la forme de l'intrados de la voûte. On se sert pour cela de quelques patrons et de règles. Pour les voûtes de ca-

ves, on fait souvent servir le terrain même de support à la voûte. On le déblaye ensuite lorsqu'elle est formée et solidifiée (1).

Pour les grandes voûtes, les cintres offrent des combinaisons tout à fait analogues à celles dont on fait usage pour les voûtes appareillées. Seulement le couchis à claire-voie doit être remplacé, pour bien faire, par un plancher jointif parfaitement dressé suivant l'intrados de la voûte.

Le décintrement des voûtes en moellon, en briques ou en béton, exige d'ailleurs les mêmes précautions que celui des voûtes en pierre de taille.

329. Outils du maçon. — Le maçon emploie les outils suivants :

1° Une *truelle* (*fig.* 327) pour prendre et étendre le mortier ; elle est en cuivre quand on se sert de plâtre.

2° Une petite truelle effilée appelée *repareresse* (*fig.* 328) ; elle sert à faire les jointoiements.

3° Un *crochet à recirer* (*fig.* 329).

4° Un *marteau* (*fig.* 330) ; d'un côté il a une tête carrée et de l'autre un tranchant acéré. La tête sert à débiter les moellons et à les affermir sur le lit de mortier ; le tranchant sert à tailler les moellons qui n'ont pas la forme convenable.

5° Un *cordeau* avec deux fiches en fers (*fig.* 331). On le tend horizontalement à la hauteur de chaque tas de briques ou de moellons pour se guider. Quand on maçonne en moellon par relevés, on le tend seulement à la hauteur de chaque relevé.

6° Un *fil à plomb* muni de sa noix *a* (*fig.* 332) ; il sert à élever les parements verticaux ou avec le fruit voulu. La noix fait ordinairement une légère saillie sur le plomb ; chaque maçon connaît par expérience de combien il doit laisser filer son plomb avant qu'il vienne toucher le mur pour avoir le *fruit* ou *doux* convenable.

7° Des *niveaux de pente* (*fig.* 333 et 334) pour l'élévation des murs en talus ; ils sont formés d'une planchette et d'un fil à plomb. Le fil à plomb est placé de manière que, lorsqu'il est parallèle à l'un des côtés de la planchette, l'autre donne le talus voulu. Le niveau représenté *fig.* 334 sert surtout à poser les voussoirs. A cet effet, le limbe *cd* porte des divisions au moyen desquelles on obtient l'inclinaison successive des divers voussoirs. Il suffit de faire coïncider le fil à plomb avec la division correspondant à un voussoir donné pour que le côté *a b* donne l'inclinaison du joint de ce voussoir.

8° Un *ciseau* (*fig.* 333 *bis*), barre de fer acérée et tranchante, d'environ $0^m,40$ de longueur. Il sert à creuser des trous dans les maçonneries, à faire des refends, des démolitions, etc.

9° Un *niveau* (*fig.* 335), ordinairement composé d'une planchette en bon chêne bien sec, coupée à angles droits, et d'un fil à plomb battant contre une *ligne de foi* perpendiculaire au côté *ab*. Cet instrument sert d'équerre au besoin.

---

(1) On s'est servi du même moyen pour la construction de quelques viaducs de chemins de fer. Je cite comme un ouvrage remarquable, exécuté de cette manière, le grand viaduc de Boendal, près Bruxelles, sur la ligne du *grand Luxembourg*. Ce bel ouvrage est composé d'une seule arche en briques ayant la forme d'un arc de cercle de 30 mètres d'ouverture.

10° Des *règles* en bois de sapin de diverses grandeurs. On les dresse de distance en distance, suivant le profil du mur, et l'on marque dessus la hauteur des divers tas, assises ou relevés. Les cordeaux se tendent entre ces marques. L'emploi de ces règles de profil est indispensable quand on veut obtenir de belle maçonnerie.

11° Une *règle* de $1^m,30$ de long en bois dur, divisée en centimètres et portant souvent sur une autre face des subdivisions en pieds et pouces. Cette règle sert au maçon pour prendre ses mesures et en outre pour vérifier si les diverses parties de son mur sont droites et planes.

12° Une *auge* en bois dans laquelle les manœuvres déposent le mortier. Ordinairement ces auges sont faites avec des tonneaux coupés en deux (*fig.* 336).

13° Un *oiseau* pour le transport du mortier (*fig.* 337 et 338); celui représenté *fig.* 338, se met à califourchon sur les épaules. Pour descendre le mortier dans les fondations, on établit une espèce de gouttière formée de deux planches clouées à angle droit, allant du bord de la fouille au fond de l'auge à mortier.

Chaque maçon doit être servi par un manœuvre ou compagnon au moins.

ARTICLE III.

ART DU PLAFONNEUR ET DU STUCATEUR.

330. Les murs en moellons et en briques sont souvent recouverts, dans les intérieurs surtout, d'un placage en mortier qui porte le nom de *crépi*, d'*enduits* ou de *stuc*, suivant le soin avec lequel il est exécuté. Cette espèce d'ouvrage est du ressort des ouvriers plafonneurs ou stucateurs qui ont aussi, dans leurs attributions, la confection des plafonds dont on décore les appartements.

331. Crépis ordinaires. — Les *crépis* peuvent se faire de diverses manières.

Dans les pays où le plâtre est très-commun, cette matière est exclusivement employée à cet usage, et voici comment on opère.

Crépi au plâtre. — On commence par bien nettoyer et mouiller avec un balai, ou, ce qui vaut mieux, avec une pompe foulante, la surface du mur à crépir. Ensuite, on fait gâcher clair, du plâtre réduit en poudre assez grossière et passée simplement à la claie ou au panier. Avec un autre balai, on prend ce plâtre dans l'auge où il a été gâché, et on le fouette (1) sur le mur. On forme ainsi une couche d'épaisseur à peu près uniforme et qu'on dresse au moyen de règles. Lorsque le crépi doit être recouvert d'un enduit, comme cela a lieu le plus souvent, on doit faire en sorte que sa surface, quoique plane, soit assez rugueuse pour que l'enduit puisse fortement s'y attacher. Pour cela, on fait passer le tranchant d'une truelle de cuivre sur tout le travail exécuté, en appuyant très-légèrement et de manière seulement à entraîner les plus gros grains du plâtre. Ceux-ci tracent à la surface du mortier encore mou des stries nombreuses qui concourent à l'effet désiré.

---

(1) Cette opération est connue sous le nom de *gobetage*.

Crépi à la chaux. — En Belgique, où le plâtre doit être tiré de loin, les crépis se font avec des mortiers de chaux.

Dans la province du Luxembourg surtout, on emploie fréquemment le procédé suivant pour les crépissages extérieurs. On fait un mortier assez clair de chaux ordinaire et de gravier de rivière bien lavé, et on le projette avec force, au moyen de la truelle contre le mur, de manière à former une couche d'égale épaisseur. Ce genre de crépi résiste très-longtemps, même sur les murs grossiers des habitations des paysans ardennais. On pourrait l'employer avantageusement aux constructions militaires ; il offre un aspect sévère qui leur convient.

Presque partout ailleurs, le crépi s'exécute avec du mortier de chaux et de sable un peu gras, c'est-à-dire dans lequel la proportion de chaux est un peu plus forte que dans les mortiers qui servent à lier les pierres. Ce mortier s'étend à la truelle en couche de 18 à 20 millimètres d'épaisseur. Lorsque ce crépi doit être recouvert d'un enduit, il faut avoir soin que sa surface soit très-rugueuse. Nous en avons dit, plus haut, le motif.

332. Enduit ordinaire au plâtre. — Les *enduits* peuvent être faits au plâtre et à la chaux. Pour faire un enduit avec du plâtre, on prend du plâtre très-fin et passé au tamis, on le fait gâcher un peu serré et on l'étend bien également sur le crépi au moyen d'une truelle de cuivre. Comme le plâtre gâché serré prend très-vite, il est très-difficile d'obtenir avec la truelle une surface bien unie, et l'on se sert pour l'égaliser, quand l'enduit est sec, d'une espèce de racloir à manche qui présente un taillant uni et un autre dentelé. Cet instrument est connu sous le nom de *truelle bretelée* (*fig.* 348). On racle d'abord avec le taillant dentelé et l'on termine avec l'autre.

Les plafonneurs se dispensent quelquefois de cette dernière opération en employant, pour l'enduit, du plâtre gâché clair qu'ils étendent avec une *taloche* (*fig.* 346) ; mais ce procédé, plus expéditif, est moins bon. L'enduit est moins adhérent au crépi et se souffle bientôt.

333. Enduit à la chaux. — L'enduit à la chaux se fait avec du mortier un peu maigre, c'est-à-dire dans lequel la proportion de sable est un peu plus forte que de coutume. On y ajoute ordinairement un kilogramme de bourre grise par mètre cube de mortier. Cette matière a pour but d'empêcher que le mortier ne se fendille en se desséchant. La forte proportion de sable qu'on fait entrer dans sa composition a aussi pour objet de rendre son retrait moins considérable et par conséquent le fendillement moins à craindre.

On étend et on égalise l'enduit avec la taloche, et lorsqu'il est à peu près sec, on le lisse avec la truelle, puis on le recouvre d'un badigeon au lait de chaux qui s'y incorpore. Les angles saillants des embrasures de portes, de fenêtres, des pilastres, etc., se dressent au moyen de règles de sapin. On donne environ 9 à 10 millimètres d'épaisseur à la couche d'enduit.

334. Blanc en bourre. — Pour les intérieurs, le badigeon est souvent remplacé par une couche légère de *blanc en bourre*.

Le blanc en bourre est formé d'une pâte de chaux grasse coulée, dans laquelle on a incorporé une certaine quantité de bourre blanche. Dans quelques localités, on y

ajoute aussi un peu d'argile plastique ou de craie bien blanche. La couche de blanc en bourre s'applique avec la taloche et se lisse avec la truelle. Elle n'a guère plus d'un millimètre d'épaisseur. On ne doit y voir aucune fissure. La proportion de bourre blanche est d'environ 1 kilogramme par mètre cube de chaux en pâte.

335. Observations. — Pour incorporer la bourre soit à la chaux du blanc en bourre soit au mortier d'enduit, on la bat d'abord avec des baguettes, afin d'en bien diviser les flocons. On réduit ensuite la chaux en bouillie assez claire, on projette la bourre à sa surface et on agite le tout avec un bâton, dans tous les sens, jusqu'à ce que l'incorporation soit parfaite.

Il est très-important que la chaux employée aux opérations de crépissage et d'enduit soit parfaitement éteinte. Le moindre grumeau mal éteint occasionnerait une soufflure. La chaux grasse éteinte avec surabondance d'eau, et coulée dans des fosses cinq à six mois à l'avance, est celle que les plafonneurs préfèrent pour ce motif.

On ajoute quelquefois au mortier d'enduit ou au blanc en bourre une certaine quantité de plâtre qu'on ne doit y incorporer qu'au moment même de l'emploi. Plus il y en a, plus la prise du mortier est rapide.

Enfin les enduits faits, comme nous l'avons décrit en dernier lieu, sur les murs extérieurs, sont presque toujours recouverts de trois ou quatre couches de couleur à l'huile. Au moyen de cette peinture à l'huile convenablement entretenue, ces enduits peuvent résister pendant assez longtemps, même dans les mauvaises expositions.

336. Crépis et enduits dans les lieux humides, pour les bassins, citernes, conduites d'eau, etc. — Dans les lieux humides, les crépis et enduits s'exécutent encore comme cela vient d'être décrit; seulement il faut prendre la précaution de remplacer le mortier ordinaire par des mortiers ou des mastics d'autant plus hydrauliques que l'humidité est plus grande. Le plâtre doit être absolument proscrit dans ce cas.

Les crépis et enduits dont on recouvre les parois des citernes, des bassins, des conduites d'eau, etc., se font ordinairement en Belgique avec des mortiers de chaux plus ou moins hydrauliques, ou même de cendrée et de trass. Les Anglais emploient exclusivement le ciment romain dans le même cas. L'usage de cette précieuse matière hydraulique commence aussi à se répandre parmi nous; le ciment n° 1 de la fabrique de MM. Josson et Delangle, à Anvers, donne de fort bons résultats.

On conçoit, d'ailleurs, combien il est important que ces sortes d'enduits soient exempts de toute espèce de fentes ou de crevasses par lesquelles le liquide pourrait s'échapper. On doit les faire lisser et repasser un grand nombre de fois avec le dos de la truelle jusqu'à parfaite siccité.

337. Stucs. — Dans les édifices somptueux, l'enduit et le blanc en bourre sont quelquefois remplacés par le *stuc*.

Le stuc est un enduit susceptible d'être poli et d'offrir l'aspect du marbre.

Le stuc peut être fait au plâtre ou à la chaux. Ce dernier est le plus solide, c'est le seul qui puisse s'employer à l'extérieur.

Stuc au plâtre. — Le stuc au plâtre s'exécute de la manière suivante : on prend du plâtre de la meilleure qualité, cuit à point et non éventé. On le pile dans un mortier et on le passe au tamis de soie très-fin. On le gâche ensuite avec une dissolu-

tion assez claire de colle de Flandre (colle forte) ou d'autre matière gélatineuse, et on l'étend bien également et en le lissant avec la truelle. Lorsque le stuc est parfaitement sec, on commence à le polir avec de la pierre ponce ou avec un morceau de grès assez doux ; on continue avec du tripoli (1) et un morceau de feutre, et l'on finit par lui donner le lustre avec de l'eau de savon d'abord et enfin avec de l'huile seule. On doit avoir bien soin de frotter sans désemparer jusqu'à ce que le lustre soit obtenu, sans cela le stuc se ternirait. On doit également prendre garde de ne commencer le polissage qu'après avoir parfaitement dressé les surfaces ; car les flaches, qui deviennent plus sensibles par l'effet du lustre, seraient d'un effet désagréable.

Le stuc au plâtre n'a de durée que dans les appartements et dans les lieux secs.

Stuc à la chaux. —Le stuc à la chaux se fait avec un mélange de chaux bien blanche et bien cuite et de marbre blanc ou d'albâtre gypseux en poudre très-fine passée au tamis de soie. On recommande d'éteindre la chaux par immersion et de la broyer sur un marbre avec une molette, comme pour la peinture. Après quatre ou cinq mois d'extinction, on mélange cette chaux avec partie égale de poudre de marbre ou d'albâtre, sans y ajouter d'eau, et l'on broie jusqu'à ce que le mélange soit parfait.

La pâte ainsi préparée s'applique sur un enduit convenablement dressé, construit de la manière ordinaire, et parfaitement sec. On mouille d'abord l'enduit jusqu'à ce qu'il n'absorbe plus d'eau. Puis on y applique avec un pinceau une couche légère de zinc qu'on a délayé dans l'eau, enfin avec une spatule ou une truelle on applique une couche de stuc dur.

A mesure que le stuc sèche et durcit, on lui donne le poli en le frottant avec un linge mouillé un peu rude, et avec des brunissoirs en acier ou même avec la partie charnue du doigt dans les endroits chargés de moulures ou de reliefs quelconques.

On peut colorer de diverses manières le stuc, soit en plâtre, soit à la chaux ; il suffit d'y incorporer une matière colorante qui donne la nuance voulue. On peut, en se servant de stucs diversement colorés, imiter des marbres de toute espèce.

338. Plafonds. — Les plafonds s'exécutent soit en plâtre, soit au mortier, au blanc en bourre ou au stuc, suivant les procédés que nous venons de décrire. Toute la différence consiste en ce que la première couche, ou crépi, au lieu d'être appliquée sur le mur, est jetée sur un lattis en chêne ou en sapin dont on revêt préalablement la surface inférieure des planchers.

Les lattes dont on se sert le plus communément en Belgique, pour cet usage, sont en chêne fendu ; elles ont une longueur qui varie de $0^m,825$ à $1^m,235$, une largeur de $0^m,035$ à $0^m,045$, et une épaisseur de $0^m,004$ à $0^m,005$ moyennement. Les plus grandes se vendent par bottes de 50 et les plus petites par bottes de 100 lattes. On les fixe à claire-voie sur la charpente, avec des clous à tête plate d'environ $0^m,02$ de long ; il en entre 600 à 700 au kilogramme.

Lorsque le plafond s'applique sur quelque pièce de bois qui doit rester apparente, on en travaille toutes les surfaces à coups de hachette, ou bien on les garnit d'un

(1) Espèce de schiste friable, presque entièrement composé de silice très-divisée.

rappointis (1); sans cette précaution qui lui procure un grand nombre de points d'attache, il tomberait bientôt, le plâtre et le mortier ne contractant presque pas d'adhérence au bois.

339. Moulures et ornements. — Les enduits dont on recouvre les murs et les plafonds sont assez souvent décorés de moulures ou d'ornements en bas relief plus ou moins compliqués. L'exécution de ces détails est encore du ressort du plafonneur.

On les exécute presque toujours avec du plâtre ou du ciment romain, quelquefois aussi avec du mortier, du blanc en bourre ou du stuc (2).

Les moulures même les plus compliquées, lorsqu'elles se développent en ligne droite ou en arc de cercle, se font au moyen d'un procédé fort simple :

Si elles ont peu de saillie, on commence par les masser d'une manière grossière avec le même mortier qui sert à faire le crépi (*fig.* 339). Quand elles doivent avoir beaucoup de saillie, on fiche d'abord quelques grands clous ou crampons dans le mur et l'on forme une grossière ébauche avec du mortier ou du plâtre et des bricaillons (*fig.* 340). Il est cependant préférable, en pareil cas, de préparer ces ébauches en montant les maçonneries (ce qui est toujours facile et plus solide) au moyen de rangées de briques ou de moellons que l'on pose en saillie sur le nu du mur (*fig.* 341).

L'ébauche étant ainsi préparée, on y applique successivement, avec une truelle ou à la main, des couches de plâtre mou, de ciment, de mortier, de blanc en bourre ou de stuc, suivant l'occurrence, et l'on profile les moulures au moyen d'un calibre en bois garni d'une plaque de tôle découpée suivant la forme des moulures (A *fig.* 342). Ce calibre est fixé, au moyen d'une entaille et de deux contre-fiches obliques, à une pièce de bois appelée le *sabot* (B même fig.) qu'on fait glisser sur une règle directrice bien dressée.

Pour obtenir des moulures développées en arc de cercle, il suffit d'attacher le calibre au bout d'une latte dont on fixe l'autre bout au centre du cercle, au moyen d'un clou autour duquel elle peut tourner librement.

Les *fig.* 342 et 343 serviront à l'intelligence de ce qui précède.

Quand quelques moulures doivent être ornées d'oves, d'entrelacs, de feuilles, etc., on les remplace dans le calibre par une saillie rectangulaire. Cette saillie trace dans le profil un creux dans lequel on fixe ultérieurement, avec du plâtre, la moulure fabriquée à part au moyen d'un moule. La *fig.* 344 indique un profil de corniche d'appartement dont la doucine A et le quart de rond B doivent être ornés ; le calibre qui servirait à le tracer aurait la forme *habcdefgh*. Les pièces A et B, moulées à part en

(1) C'est le nom qu'on donne à une grande quantité de petits clous enfoncés dans le bois et dont la tête reste un peu en saillie.

(2) Le ciment romain est presque exclusivement employé à cet usage par les Anglais. En Belgique, nous employons presque toujours le mortier ou le plâtre, qui sont bien moins solides. On ferait bien d'imiter les Anglais. Si l'emploi du ciment romain coûte un peu plus cher, en revanche les objets fabriqués durent bien plus longtemps et n'exigent pas, comme les moulures en plâtre, un entretien coûteux. L'emploi du plâtre ne devrait être toléré qu'à l'intérieur des bâtiments.

morceaux de 50 à 60 centimètres de long, s'appliqueraient au moyen de plâtre dans les creux rectangulaires *hab*, *efg*.

Les denticules, les modillons et en général toutes les pièces qui interrompent la continuité du profil, se moulent à part et s'appliquent après coup, comme nous venons de le dire ; il en est de même des feuilles, des rosaces, des bas-reliefs, etc., etc. Quand le plâtre qui a servi à sceller ces pièces est parfaitement sec, on enlève les bavures et on termine l'ouvrage en se servant de spatules ou de grattoirs en buis ou en fer de diverses formes et dimensions.

La plupart de ces ornements sont coulés en plâtre ou moulés en mastic susceptible de résister à l'air. Les ornements en plâtre n'ont quelque durée que pour les intérieurs. Pour l'extérieur, on remplace avantageusement le plâtre par du ciment romain. Les Anglais façonnent ainsi des ornements fort volumineux qui ont presque autant de durée que s'ils étaient en pierre. On trouve dans le commerce des ornements très-variés et assez résistants, exécutés avec un mastic qui porte le nom de *carton-pierre*. On en fabrique aussi qui ont l'aspect et presque la solidité du marbre. Ceux-ci sont faits au moyen d'une poudre qu'on obtient en gâchant du plâtre avec une dissolution d'alun de potasse, contenant environ 30 p. 100 de ce sel, et en soumettant à une seconde cuisson, puis à la trituration la pâte ainsi formée. Cette poudre gâchée avec de l'eau prend presque instantanément comme le plâtre, mais acquiert une dureté et une solidité incomparablement plus grandes. On augmente encore cette dureté en y ajoutant un peu de sable.

340. Badigeon. — Le badigeon que l'on applique quelquefois sur l'enduit, ainsi que nous l'avons dit plus haut (334), est presque toujours composé d'une laitance faite avec de la chaux grasse très-blanche. On en applique ordinairement trois couches au moyen d'une brosse fixée à l'extrémité d'un long manche. On ajoute au lait de chaux qui doit servir à donner la dernière couche un peu de bleu de tournesol ou d'indigo, pour soutenir le ton du blanc, et une dissolution de colle de Flandre ou du lait pour l'empêcher de tacher.

On peut donner au badigeon une teinte jaune, rouge, grise ou noire, etc., en y ajoutant une quantité suffisante d'ocre jaune, de rouge d'Angleterre ou de noir d'ivoire.

341. Outils du plafonneur. — Nous avons représenté, sur la planche XIII, les principaux outils dont se servent les plafonneurs ; ce sont :

La *palette* (*fig.* 345) ; elle est faite ordinairement en bois blanc, afin d'être plus légère. Le plafonneur la charge d'une petite provision de mortier qu'il prend et étend ensuite avec la taloche ou la truelle, suivant le besoin ; il la tient de la main gauche, tandis que de la main droite il travaille avec la taloche ou la truelle.

La *taloche ;* il y en a en bois (*fig.* 346), et en métal, fer ou cuivre (*fig.* 347).

La *truelle ;* elle est semblable à celle du maçon, avec cette différence que l'attache de la queue est en dessus de la platine, afin qu'elle ne s'oppose pas au lissage des surfaces

La *truelle bretelée*, décrite précédemment (332) (*fig.* 348).

Le *calibre*, décrit précédemment (339).

Des *spatules* et des *dégorgeoirs* (*fig.* 349) ; ils servent à terminer les moulures et les ornements ; il y en a de diverses grandeurs.

La *brosse à badigeonner* (*fig.* 350).

Un *marteau* (*fig.* 351), armé d'une petite hachette en remplacement de la panne ; il sert à couper à longueur et à clouer les lattes à plafonner.

Indépendamment de ces outils, les plafonneurs se servent de fils de plomb, d'équerres et de niveaux semblables à ceux du maçon.

342. Échafaudages. — Les échafauds sur lesquels les plafonneurs exécutent leurs travaux ressemblent tout à fait à ceux des maçons ; mais ils sont souvent encore plus légers, ayant en général une bien moindre charge à supporter. Ordinairement, ces échafaudages sont composés de chevalets ou d'autres pièces assez légères pour pouvoir être aisément transportées. Nos plafonneurs se servent très-fréquemment, pour les murs de façade des édifices, du système représenté *fig.* 352.

A,A,A sont de grands châssis forts légers, faits avec des perches de sapins refendues, qu'on appelle *échelles volantes*. Ces échelles, en nombre suffisant, sont solidement attachées avec des cordes à des pièces de bois B, fixées à la partie supérieure du mur ; on les espace d'au moins 2 à 3 mètres. Des madriers en bois blanc, jetés d'une échelle à l'autre et posés sur leurs entretoises, forment des planchers étagés sur lesquels s'établissent les ouvriers. Lorsqu'on doit descendre les échafauds constitués de cette manière, on enlève les madriers, puis on laisse glisser les cordages de retenue autant qu'il est nécessaire. Ces échafaudages sont très-commodes pour exécuter des rejointoiements ou de légères réparations d'entretien dans une foule de cas.

On se sert encore de plusieurs échafaudages volants qu'il serait superflu de décrire ici. L'un des plus originaux, que l'on emploie surtout pour badigeonner de hautes salles ou des murs élevés, est celui représenté *fig.* 353. C'est une cage légère dans laquelle se place le badigeonneur, et qu'il peut faire descendre ou monter à son gré, au moyen d'un treuil armé d'une manivelle sur lequel s'enroule une corde fixée à la partie supérieure de l'édifice. On peut consulter, au sujet des échafaudages volants, les planches CXXIV, CXXV et CXXVII du *Traité de l'art de la Charpenterie* d'Émy.

Les travaux de plafonnage se commencent toujours par les parties les plus élevées de l'édifice. Si l'on commençait par le bas, on risquerait de détériorer le travail déjà fait par des chutes accidentelles de mortier ou d'autres corps.

Les maîtres plafonneurs sont toujours servis par un manœuvre ou apprenti qui leur porte le mortier, et les aide quand c'est nécessaire.

ARTICLE IV.

ART DU PAVEUR ET DU CARRELEUR.

343. Définition. — Nous comprenons sous cette dénomination l'art de construire :

Les pavages en pierre ;

Les pavages en bois ;

Les aires en cailloutis ;

Les pavages en dalles ou en carreaux ;
Les pavages en briques ;
Les dallages en mastic ;
Les aires en mortier et en béton.

I. — PAVAGES EN PIERRE.

344. Des pavés. — Les pavés se font ordinairement avec des pierres très-dures, et principalement avec celles qu'on a indiquées comme propres à cet usage dans la première partie du cours. On les façonne au marteau et on leur donne le plus souvent la forme d'un tronc de pyramide quadrangulaire, dont la hauteur est un peu plus grande que le côté de la plus grande des deux bases. Toutefois, nous devons noter qu'en Angleterre on leur donne la forme d'un prisme droit aplati et à bases rectangulaires, ce qui permet de donner à la surface du pavage plus de régularité. Quand ils sont pyramidaux, on les pose sur leur plus petite base.

Les pavés sont de divers échantillons, suivant les usages auxquels on les destine.

En Belgique, on en compte de quatre échantillons différents.

Le premier échantillon comprend les pavés qui ont 18 à 20 centimètres de côté à la *tête* (surface extérieure) et 20 à 22 centimètres de queue. On les réserve pour le pavage des routes les plus fréquentées.

Les pavés de deuxième échantillon ont 15 à 18 centimètres de côté à la tête et 18 à 20 centimètres de queue.

Ils sont employés pour les routes d'une moindre importance.

Ceux du troisième échantillon ont de 12 à 15 centimètres de côté à la tête et de 15 à 18 centimètres de queue.

Et finalement ceux du quatrième échantillon ont 10 à 12 centimètres à la tête et 12 à 15 centimètres de queue.

Ces deux dernières espèces de pavés sont principalement employées au pavage des cours, des écuries, des étables, des magasins, des ateliers, etc.

345. Détails d'exécution. — Le travail du pavage est une chose fort simple et qui n'exige qu'un petit nombre de précautions pour être bien fait, quand d'ailleurs le terrain sur lequel on l'exécute a été convenablement préparé.

Il peut se faire en employant soit le sable quartzeux, soit le mortier.

Pavage au sable. — Dans le premier cas, on établit sur le terrain une forme ou couche de sable d'au moins 12 à 15 centimètres d'épaisseur, dans laquelle on loge les pavés les uns à côté des autres en ayant soin :

1° De les séparer par une épaisseur de sable d'environ un centimètre ;

2° De les disposer en lignes bien régulières ;

3° De faire tomber les joints des pavés d'une ligne sur les pleins de ceux des lignes adjacentes.

Les lignes de pavés se disposent de diverses manières.

Dans les routes, on les place le plus souvent suivant une direction perpendiculaire

à l'axe de la route, et c'est la disposition qui semble la plus rationnelle et la meilleure. A Londres, on a essayé, dans ces derniers temps, de leur donner une direction oblique à l'axe des rues, mais il en est résulté des inconvénients qui ont forcé à renoncer bientôt à cette disposition : les chevaux glissent et s'abattent très-fréquemment sur les voies construites de cette manière, et on en comprend aisément le motif.

Dans les longues galeries, les écuries, etc., les rangs se placent dans le sens de la plus petite dimension de l'édifice.

Dans les cours, lorsqu'elles sont formées de plans inclinés suivant différents sens pour ramener les eaux pluviales vers certains points déterminés, les lignes de pavés sont souvent dirigées perpendiculairement aux lignes de plus grande pente de ces surfaces.

Ordinairement, les deux rives des chaussées en pavés, les arêtes, les gouttières ou les égouts formés par l'intersection des diverses surfaces suivant lesquelles le pavage est établi, sont marqués par des lignes de pavés. Ceux qui bordent les routes sont souvent beaucoup plus gros que ceux qui forment le corps de la route, et ils sont oblongs. On les nomme *bordures* (1).

Le sable employé à la construction des pavages doit être quartzeux et pur. Tout mélange de matière terreuse ou argileuse est très-nuisible.

Les pavés, posés dans la forme de sable, y sont ensuite affermis au moyen d'une dame pesant environ 30 kilogrammes, maœuvrée par un ouvrier qui la soulève à $0^m,30$ ou $0^m,40$ de terre, pour la laisser retomber en lui imprimant une certaine impulsion. On les enfonce ainsi de 3 à 4 centimètres.

Tout pavage n'est solide et durable qu'à condition de reposer sur un terrain bien asséché ; on ne doit donc rien négliger pour y parvenir, en disposant la surface du sol suivant les plans les plus convenables pour procurer l'écoulement le plus facile et le plus prompt aux eaux qui s'y rassemblent par l'effet des pluies, ou autrement. Les routes sont, dans ce but, longées latéralement de fossés entretenus avec soin. La *fig.* 354, pl. XVI, représente le profil d'une route pavée, ainsi que le détail du pavage.

Pavage à bain de mortier. — Les pavages à bain de mortier se font en observant les mêmes précautions et dispositions. La seule différence consiste en ce que la forme de sable est remplacée par une forme en mortier.

La bonté de l'ouvrage dépend principalement de la qualité du mortier, qui doit être plus ou moins hydraulique suivant l'occurence. Il faut tenir la main à ce que chaque pavé soit entouré de mortier sur toutes ses faces. Les paveurs commettent souvent la fraude de poser le pavé à sec, c'est-à-dire de le faire simplement poser sur le sol non recouvert de mortier ; ils se bornent à étendre avec la truelle, sur les faces latérales du pavé, tout juste autant de mortier qu'il en faut pour garnir les joints, et de cette manière l'ouvrage n'est lié que par la force de cohésion du mortier interposé dans les joints, au lieu d'être lié et consolidé par une couche générale de ce mortier

(1) Les *bordures* ont ordinairement en longueur et largeur deux fois les dimensions des pavés ordinaires et une fois et demie leur épaisseur.

qui, faisant corps avec celui des joints, enveloppe tout l'ouvrage et produit, en se durcissant, une gangue très-solide.

Dans les lieux marécageux, humides, on établit quelquefois le pavé sur une couche plus ou moins épaisse de béton.

346. Précautions à observer. — Le pavé une fois établi, on le recouvre d'une couche de sable de 2 à 3 centimètres d'épaisseur.

On doit prendre attention, dans un pavage, d'employer des pavés de même nature et d'égale dureté. Lorsqu'on est forcé de faire usage de pavés de qualités différentes, il faut bien se garder de les entremêler, car les plus tendres seraient bientôt brisés. Il faut faire des parties tout entières avec des pavés de chaque espèce, en ayant soin de réserver les meilleures pour les endroits qui ont le plus à souffrir.

II. — PAVAGES EN BOIS.

347. Les pavages en bois ne sont employés, en Belgique, en France et en Angleterre, que depuis un petit nombre d'années, mais ils sont depuis longtemps en usage en Russie et en Allemagne.

Un pavé en bois se compose de billes prismatiques de diverses sections, serrées debout les unes contre les autres, et réunies par de fausses languettes qui s'enchâssent dans des rainures pratiquées dans les côtés des billes.

La *fig.* 355 offre un exemple de pavage en bois debout, fait au moyen de blocs prismatiques à bases carrées.

La *fig.* 356 offre un exemple de pavage exécuté avec des blocs hexagonaux.

Ce genre de pavé est très-durable ; on estime qu'il n'a besoin d'être renouvelé que tous les six ans. Il est plus propre que celui en pierre et produit moins de boue et de bruit. Il est d'un emploi très-convenable sous les porches, dans les vestibules et dans les cours.

Il est de plus très-économique ; les vieux pavés peuvent être vendus comme bois de chauffage quand ils sont trop usés. On ne lui reproche qu'un inconvénient, c'est d'être très-glissant pendant les gelées.

Tous les bois sont propres à ce genre de pavage. Toutefois, le pin est préférable au sapin et au peuplier ; le bouleau et l'érable sont préférables au pin ; l'orme, le frêne et le chêne sont preférables à tous les autres bois. On fait choix du bois suivant la fréquentation de la route, et dans un chemin assez large pour que le milieu soit plus fréquenté que les côtés, il faut placer les pavés en bois le plus dur dans cette partie.

Les bois employés peuvent être préparés, du reste, par les procédés conservateurs de Boucherie, Kyan et autres, qui ont été décrits dans la première partie.

Les pavés en bois debout sont établis sur une aire en sable bien battu ; mais on n'en interpose pas entre les joints. On garnit quelquefois ceux-ci de goudron ou d'asphalte, mais le plus souvent les billes de bois sont simplement serrées avec force les unes contre les autres.

III. — AIRES EN CAILLOUTIS.

348. Les aires en cailloutis sont surtout employées à la construction des routes. Leur construction exige des soins tout particuliers dont nous dirons quelques mots.

349. Encaissements. — Le cailloutis est renfermé dans un encaissement de section convenable, creusé en contre-bas de la surface de la route. La profondeur de cet encaissement varie de 15 à 32 centimètres, suivant la nature des matériaux employés, celle du sol et le poids des voitures qui doivent circuler sur la route.

Il est de la plus haute importance, dans tous les cas, que cet encaissement soit parfaitement asséché, car c'est de là que dépendent principalement la bonté et la durée de la route. A cet effet, on pratique des rigoles ou des fossés dans les directions les plus convenables, pour saigner immédiatement les eaux qui sourdent du sol ou celles qui peuvent s'y rassembler par l'effet des pluies. Si ces précautions paraissent encore insuffisantes, il ne faudrait pas hésiter à adopter toutes celles que les circonstances locales indiqueraient.

350. Disposition du cailloutis dans l'encaissement. — Les bords de l'encaissement son garnis de grosses pierres méplates ou de sections triangulaires, formant bordure. L'intérieur est rempli de quatre couches pierreuses, disposées ainsi qu'il suit quand le sol est peu résistant. La première couche est une assise de grosses pierres plates, de 15 à 16 centimètres d'épaisseur, qui sert comme de fondation et qui empêche les couches supérieures de pénétrer dans le sol par l'effet des pressions. La seconde a 15 à 20 centimètres d'épaisseur; elle est formée de grosses pierres irrégulières, bien enchevêtrées les unes dans les autres. La troisième est composée d'un cailloutis bien homogène de la grosseur d'un œuf de poule ou d'un cube de 4 à 5 centimètres de côté. La quatrième enfin est formée de pierrailles de la grosseur d'un cube de $0^m,025$ à $0^m,03$ de côté. Ces deux dernières couches ont chacune environ $0^m,08$ d'épaisseur.

Quand le sol est résistant, on se dispense de l'assise en pierres plates, et lorsqu'il est de rocher, on peut supprimer la seconde couche en même temps que la première.

351. Système de Mac-Adam. — Un célèbre ingénieur anglais, *Mac-Adam*, a donné son nom à une espèce de route en cailloutis entièrement composé d'une couche de pierraille régulièrement concassée et à laquelle il donne 18 à 20 centimètres d'épaisseur seulement. Son procédé, presque exclusivement suivi en Angleterre, a donné d'excellents résultats; mais il est important, pour qu'il réussisse, 1° que le terrain soit parfaitement asséché et maintenu tel en tout temps; 2° que les pierres employées soient d'une dureté et d'une grosseur bien uniformes, et 3° que la chaussée soit toujours assez bien entretenue pour qu'on n'y voie jamais d'ornières. Les Anglais emploient principalement, pour empierrer leurs routes, le *flint* ou silex pyromaque et le granite.

352. Précautions à observer. — Pour faciliter l'écoulement des eaux pluviales, on donne ordinairement à la surface de la route un léger bombement vers le milieu. On

donne le même bombement au fond de l'encaissement, afin que la masse pierreuse ait partout la même épaisseur (1).

Les *fig.* 357 et 358 représentent des profils de chaussées empierrées, savoir : la *fig.* 357 d'après la première méthode décrite, et la *fig.* 358 suivant le système de Mac-Adam.

Cassis. — Quand les chaussées empierrées peuvent être traversées sur certains points par des courants d'eau accidentels, comme ceux qui proviendraient des pluies recueillies dans des ravins adjacents, on creuse, dans la surface de la route, une rigole peu profonde mais assez large, qu'on recouvre d'un pavé. Cette rigole porte le nom de cassis. Le cassis doit avoir une pente assez forte pour que les eaux ne puissent y déposer le limon qu'elles entraînent (2).

Écharpes. — Dans les parties fortement inclinées des chaussées de cette espèce, afin d'éviter les avaries que produiraient les eaux de fortes pluies en s'écoulant sur leur surface, on place de distance en distance, ce qu'on appelle des *écharpes*. Les écharpes sont des chaînes de pierres faisant une légère saillie sur la route et qu'on dirige, diagonalement, jusqu'à la rencontre des fossés d'accottement (3). De cette manière on subdivise l'action des eaux et on la rend ainsi bien moins nuisible.

Les chaussées en empierrement sont d'une viabilité difficile dans les premiers temps de leur construction. On a fait usage, pour remédier à cet inconvénient, de rouleaux de compression au moyen desquels on les affermit avant de les livrer à la circulation.

IV. — PAVAGES EN DALLES ET EN CARREAUX.

353. Détails d'exécution. — Quelle que soit la nature des matériaux employés, ce mode de pavage s'exécute toujours de la même manière. La surface qui doit en être revêtue ayant été convenablement dressée au moyen d'une couche de fins décombres ou de sable, bien damée (4), les dalles ou les carreaux y sont posées à bain flottant de mortier et à joints très-serrés. Ensuite ces joints sont proprement cirés ou jointoyés.

On doit prendre attention, en exécutant ce travail, que toutes les dalles ou tous les carreaux soient bien uniformément placés dans le même plan, et qu'on ne voie nulle part de balèvres ; que les joints soient disposés avec la plus parfaite régularité et suivant le dessin adopté. Ces vérifications se font facilement au moyen de cordeaux, de règles et du niveau de maçon.

---

(1) Suivant M. Mac-Adam, un bombement de $0^m,07$ est suffisant pour une route de $9^m,15$ de largeur.

(2) Il est préférable toutefois d'évacuer ces eaux au moyen d'aqueducs passant sous la chaussée. On ne doit employer les cassis que lorsqu'il est impossible de pourvoir autrement à leur écoulement.

(3) En évitant cependant que l'axe des écharpes coïncide avec la diagonale du rectangle formé par les points d'appui des voitures à quatre roues. Cette observation est également applicable aux cassis.

(4) Lorsque le carrelage se fait sur un massif de maçonnerie, on supprime la couche de sable ou de décombres, mais on a soin d'araser parfaitement de niveau, ou suivant les pentes indiquées, le plan supérieur de la maçonnerie, avec du mortier, des tuileaux et des ardoises, avant d'étendre la couche sur laquelle le carrelage doit être posé.

Le plus souvent, afin de bien se guider dans son travail, le carreleur pose d'abord, de loin en loin et en prenant toutes les précautions requises, quelques carreaux qui lui servent de repères et sur lesquels il pose ensuite sa règle pour vérifier la position des autres.

On peut, en employant des carreaux de couleurs et de formes variées, former mille dessins au gré du décorateur.

V. — PAVAGES EN BRIQUES.

354. Détails d'exécution. — Les pavages en briques s'exécutent exactement de la même manière que les carrelages. Les briques peuvent être posées à plat ou de champ, suivant un très-grand nombre de combinaisons.

Les pavements en briques sont souvent composés de plusieurs couches superposées et recroisées de diverses façons, de briques posées à plat ou de briques posées de champ. On trouvera quelques exemples de ces dispositions dans les *fig.* 359 à 362.

On doit choisir, pour les pavages, les briques les plus solides et les mieux cuites.

Les briquettes hollandaises, connues dans le commerce sous le nom de *klinkert*, sont surtout très-propres à cet usage. Il va sans dire que l'on ne doit faire usage que d'excellents mortiers, aussi hydrauliques que le besoin l'exige.

VI. — DALLAGES EN MASTICS BITUMINEUX.

355. Compositions des mastics bitumineux de Seyssel, Rabonneau, etc. — Nous avons déjà dit un mot, dans la première partie du Cours (80), des mastics bitumineux en général. Ceux dont on a fait le plus grand usage en France et en Belgique, pour la formation des aires, sont le produit du mélange à chaud d'un goudron minéral extrait par la distillation d'un grès bitumineux qui s'exploite principalement à Seyssel, dans le département de l'Ain, et à Lobsann, dans celui du Bas-Rhin, avec un calcaire également bitumineux que l'on trouve dans les mêmes lieux.

Le calcaire est au préalable, réduit à l'état de poussière. A cet effet, on le chauffe pendant trois ou quatre heures dans des cylindres de fer bien fermés ; puis, lorsqu'il a atteint un degré de chaleur convenable, on le retire, on le pile et on le broye au moulin.

On mélange ensuite les deux substances dans la proportion de 93 parties p. 100 de calcaire bitumineux réduit en poudre et de 7 p. 100 de bitume. On y ajoute une petite quantité de sable pur siliceux.

356. Leurs propriétés. — Les mastics obtenus au moyen de ce mélange sont solides à la température ordinaire, mais ils se liquéfient aisément par la chaleur, ce qui permet de les couler en plaques minces sur des surfaces convenablement préparées.

357. Façon des dallages en mastic. — Pour faire un dallage en mastic, on doit d'abord, soit au moyen de briques, soit avec des carreaux en terre cuite, former une aire solide et bien dressée. Cela étant fait, on fait fondre le mastic et on le coule en planches régulièrement larges et épaisses de la manière suivante.

On pose sur le pavage ou sur le carrelage, parallèlement l'une à l'autre et à une distance de 0m,80 à 1 mètre, deux réglettes en fer ou en bois ayant l'épaisseur de la couche de mastic que l'on veut couler. Au besoin, ces réglettes sont affermies sur le sol au moyen de poids ou de quelques clous.

C'est entre les deux réglettes que l'on coule le mastic dès qu'il a atteint le degré de liquidité convenable. On régularise sa surface au moyen d'une batte en chêne ou d'une règle que l'on fait glisser en l'appuyant sur les deux autres (1). Quand le mastic se fige, on saupoudre sa surface avec du petit gravier bien lavé, que l'on y incorpore en le frappant avec une dame, jusqu'à ce que l'on sente qu'il devient dur et qu'on s'aperçoive qu'il ne se forme plus ni bulles ni cavité à sa surface.

Aussitôt la première planche coulée et pendant qu'elle est encore chaude, on transporte l'une des réglettes à distance voulue pour limiter une nouvelle planche ; on verse dans l'intervalle qui la sépare du bord de la précédente, du mastic bouillant que l'on traite exactement comme on vient de l'expliquer, en ayant soin de le souder à la planche adjacente avant de l'étendre en tous sens.

On fait aussi des dallages en mastic avec des plaques préparées à l'avance et qu'on soude les unes aux autres avec un fer assez chaud pour ramollir la matière, mais non pas assez pour la brûler, ce qui est très-préjudiciable. Ces plaques sont parfois ornées de dessins plus ou moins compliqués, faits avec des cailloux de diverses couleurs engagés dans la pâte. Mais ces espèces de mosaïques reviennent assez cher et ne sont pas d'une très-grande solidité.

Afin d'empêcher les eaux de s'infiltrer sous le dallage, on en garnit ordinairement le pourtour, contre les murs, d'un petit bourrelet appelé *solin*, qui se façonne avec du mastic bien chaud appliqué au moyen d'une spatule. La chaleur du mastic en fusion suffit pour ramollir celui contre lequel on l'applique et pour l'y incorporer.

On se sert, pour fondre le mastic, de fourneaux portatifs en tôle, munis d'une chaudière dans laquelle on l'introduit, après l'avoir concassé en petits morceaux. Il est très-important, pour la bonté de l'ouvrage, de ne pas laisser brûler le mastic, ce dont on s'aperçoit de suite aux vapeurs blanches et abondantes qui s'en échappent. Il est très-avantageux de tenir autant que possible les chaudières fermées, pour hâter la fusion, et principalement après qu'elle s'est opérée, afin de conserver le même degré de chaleur au mastic.

On a fait à Paris et dans plusieurs autres grandes villes de la France un très-grand usage des dallages en mastic. On en rencontre assez fréquemment aussi à Bruxelles et dans quelques autres villes de la Belgique ; mais en général dans notre pays leur emploi n'est guère avantageux et doit nécessairement se restreindre à des cas spéciaux. Dans la plupart de nos villes, ils reviennent au moins aussi cher que les dallages en bonne pierre de taille et ils sont bien moins durables et moins propres.

---

(1) La dernière méthode a l'inconvénient de produire à la surface inférieure de la couche bitumineuse des vides et des arrachements préjudiciables à la bonté de l'ouvrage. Il est préférable d'employer la batte en bois de chêne, en ayant soin de ne pas traîner la matière sur le sol.

On donne généralement à la couche de mastic de 1 centimètre à 13 millimètres d'épaisseur.

358. Fraude à éviter. — Les mastics qui ont jusqu'ici donné les meilleurs résultats sont ceux de Seyssel, de Lobsann, exploités aujourd'hui par la compagnie Rabonneau. Le commerce en fournit d'autres obtenus par le mélange du goudron recueilli dans la fabrication du gaz d'éclairage avec la craie ou le calcaire friable.

Pour fabriquer les mastics de cette sorte, on enlève au goudron sa matière huileuse, et le brai qui en résulte est combiné, à chaud, avec le calcaire dans la proportion de 25 à 75.

Ces mastics sont de qualité inférieure aux autres et coûtent beaucoup moins cher ; les fournisseurs essayent souvent de les substituer. Voici les caractères qui peuvent servir à les distinguer : 1° le mastic de Seyssel, jusqu'à présent considéré comme le meilleur, a une apparence plus grasse que celui fait avec le brai ; 2° le premier laisse sur la brique une trace jaune et le dernier une trace noire ; 3° coulé sur une épaisseur de $0^m,01$, celui de brai fait entendre un léger craquement quand on le ploie, tandis que celui de Seyssel ne produit aucun bruit ; 4° enfin celui de brai exhale une odeur plus forte, plus désagréable et plus persistante que celui de Seyssel.

On a fait avec ces mêmes mastics bitumineux, naturels ou factices, divers essais sur lesquels l'expérience n'a pas encore suffisamment éclairé. Ainsi on en a fait des rejointoiements de pavage en grès dans les écuries, des espèces de bétons dans lesquels le mastic remplace le mortier pour l'empierrement des routes et des rues, etc.

VII. — AIRES EN MORTIER OU EN BÉTON.

359. Ces aires sont formées d'une couche plus ou moins épaisse de mortier ou de béton qu'on étend à la pelle sur des surfaces convenablement préparées et qu'on unit ensuite au moyen de la truelle ou d'un polissage au grès dur. Leur résistance et leur bonté dépendent principalement de la bonté de ces mortiers et bétons et des soins apportés à leur mise en œuvre.

360. Construction des aires de grange. — Dans nos campagnes, on fait souvent les aires de grange à battre le blé de la manière suivante :

On prend de la terre franche ou légèrement argileuse et on l'étend sur la surface à couvrir en couche de 15 à 16 centimètres. Après cela, on l'arrose et on laisse l'eau agir pendant un jour ou deux, de manière que toutes les mottes de terre s'en imprègnent et se fondent. Après ce temps, on fait fortement piétiner ou *marcher* cette argile, jusqu'à ce qu'elle soit réduite à l'état de mortier homogène. On laisse ensuite reposer ce mortier pendant une couple de jours, pour qu'il prenne un peu de fermeté. Alors on le bat fortement avec des dames pesantes, pendant plusieurs jours consécutifs, jusqu'à ce que le mortier soit bien sec et bien uni. Lorsque l'argile se crevasse, on a soin de remplir les fentes avec du mortier d'argile, que l'on bat fortement de manière à l'incorporer avec les parties adjacentes.

Ces aires, lorsqu'elles sont faites avec soin, sont très-solides et très-durables. On

pourrait tirer partie de la connaissance des procédés de leur fabrication dans les travaux de campagne.

361. Dallages en mortier de cendrée. — On construit encore dans nos campagnes, pour couvrir le sol des pièces du rez-de-chaussée, un dallage en mortier très-solide et qu'on pourrait employer avec avantage dans les casernes, les corps de garde et autres constructions militaires. Voici sa composition et les soins qu'exige sa fabrication (1).

Chaux hydraulique en poudre.	4 volumes.
Cendres d'usines.	3 —
Gravier bien lavé	1 —
Total.	8 volumes.

Ces ingrédients, après avoir été bien mélangés à sec, sont ensuite battus avec du sang de bœuf, jusqu'à ce qu'on obtienne un mortier bien homogène

On remplace souvent la chaux hydraulique par de la cendrée (276) provenant des fours à chaux de la contrée. Le gravier peut être du gravier de mine ou du gravier de rivière de la grosseur d'un petit pois.

Ce mortier est préparé trois semaines ou un mois avant d'être employé et est battu tous les jours au moyen d'une dame en fer. La chaux ou la cendrée est éteinte plusieurs jours avant de la faire entrer dans le mélange.

Pour obtenir le meilleur résultat, ce mortier doit être appliqué sur un fond bien dur, ou, ce qui vaut mieux, sur un pavé de briques. On l'étend en couche de 8 à 10 centimètres d'épaisseur, puis on le bat à la dame plusieurs jours de suite et plusieurs fois par jour, jusqu'à ce qu'il soit entièrement durci et exempt de fissures.

Enfin, comme dernière opération, on en polit quelques fois la surface en le frottant quand il est bien pris, avec un grès dur et à l'eau.

Ces dallages, lorsqu'ils sont faits avec soin, sont extrêmement solides et ont un aspect granitique fort agréable ; ils sont, en outre, plus économiques que beaucoup d'autres.

En général, on peut faire des dallages de cette sorte avec toute espèce de mortier hydraulique. Nous croyons inutile de rapporter toutes les recettes de fabrication données dans divers ouvrages qui traitent des constructions ; nous nous bornerons à en donner, comme un second exemple, le procédé suivant, décrit dans le devis modèle des travaux dépendant du service du génie de France (2) (art. 308 à 310).

Prescriptions du devis modèle français. — « Pour établir un pavé en pierre factice « ou en béton, au rez-de-chaussée, on creusera le sol d'environ un décimètre ; et « après avoir bien affermi par le damage le fond mis parfaitement de niveau, on y éten-

(1) Ces détails m'ont été fournis par M. le capitaine du génie Crets.

(2) Ce document est extrêmement précieux pour les ingénieurs ; il est accompagné d'un grand nombre de notes pleines d'intérêt. Il serait bien à désirer que le corps du génie belge possédât quelque chose de pareil, et il ne serait pas bien difficile de l'en doter en prenant le devis modèle français pour base, et en lui faisant subir les retranchements et les modifications rendus nécessaires soit par la différence des matériaux, soit par celle des procédés employés.

« dra un lit de petites pierres dures ou de cailloux, sur lequel on répandra une couche « de mortier hydraulique de 3 centimètres d'épaisseur. On recouvrira ce mortier de cail- « loux ou fragments de pierres dures mêlés de tuileaux concassés, placés tout près « les uns des autres, et de façon qu'en les battant avec des pilons, le mortier remplisse « également tous les intervalles sans y laisser aucun vide; on continura ainsi à poser « successivement les uns sur les autres, à battre et à massiver des lits de pierrailles « et des lits de mortier, jusqu'à 15 millimètres près du niveau supérieur de l'aire, « dont la surface sera formée d'une couche de mortier composé de parties égales de « sable fin, de tuileaux pilés et passés au tamis ou de toute autre pouzzolane, et de « chaux mesurée vive. Le mortier, bien corroyé et battu dans une auge, sera forte- « ment massivé et ensuite frappé avec une batte, deux fois par jour, jusqu'à ce que la « batte n'y laisse plus aucune empreinte. Pour mieux polir et durcir la surface, on la « frottera ensuite fortement avec un caillou.

« Il est essentiel de mettre peu d'eau dans le mortier formant la dernière cou- « che du pavé, et il ne doit recevoir sa souplesse que de l'effet d'une longue manipula- « tion dans l'auge. On déterminera assez exactement la quantité d'eau à employer en met- « tant le sable dans une cuve d'eau et en l'en retirant mouillé pour le mélanger aus- « sitôt avec les autres ingrédients du mortier. Si toutefois on était obligé d'humecter « un peu plus le mortier dans l'auge, il ne faudrait pas y remettre d'eau, mais y ajouter « un peu de chaux réduite en bouillie et que l'on aurait fait éteindre à l'ordinaire dans « dans un petit bassin.

« A défaut de cailloux, on pourra employer pour les pavés-ciment des éclats de « pierres mêlés de fragments de tuileaux et même de briques dures, de poteries et de « mâchefer.

« Si le sol est solide et sec, on donnera environ 2 décimètres d'épaisseur au massif, « dont la base sera formée avec des pierres dures et plates, assises sur le sol après « qu'on l'aura bien affermi en le pilonnant. Si le sol est humide, il faudra établir le pavé « sur une fondation d'environ 1 décimètre d'épaisseur, maçonnée en petits moellons « et en mortier hydraulique et que l'on aura soin de bien massiver.

« On suivra les mêmes procédés pour construire un pavé en béton aux différents « étages d'un bâtiment, soit qu'on l'établisse sur un remplissage de maçonnerie au-dessus « des voûtes, ou sur une aire en plâtre ou de toute autre façon. Dans ces différents cas, « l'épaisseur du massif de béton pourra être réduite à 8 et même à 5 centimètres, selon « la destination des pièces à paver. »

On a fait la remarque que ces pavés en béton sont beaucoup moins hygrométriques que les pavés en dalles ou en carreaux de pierre, ce qui, outre l'économie qu'ils présentent souvent, les rend très-convenables pour les casernes, les corps de garde, les prisons, etc.

362. Outils du paveur et du carreleur. — Quelques-uns des travaux que nous venons de décrire sont souvent exécutés par les maçons, notamment les dallages et les carrelages en pierre, les pavages en briques, en mortier et en béton, etc. Ces ouvriers se servent pour cela des outils qui ont déjà été décrits (329). Nous ne donnerons ici l'indication que de ceux qui servent à l'exécution des autres espèces de pavements.

363. Outils du paveur. — *Fig.* 363. Le *marteau*. Il offre une tête carrée et légèrement bombée d'un côté, de l'autre il est terminé en manière de pioche. Ce côté sert à préparer, dans le lit de sable, l'alvéole où l'on pose le pavé, l'autre sert à l'y affermir.

Fig. 364. La *dame*. La partie supérieure est en bois, la partie inférieure est en fer battu ; elle sert, comme on l'a vu, à affermir les pavés dans le sable

Fig. 365. Les *voyants*. Réglettes en bois terminées par une planchette carrée dont le bord supérieur est perpendiculaire à l'axe de la réglette, ils servent à tracer les alignements et à dresser les surfaces. Ordinairement le paveur commence par poser de loin en loin quelques pavés de repère, au moyen de ses voyants, afin de bien se diriger.

Fig 366. Le *pic à démolir*. Instrument en fer acéré à la pointe et muni d'un manche. Il sert à la démolition des vieux pavages ou des parties qui sont à refaire dans les pavages neufs.

Fig. 367. La *pioche*. Elle sert à piocher le terrain ou les vieilles formes des pavés qu'on relève à bout.

364. Outils nécessaires à l'exécution des dallages en mastic. — *Fig.* 368. *Fourneau* pour la fusion du mastic. *a* La chaudière. *b* La grille sur laquelle se place le combustible. *c* La cheminée.

Fig. 369. *Pelle* en fer pour brasser le mastic en fusion.

Fig. 370. *Cuiller* en fer pour enlever le mastic de la chaudière.

Fig. 371. *Batte* en bois de chêne de $0^m,008$ d'épaisseur pour étendre le bitume.

Fig. 372. *Tamis* dans lequel on place le gravier dont on saupoudre la surface du dallage.

Fig. 373. *Dame* en chêne pour incruster ce gravier.

ARTICLE V.

ART DU COUVREUR.

Les matériaux dont on fait le plus d'usage pour la couverture des bâtiments sont l'ardoise et la tuile. C'est la mise en œuvre de ces matériaux qui constitue principalement l'art du couvreur.

365. Couvertures en ardoises. — Détails d'exécution. — Pour faire une couverture en ardoises, on commence par poser sur le chevronnage du comble un lattis jointif, soit en lattes de chêne, soit en voliges de sapin ou de bois blanc. Les premières ont ordinairement 2 décimètres de largeur sur 13 à 15 millimètres d'épaisseur, les secondes ont au moins 2 centimètres d'épaisseur. Ces lattes ou ces voliges se clouent sur les chevrons avec des clous de 35 à 40 millimètres environ de longueur et dont il entre environ 350 dans un kilogramme. Chaque latte ou chaque volige doit être clouée sur chaque chevron au moyen de deux clous au moins; on les pose jointivement l'une contre l'autre et en liaison, mais sans cependant trop les serrer, afin de leur laisser un certain jeu qui leur permette de jouer sans se cambrer pendant les temps humides.

C'est sur ce lattis que se posent les ardoises. On commence d'abord par faire *l'égout*, c'est-à-dire le premier rang d'ardoises. On pose ensuite les autres ardoises par rangées bien alignées au cordeau, en liaison et en recouvrement les unes sur les autres. Le *pureau* ou partie apparente de l'ardoise ne doit pas avoir plus du tiers de la longueur totale de l'ardoise. Chaque ardoise est fixée au lattis avec deux clous au moins. Ces clous sont à tête très-plate et très-mince, ils ont 18 à 20 millimètres de longueur au moins, il en entre 600 à 700 au kilogramme. Les ardoises ont généralement la forme représentée *fig.* 374, et on les pose par rangées horizontales, la partie carrée en dessous; mais il en est d'autres, ordinairement très-grandes et qu'on emploie surtout près des lieux de fabrication, qui ont une forme approchant de celle d'un secteur circulaire et qu'on pose sur les pans de toit en rangées inclinées par rapport à l'horizon, comme on l'a représenté dans la *fig.* 375. Cette dernière disposition a principalement pour but de rassembler la goutte d'eau au point le plus bas de la courbe *ab* et de faciliter ainsi l'asséchement du toit.

366. Faîtes, noues et arêtiers. — Les parties saillantes ou rentrantes des toits, comme les arêtiers, les noues, les noulets, les faîtes, etc., doivent être exécutées avec un soin tout particulier. Comme les ardoises ne peuvent couvrir ces parties aussi bien que les autres, on les protége ordinairement soit par des bourrelets ou solins de mortier, soit par des tuiles de diverses formes, maçonnées et jointoyées, soit au moyen de lames de métal.

Nous avons représenté dans les *fig.* 376 à 380 quelques-unes de ces dispositions. Nous appelons spécialement l'attention sur celle que l'on voit dans la *fig.* 378 et qui est généralement employée en Angleterre. Elle nous paraît bien préférable sous tous les rapports aux dispositions auxquelles nous avons recours en pareil cas. Dans la *fig.* 377, *a*, *a*, sont des ailerons en métal destinés à recouvrir la tête des clous et à empêcher que l'eau ne s'infiltre par là sous le toit quand les trous sont agrandis par l'effet de la rouille.

On place souvent sur les toits en ardoises des crochets recourbés, qui servent aux couvreurs pour y attacher leurs échelles quand le toit a besoin de réparations. Ces crochets doivent être faits en excellent fer fort et être solidement fixés aux chevrons, afin d'offrir toute sécurité. On les dispose généralement en quinconce et par rangées parallèles équidistantes, quand une rangée ne suffit pas. Ces crochets doivent être garnis de lames de plomb, afin d'empêcher que l'eau ne puisse pénétrer par la trouée qu'ils établissent dans la couverture.

Les conditions générales prescrivent du plomb en feuilles pesant 5 liv. au pied carré (25 kilogrammes environ au mètre carré) pour la garniture des faîtes, noues, arêtiers, lucarnes, cheminées, etc. Pour les faîtes et les arêtiers, ces feuilles doivent avoir au moins 45 à 50 centimètres de largeur. Les lames de garnitures des noues, des cheminées, etc., doivent avoir une largeur suffisante, non-seulement pour bien couvrir l'angle creux qu'elles sont destinées à revêtir, mais encore pour s'étendre de 20 à 25 centimètres au-dessus ou au-dessous des premières rangées des matériaux de couverture et pour être fichées, au besoin, dans les joints de la maçonnerie, sur une profondeur de 5 centimètres au moins (*fig.* 380).

On se sert également de lames de plomb pour former les chéneaux de gouttières. Celles-ci, d'après les prescriptions des conditions générales, doivent peser 6 liv. au pied carré (30 kilogrammes environ au mètre carré), quand elles ne sont pas exposées au soleil, et 7 $\frac{1}{2}$ liv. au pied carré ($37^k,50$ environ au mètre carré), quand elles y sont exposées. On doit faire attention, lorsqu'on forme ces chéneaux, de leur donner une pente d'au moins 1 centimètre par mètre, vers les points où sont placés les tuyaux de dégorgement ou de descente. Lorsque le cas l'exige, on peut, au lieu d'une pente uniforme aboutissant à un seul tuyau, former plusieurs pentes et contre-pentes, de même inclinaison, aboutissant à des tuyaux de décharge distribués suivant les meilleures convenances.

Afin d'éviter les soudures, on doit en général choisir les lames de plomb aussi longues que possible. Il faut faire en sorte de n'en pas employer qui aient moins de 7 à 8 mètres de longueur.

Toutes ces lames se fixent avec des clous à tête large et épatée, que l'on recouvre d'une goutte de soudure ou d'un aileron.

367. Couvertures en tuiles. — Les couvertures en tuiles se font de différentes manières, selon qu'on emploie des tuiles plates, des tuiles creuses ou des pannes. Les tuiles plates se clouent sur une volige d'une manière semblable aux ardoises, ou bien, lorsqu'elles sont munies de mentonnets, elles s'accrochent à un battis convenablement espacé par rangées placées, également comme les ardoises, en recouvrement les unes sur les autres et plein sur joint.

Les tuiles creuses se posent sur un plancher jointif. On commence par placer des lignes parallèles de tuiles en recouvrement les unes sur les autres, la concavité placée en dessous. Ces premières lignes de tuiles, appelées chanées, sont placées et quelquefois maçonnées sur le plancher, à distance de 3 à 4 centimètres et calées au moyen de petites pierres ou de morceaux de vieilles tuiles ; pour les empêcher de glisser sur la pente du toit, on pose dans tous les cas les premières tuiles de chaque chanée à bain de mortier. D'autres lignes de tuiles appelées *chapeaux*, la concavité tournée en dessus, sont ensuite placées dans le creux des chanées, de manière à les réunir deux à deux et à former ainsi une succession de gouttières parallèles à la pente du toit.

Pour faire une couverture en pannes, on cloue d'abord sur le chevronnage du toit des lattes de sapin de 3 centimètres d'équarrissage. Ces lattes sont posées à claire-voie et à une distance qui varie avec la grandeur de la panne, mais qui doit être telle que l'échancrure de la panne de la rangée inférieure soit parfaitement recouverte par la panne supérieure qui doit s'y appuyer. Les clous servant à fixer les lattes doivent avoir au moins 6 centimètres de longueur ; il en faut un à chaque rencontre de chevron.

C'est à ce lattis que sont accrochées les pannes au moyen du mentonnet dont elles sont munies. On doit faire la plus grande attention à ce qu'elles se recouvrent latéralement de la manière la plus exacte, afin que nulle part il n'existe de joint par lequel l'eau puisse passer.

Toutes les pannes formant les angles, les noues, les arêtiers, etc , doivent être pro-

prement taillées suivant la coupe voulue. Ces parties de la toiture sont d'ailleurs garanties par des rangs de tuiles creuses, de tuiles faîtières et de tuiles arêtières jointoyées avec soin, et quelquefois par des garnitures métalliques comme pour les toits en ardoise.

Tous les joints des pannes sont ordinairement jointoyés avec soin à l'intérieur. On jointoie seulement à l'extérieur les rangées placées près des faîtes, des arêtiers et des noues, où il serait difficile de le faire à l'intérieur. Le mortier qu'on emploie doit être de bon mortier hydraulique, mêlé d'environ 10 kilogrammes de bourre grise par mètre cube ou, à défaut, de crottin de cheval.

La *fig.* 381 représente, dans tous ses détails, une couverture en pannes.

Les tuiles plates peuvent s'employer sur des combles dont l'inclinaison varie depuis 37 jusqu'à 60 degrés. Pour les tuiles creuses, la pente ne peut pas dépasser plus de 26 degrés et l'on établit rarement les couvertures en pannes sous des pentes moindres de 45 degrés.

368. Couvertures en mastic d'asphalte. — Les couvertures en mastic d'asphalte ont eu un moment une grande vogue ; mais l'insuccès complet de quelques grands travaux de ce genre les a fait presque totalement abandonner en Belgique. Nous n'en dirons donc que peu de mots.

Le mastic employé à la couverture des bâtiments est exactement le même que celui qui sert aux dallages et dont nous avons fait connaître la composition (355). Seulement on supprime, pour ce cas, le sable qu'on introduit dans le mélange pour dallages. Cette substance, liquéfiée par la chaleur, se coule par planches d'environ $0^m,01$ d'épaisseur sur les versants des toits.

Dans le principe, on coulait le mastic sur la volige du toit, clouée jointive et recouverte préalablement d'une toile grossière, dite *d'emballage*, afin de lui donner une surface sur laquelle il pût adhérer ; mais on ne tarda pas à reconnaître que le jeu de la volige faisait bientôt crevasser le bitume qui perd assez rapidement l'élasticité dont il jouit au moment de son emploi.

On crut remédier à ces inconvénients en procédant d'une autre manière, mais les expériences faites à la caserne de la citadelle et au nouvel arsenal d'Anvers en ont démontré l'insuffisance.

En voici, au surplus, le détail :

Sur le chevronnage du toit, on cloue un lattis en sapin dont les éléments sont distants d'axe en axe d'une quantité égale au côté des carreaux dont il va être question, les lattes sont peintes ou goudronnées, afin d'assurer leur conservation. Ce lattis sert de support à un carrelage formé de carreaux en terre cuite posés jointivement l'un contre l'autre, la face unie placée en dessous. Comme les carreaux ont un peu de dépouille, il résulte de cette disposition des joints assez ouverts à la surface du carrelage. Ces joints sont remplis de bitume coulé à chaud et égalisé dans le plan de la surface avec une spatule. Sur la couche de carreaux, ainsi jointoyés au bitume, on étend une toile d'emballage que l'on fixe avec des clous à tête plate, enfoncés dans les joints ; enfin sur cette toile on coule le bitume par planches de 70 à 80 centimètres de

large, et l'on saupoudre sa surface, encore chaude, de gravier lavé, comme on l'a expliqué au n° 357.

L'emploi du carrelage a l'inconvénient de rendre ces toitures très-pesantes, et il remédie tellement peu aux inconvénients inhérents à l'emploi de la matière, qu'après moins de dix ans, il a fallu, à l'arsenal d'Anvers, remplacer la couverture en mastic par une toiture en ardoises. Cependant ce travail avait été exécuté avec des soins tout particuliers.

Le mastic bitumineux ne paraît d'un bon emploi, comme couverture, que sur les chapes de voûtes recouvertes de terre, et dans ce cas on peut encore le remplacer très-avantageusement, sous le rapport économique, par un crépi de bon mortier hydraulique.

La façon des chapes en mastic est d'ailleurs exactement la même que celle des trottoirs. La matière liquéfiée se coule par planches, soit sur la maçonnerie immédiatement, soit sur une toile clouée dans les joints de la maçonnerie. Quand la chape doit être recouverte de terre, on se dispense de la saupoudrer de gravier lavé. Dans ce dernier cas, il faut avoir la précaution de ne pas mettre de pierres immédiatement sur le bitume, mais au contraire des terres très-fines, sans quoi le poids des remblais ferait pénétrer les pierres dans l'enduit et occasionnerait des filtrations Dans tous les cas, on ne doit faire les chapes en bitume, comme toutes les autres, que lorsque les tassements de la maçonnerie ont complétement cessé.

369. Outils du couvreur. — Les principaux outils du couvreur sont :

1° Les échelles de diverses grandeurs, garnies à leurs extrémités de bouchons de paille pour les faire poser plus mollement sur les matériaux de couverture et en éviter la fracture.

2° Des cordes à nœuds de diverses longueurs pour monter et travailler sur les parties où il serait impossible de placer des échelles.

3° Une petite auge et une truelle pour faire les solins, les rejointoiements, etc.

4° Quelques chevalets grossiers, garnis de bouchons de paille pour s'échafauder sur les toits (*fig.* 382).

5° Une enclume (*fig.* 383), triangle en fer muni d'un manche et d'une pointe effilée, qui sert à le fixer sur le lattis du toit. Le côté du triangle opposé à la pointe est acéré et en forme de couteau. C'est sur cet instrument que l'on pose l'ardoise pour la tailler.

6° Une *essette* (*fig.* 384), marteau à manche plat et tranchant qui sert à découper l'ardoise sur l'enclume : d'un côté il a une pointe pour tracer et pour percer les trous des clous ; de l'autre il offre une tête méplate qui sert à les enfoncer.

7° Un tire-clou, un compas en fer et un cordeau à tracer.

370. Observation. — L'habitude de travailler sur les toits rend les couvreurs très-hardis et très-entreprenants. Ils sont, par cela même, des ouvriers précieux dans une foule de circonstances et de travaux qui ne sont pas toujours de leur ressort spécial. On peut souvent, avec leur aide, exécuter des ouvrages qui paraîtraient impossibles à d'autres.

ARTICLE VI.

ART DU VITRIER.

371. Son objet. — L'art du vitrier a pour objet la mise en œuvre du verre à vitre et des glaces, et les opérations qui sont de son ressort sont, en général, peu compliquées.

372. Pose du verre à vitres sur plomb. — Le verre à vitres se pose sur plomb ou sur châssis en bois ou en métal.

Pour monter le verre à vitres sur plomb, on se sert de bandelettes étirées au cylindre, dont la section offre la figure d'un double T très-aplati, entre les branches duquel le verre est maintenu (*fig.* 385, *pl.* XVII). Ces bandelettes sont soudées les unes aux autres, de manière à former des carrés, des losanges ou des hexagones de diverses grandeurs. Leur ensemble formant panneau est fortifié par des tigelles de fer *a*, attachées par des anneaux en même métal soudés au panneau, et clouées ou vissées sur les bords du châssis en bois ou en fer qui sert toujours d'encadrement extérieur (*fig.* 386).

Le placement du verre se fait en redressant les lèvres, d'un côté du panneau, avec un couteau émoussé ; on les abaisse ensuite avec le même couteau, quand le carreau est posé.

Ce procédé, qui était autrefois très-employé, est assez rarement en usage aujourd'hui ; le plus souvent la besogne du vitrier consiste à découper le verre à vitres, suivant la forme des carreaux pratiqués dans les châssis de fenêtres avec des croisillons en bois ou en fer, et à les fixer solidement.

373. Pose du châssis. — Quand les châssis sont en bois, ainsi que les croisillons, le pourtour des carreaux est muni, vers l'extérieur, de feuillures (*fig.* 387 et 388), contre le fond desquelles on applique la vitre. Cette dernière y est ensuite maintenue avec un certain nombre de petites pointes sans tête (2 ou 3 par côté, selon la grandeur du carreau) et un bourrelet de mastic. Quand les châssis ou les croisillons seulement sont en fer, il arrive souvent qu'on n'y pratique pas de feuillures ; alors, la vitre est maintenue entre un certain nombre de doubles goupilles *n* (*fig.* 389 et 390) recouvertes à l'intérieur et à l'extérieur, ou tout au moins à l'extérieur, par des bourrelets en mastic. Souvent même, on se dispense de l'emploi des goupilles et la vitre est maintenue entre les deux bourrelets de mastic qui sèche rapidement.

374. Lanterneaux. — Les carreaux des lanterneaux qui servent à éclairer les vestibules, les cages d'escaliers, les salles, etc., se placent à recouvrement les uns sur les autres, comme les ardoises d'un toit. On les termine inférieurement en pointe, pour faciliter l'égouttement de l'eau, et afin d'éviter qu'ils ne soient soulevés par le vent, lorsqu'ils sont de grandes dimensions, on les maintient l'un sur l'autre au moyen d'agrafes en cuivre *a* (*fig.* 391). On emploie ordinairement pour cet usage du verre (dit *double épaisseur*) plus épais que celui dont on fait usage pour les vitres ordinaires.

375. Composition du mastic de vitrier. — Le mastic de vitrier se compose ordinairement de petit blanc mélangé avec de l'huile de lin, de manière à former une pâte très-forte et bien homogène. Ce mastic durcit assez rapidement, mais on peut le conserver très-longtemps mou en l'entourant d'une toile cirée imbibée d'eau. Il s'emploie exclusivement pour sceller les carreaux de vitre sur les châssis en bois. Lorsque ceux-ci sont en métal, il est préférable d'employer des mastics dans lesquels le petit blanc est remplacé en tout ou en partie par de la céruse pure ou mélangée de minium.

Les bourrelets que l'on forme avec ces mastics doivent présenter des faces inclinées à 45° ; ils doivent être sans bavures et parfaitement lisses.

376. Outils du vitrier. — Les outils dont se sert le vitrier sont :

Le *diamant*. Outil formé d'un diamant naturel, enchâssé dans une petite masse de plomb terminée par un manche ; ce diamant doit présenter à l'extérieur au moins une de ses arêtes courbes. Cet instrument sert à couper le verre et les glaces (*fig*. 392).

Le *grugeoir*. Lame d'acier garnie de rainures de diverses largeurs servant à gruger le verre (*fig*. 393).

Le *marteau*. Il est en fer et très-léger ; d'un côté, il offre une tête plate qui sert à enfoncer les pointes, de l'autre une panne fendue en pied de biche, qui sert à les arracher (*fig*. 394).

La *règle*. Elle doit être assez mince pour plier sous une très-légère pression, elle sert à guider le diamant.

Le *couteau à mastiquer*. C'est un couteau ordinaire assez court, à la lame épaisse et à tranchant émoussé (*fig*. 395).

La *pince* (*fig*. 396). Elle sert à arracher les pointes et quelquefois à gruger le verre.

Le *tailloir* (*fig*. 397). Couteau ayant la forme d'un grand grattoir de bureau qui sert à découper les bandelettes de plomb.

Le *fer à souder* (*fig*. 398). Espèce de marteau à long manche, que l'on chauffe assez pour déterminer la fusion de la soudure qui sert à réunir les bandelettes des panneaux en plomb.

Le vitrier se sert encore de *compas* et d'*équerres* ; son atelier renferme ordinairement un petit laminoir à étirer les bandelettes de plomb.

DEUXIÈME SECTION

EMPLOI DES MATÉRIAUX LIGNEUX.

ARTICLE PREMIER.

ART DU CHARPENTIER.

PRÉLIMINAIRE.

377. De tous les arts industriels qui ont pour objet le travail des matériaux ligneux et leur application à l'art de bâtir, l'art du charpentier est, sans contredit, le plus important.

L'emploi du bois à la construction des édifices remonte à la plus haute antiquité ; il est tout au moins contemporain de celui de la pierre au même usage, peut-être même lui est-il antérieur. Comme l'art de l'appareilleur, grossier dans le principe, il se perfectionna avec le temps ; mais ses progrès, plus intimement liés à ceux de la fabrication et du travail du fer et de l'acier, suivirent une progression plus lente. Il ne fallait que des outils de la forme la plus simple, presque grossiers, pour travailler la pierre avec toute la perfection possible, et le travail des bois en réclamait d'une construction délicate, compliquée et même savante. Sans doute, il fallut une imagination plus cultivée en même temps qu'une industrie bien plus avancée, pour créer la scie et le rabot que pour imaginer le poinçon et le ciseau. Cette seule considération suffira pour faire comprendre que le travail de la pierre pouvait avoir atteint toute sa perfection, tandis que celui du bois était encore dans l'enfance.

Quoi qu'il en soit, on peut considérer l'art du charpentier comme dégagé actuellement de toutes ces difficultés et comme entièrement maître du travail de la matière. Non-seulement l'on possède des instruments perfectionnés et ingénieux, pour scier, couper, planer, percer et tourner le bois ; mais on sait le courber suivant des formes très-variées, soit qu'il n'ait que l'épaisseur d'un simple bordage, soit qu'il offre l'équarrissage d'une poutre. Enfin, pour réunir entre elles les pièces droites ou courbes qui doivent former système, l'on a successivement imaginé mille combinaisons plus ou moins ingénieuses, connues sous le noms *d'assemblages*, et qu'il ne s'agit que d'appliquer avec discernement et avec soin pour réaliser les compositions les plus imposantes.

L'art du charpentier a non-seulement pour objet le travail du bois, mais il comprend aussi la composition de tous les systèmes ou ensembles de pièces réclamées par les constructions de tout genre. C'est là, on peut le dire, sa partie la plus élevée et la plus

difficile; c'est celle qui mérite, au plus haut degré, l'attention de l'ingénieur et vers laquelle il doit surtout diriger ses méditations et ses études, afin de pouvoir suppléer, par ses connaissances, à l'ignorance de la plupart des simples ouvriers.

Nous allons essayer de donner d'abord quelques indications à cet égard.

378. Principes de composition. — Tout système de charpente est composé de pièces de bois droites ou courbes, ordinairement équarries à vives arêtes, rarement rondes, assemblées les unes aux autres sur quelques points seulement de leur longueur, de manière à former une sorte de réseau qui *doit être invariable de forme*.

La question de la composition d'une charpente se réduit donc, une fois son contour extérieur donné, à inventer un réseau satisfaisant à cette invariabilité de forme.

Posé d'une manière aussi générale, le problème peut recevoir une infinité de solutions plus ou moins avantageuses ; mais on en restreint le nombre au moyen d'une autre condition que des considérations d'économie et de rapidité d'exécution imposent tout aussi forcément que la première. Cette condition c'est que :

Le système exige la moindre dépense possible.

On ne pourrait donner une règle fixe pour satisfaire *à priori* aux conditions que nous venons d'énoncer. Pour chaque cas particulier, il faut procéder à des essais, en crayonnant les combinaisons qui paraissent les plus simples et les plus naturelles et en discutant ensuite leur mérite relatif. On élague sans peine les moins heureuses, et la comparaison établie sur le petit nombre de celles qui paraissent offrir un mérite à peu près égal, mène bientôt à un résultat définitif lorsqu'on tient compte, en outre des conditions ci-dessus, de la *simplicité* et de *l'élégance* de la composition.

Les essais peuvent se faire d'ailleurs de diverses manières:

1° En employant des pièces d'un fort équarrissage, mais en petit nombre ;

2° En employant des pièces d'un faible équarrissage; mais en suppléant à la force individuelle par le nombre ;

Et 3° en combinant des pièces d'équarrissage très-différentes.

Dans tous les cas, on doit donner à ces diverses pièces les positions les plus favorables à leur résistance, et à cet égard l'expérience apprend que le bois résiste bien mieux lorsqu'il est pressé ou tiré parallèlement à la longueur des fibres que dans tout autre sens. On doit donc tendre autant que possible à ce résultat, qu'on peut considérer comme condition subsidiaire des deux autres:

Que le plus grand nombre possible des pièces employées soient pressées ou tirées dans le sens des fibres.

L'observation de cette dernière condition exige la connaissance des efforts qui agissent sur le système, en même temps que la manière dont ils se distribuent et se décomposent; mais cette recherche ne présente aucune difficulté lorsque l'on possède seulement les premiers éléments de la statique.

Pour bien faire comprendre ce qui précède, nous allons en faire l'application à quelques exemples pris parmi les constructions en charpente les plus connues.

379. Application à la composition des planchers. — On propose en premier lieu de faire le projet d'un plancher pour une salle dont les dimensions sont données.

Soit ABCD (*fig.* 399 à 404) le plan de la salle en question :

1° On peut jeter, d'un mur à l'autre, des poutrelles équidistantes *ab*, *cd*.... sur lesquelles seront clouées les planches (*fig.* 399). L'intervalle entre les poutrelles devra être fixé de telle manière :

(*a*) Que chacune des poutrelles n'ait pas individuellement à supporter une charge plus grande que celle qui lui convient, conformément à ce qui sera expliqué dans la troisième partie du cours ;

(*b*) Que les planches ne puissent sensiblement fléchir, dans l'intervalle, sous les poids qu'elles peuvent avoir à supporter.

Le système composé ainsi qu'il vient d'être dit peut être considéré comme tout à fait invariable de forme, lorsque les murs sont suffisamment solides. En effet, d'un côté l'écartement des poutrelles est fixé d'une manière invariable, tant au moyen des encastrements pratiqués dans les murs pour recevoir leurs extrémités, qu'au moyen des planches clouées sur chacune d'elles, et de l'autre, l'équarrissage et la répartition des poutrelles, ainsi que l'épaisseur des planches, sont tels, que toute déformation dans le sens vertical est rendue impossible.

2° Si les dimensions de la salle sont fort grandes ou si les charges à placer sur le plancher sont très-considérables, il peut arriver que pour satisfaire à la condition (*a*), indiquée ci-dessus, il faille, en adoptant cette première disposition, employer des poutrelles d'un très-fort équarrissage et très-rapprochées l'une de l'autre. Comme de telles pièces sont généralement d'un prix plus élevé que des pièces de petit échantillon, il peut y avoir à substituer à cette première disposition celle indiquée par la *fig.* 400. Ce plancher est composé de fortes poutres $a'b'$, $c'd'$, placées sur les murs à une assez grande distance les unes des autres. Des poutrelles *ab*, *cd* posent sur ces poutres et sur les murs, et les planches sont clouées sur les poutrelles, dans une position perpendiculaire à leur direction ou parallèle à celle des grosses poutres.

Ce système sera tout aussi invariable de forme que le précédent, si l'on satisfait aux mêmes conditions quant aux planches et aux poutrelles, et si, de plus, l'espacement des grosses poutres est calculé de manière à ce que, individuellement, elles n'aient pas à supporter une charge capable de les faire fléchir.

3° Enfin, le cas peut se présenter où l'emploi du second système exigerait des poutres d'un assez fort équarrissage et assez rapprochées les unes des autres, pour faire disparaître presque en totalité les avantages particuliers qu'il présente. Dans ce cas, on peut essayer diverses combinaisons de poutres formant un réseau de points d'appui intermédiaires aux murs, réseau sur lequel on poserait les poutrelles comme dans le cas précédent. Les *fig.* 401 à 404 donnent quelques exemples de combinaisons de cette espèce, qui n'ont besoin, pour être tout à fait stables, que de satisfaire aux conditions énoncées plus haut.

Lorsque l'on connaîtra les charges que des pièces de bois de diverses essences peuvent supporter sans inconvénient, selon leur équarrissage, il sera très-aisé de reconnaître, par le moyen de quelques calculs assez simples, celle de ces diverses combinaisons qui offre le plus d'avantage sous le rapport économique, et c'est cette combinaison que l'on devra adopter, à moins d'autres convenances à satisfaire.

La composition des planchers permet rarement de satisfaire à la condition : *que le plus grand nombre de pièces soient pressées ou tirées dans le sens de la longueur des fibres du bois.* Les forces agissant sur les constructions de cette espèce sont principalement verticales et perpendiculaires par conséquent à l'axe longitudinal des poutres et des poutrelles ; cependant il se présente des cas où il est possible de changer la direction de ces forces et de les transmettre dans le sens indiqué ; c'est lorsque les poutres, soit à cause de leur grande portée, soit en raison des grandes charges qu'elles ont à supporter, doivent être composées de plusieurs pièces. Ces pièces sont alors combinées de telle façon, que les composantes des forces verticales qui agissent sur elles soient transmises dans le sens de leur longueur.

Les *fig.* 405 à 409 donneront une idée de la composition de cette espèce de poutres, auxquelles on donne le nom de *poutres armées.*

Les petites flèches indiquent la direction des composantes de la charge.

380. Application à la composition des combles. — Nous proposons pour deuxième exemple la composition d'un comble à deux versants.

Dans la réalité, un comble de cette espèce n'est rien autre chose qu'un plancher à surface brisée. Tout ce que nous venons de dire s'applique donc, en grande partie, au cas présent. Seulement, on doit observer que, à raison de l'obliquité des pièces de cette charpente par rapport à la direction des forces qui agissent sur elles, il est beaucoup plus aisé que dans le cas précédent de satisfaire à la condition de la répartition de ces forces dans le sens de l'axe longitudinal des pièces.

Voici quelques-unes des combinaisons qu'on peut réaliser pour résoudre la question proposée.

1° *Fig.* 410 et 410 *bis*, *Pl.* XVIII. Système de poutrelles AB, BC inclinées en sens contraire et formant *chevron*, assez fortes et assez rapprochées les unes des autres, pour supporter le poids de la toiture sans fléchir. Ce système a été souvent employé dans les édifices gothiques, où on le désigne sous le nom de *la forêt* à cause de la quantité considérable de bois qu'il exige. C'est le pendant du premier système de plancher que nous avons dessiné.

Pour que ce système reste invariable de forme, il faut, indépendamment d'une rigidité suffisante de la part des pièces AB, BC :

a Que les murs soient assez solides pour résister à la pression ou *poussée horizontale* exercée contre eux par le pied des chevrons. Cette force peut être complétement anéantie par l'adjonction d'un *tirant* ou *entrait* AC réunissant le pied des chevrons (*fig.* 411).

b Que l'angle ABC ne puisse varier d'ouverture. L'assemblage des pièces au point B serait bien souvent insuffisant pour produire ce résultat ; mais on y parvient aisément par l'emploi d'une pièce *ac* (*fig.* 412), nommée *faux entrait* ou *entrait retroussé*, qu'on place vers la moitié de la hauteur BO du comble. L'emploi de cette dernière pièce offre, en outre, l'avantage de permettre de réduire l'équarrissage des chevrons, qu'elle soutient aux points où ils sont le plus sollicités à fléchir.

Si le comble était de grande dimension, l'invariabilité de l'angle ABC ne serait pas encore suffisamment assurée par l'emploi des dispositions précédentes. Les assem-

blages, quelque bien exécutés qu'ils soient, ont toujours un certain jeu qui occasionne ce qu'on appelle le *hiement* de la charpente, c'est-à-dire un certain changement de position des pièces, les unes par rapport aux autres (1). Ce jeu, augmentant avec le temps, pourrait devenir compromettant si l'on ne prenait quelques dispositions pour en atténuer les effets autant que possible. Ces dispositions consistent dans l'emploi d'un *poinçon* BP et de deux *aisseliers* *mn*, *pq* (*fig.* 413), dont l'effet se conçoit sans explication.

Il suffira aussi de jeter les yeux sur les figures pour voir que toutes les pièces qui entrent dans la composition sont, en grande partie, tirées ou pressées dans le sens des fibres du bois. De petites flèches indiquent le sens suivant lequel agissent les composantes du poids de la toiture.

2° *Fig.* 414 et 414 *bis*. Système de chevrons *ab*, *cd*, appuyés sur un *faîte* F et des *cours de pannes* GH, reposant eux-mêmes sur des *fermes* AFC.

Le système précédent exige, comme on l'a dit, une très-grande quantité de bois. On lui a substitué avantageusement celui dont il est ici question et qu'on peut comparer à la deuxième sorte de planchers que nous avons décrite.

L'invariabilité de forme d'un comble de cette espèce repose principalement sur celle des *fermes* qui, à proprement parler, ne sont rien autre chose que des poutres armées. Nous ne nous arrêterons pas aux autres parties de la charpente, ce qui a été dit précédemment devant suffire pour que l'on sache à quelles conditions il faut satisfaire dans leur distribution.

Les fermes des combles peuvent affecter un très-grand nombre de formes, et le nombre de combinaisons de pièces de bois qu'on peut imaginer pour les composer n'a, pour ainsi dire, pas de limite. Nous nous bornerons à en indiquer ici quelques-unes des plus usitées, nous réservant d'entrer dans des détails plus circonstanciés à cet égard dans la cinquième partie.

La ferme la plus simple est composée (*fig.* 414) de deux arbalétriers AF, FC et d'un entrait AC. Toutes ces pièces sont assemblées aussi solidement que possible. Le faîte se pose dans l'enfourchement produit par l'intersection des arbalétriers, et les cours de pannes se distribuent, à distances égales, le long de ces mêmes pièces.

Si, en raison de leur longueur, les arbalétriers sont exposés à fléchir, on les soutient par le milieu au moyen de deux *jambettes* *ab*, *cd* (*fig.* 415) qui s'appuient d'autre part sur l'entrait avec lequel elles sont assemblées, ou bien au moyen d'un faux entrait qu'on peut fortifier par des aisseliers, comme dans la *fig.* 413.

Si la flexion de l'entrait est plus à craindre que celles des arbalétriers, on fait usage d'un poinçon pendant FO (*fig.* 416), dans lequel s'assemblent les arbalétriers, d'une part et l'entrait de l'autre. Dans ce cas, le faîte s'assemble sur l'extrémité supérieure du poinçon.

---

(1) Cette déformation est accusée par une sorte de cri que font entendre les charpentes lorsqu'on les charge d'un poids considérable ou qu'elles sont soumises à l'action de vents violents. De là le nom de *hiement* qu'on lui donne.

Si l'on craint tout à la fois la flexion de l'entrait et des arbalétriers, on assemble deux jambettes dans le poinçon, qui viennent contre-boutter les arbalétriers (*fig.* 418) ou bien, on emploie un faux entrait en même temps qu'un poinçon (*fig.* 417). Enfin, on peut doubler les portions d'arbalétriers qui seraient trop faibles et employer encore, pour soutenir l'entrait, des *aiguilles pendantes ik, lm,* comme on l'a représenté dans la même *fig.* 417.

Ces diverses combinaisons forment un réseau de triangles qui donnent une très-grande fixité à toutes les parties du système. On peut les doubler ou les tripler ou les combiner de mille manières, suivant le besoin, comme on en verra des exemples dans les *fig.* 419 à 428.

Lorsque des raisons particulières exigent la suppression de l'entrait qui, comme on l'aura aisément remarqué, est une des pièces les plus importantes du système, on fait en sorte de le remplacer, autant que possible, par des pièces qui s'attachent d'une part au pied d'un des arbalétriers, et d'autre part en un point intermédiaire pris sur la longueur de l'autre. Les croisements de pièces qui en résultent sont fortifiés au moyen d'autres pièces qu'on dispose de la manière la plus favorable, pour rendre invariables les angles d'intersection. L'on trouvera quelques exemples de combinaisons de cette espèce dans les *fig.* 429 à 435.

381. Observations. — La composition des cintres, dont il a été question au n° 253, a une très-grande analogie avec celle des combles.

Un cintre n'est rien autre chose qu'un plancher courbe qui est, comme les combles, composé d'un système de fermes, dont les formes peuvent varier à l'infini, sur lequel reposent des poutrelles ou des madriers jointifs ou peu distants les uns des autres. Les fermes des cintres, représentées (*fig.* 273 à 280), suffiront pour donner une idée de ces compositions et pour y faire reconnaître l'application des principes généraux.

382. Application à la composition des pans de bois. — Les principes de composition que nous venons d'appliquer aux planchers, aux combles et aux cintres, s'appliquent également à la construction des *pans de bois.*

Les *pans de bois* ou, si l'on peut s'exprimer ainsi, les *murailles en charpente* pourraient, à la rigueur, être composés avec des blocs de bois de diverses grosseurs, superposés et reliés d'une manière analogue aux pierres dans les maçonneries d'appareil ; mais leur construction deviendrait ainsi infiniment trop coûteuse et trop lente.

Ordinairement, les pans de bois sont composés d'un réseau de longues pièces, réunies solidement entre elles, et dont les intervalles sont remplis avec des matériaux plus grossiers.

Il suffira d'un exemple pour faire comprendre comment on procède à leur composition.

Soit ABCD (*fig.* 436) le contour extérieur d'un pan de bois.

On commencera par diviser AD ou BC en parties égales ou inégales, et plus ou moins rapprochées, suivant les exigences particulières ; puis par les points de division, on mènera des parallèles aux autres côtés. Ces parallèles, ainsi que les côtés AB, CD marqueront l'emplacement d'autant de poteaux verticaux. Les poteaux extrêmes portent le nom de poteaux *corniers* ou *cormiers* ; on les fait ordinairement plus forts que

ceux compris dans l'intervalle qui les sépare. Ces derniers portent le nom de poteaux d'*huisserie* lorsqu'ils forment les encadrements de portes ou de fenêtres, et de poteaux de *remplage* ou de *remplissage* dans les autres cas.

On divise de même la hauteur AB ou CD en plusieurs parties si c'est nécessaire, et par les points de division, on mène des horizontales qui marquent l'emplacement de pièces nommées *sablières* ou *entretoises* (1), lesquelles servent à réunir les poteaux et à maintenir constant l'intervalle qui les sépare. Enfin, pour s'opposer à l'effet du *hiement*, on place dans le sens des diagonales, des rectangles formés par la réunion des poteaux et des sablières, ou, suivant des positions plus ou moins inclinées, d'autres pièces appelées *guettes* ou *décharges* (2), qu'on arrange de manière à concourir le plus efficacement à l'effet voulu. Si certaines parties des sablières ont de très-grandes portées, par suite des exigences particulières du projet, on peut les armer comme on l'a expliqué en parlant des poutres des planchers. On peut compléter aussi le système précédent par d'autres pièces accessoires, si le cas l'exige.

Les exemples qui précèdent seront plus que suffisants pour indiquer la marche à suivre dans tous les cas. Du reste, il n'est possible d'acquérir une certaine habileté dans ce genre de composition, comme dans tous les autres, que par une étude attentive et approfondie d'un grand nombre de bons modèles. Nous ne saurions donc trop engager les jeunes ingénieurs à ne négliger aucune occasion qui pourra leur être offerte d'observer avec soin et de dessiner des croquis de tout ce qu'ils rencontreront de nouveau sur le chemin; surtout à discuter, en y appliquant leurs connaissances en mécanique, la valeur de ces combinaisons nouvelles. A défaut de modèles exécutés, nous les engageons à étudier avec attention les planches des ouvrages spéciaux de charpenterie; elles leur en apprendront plus que tout ce que nous pourrions leur dire.

La solidité de tous les systèmes de charpentes dépend en grande partie de la perfection et de la solidité des assemblages, laquelle dépend à son tour de leur précision et de leur bon tracé. Ici, la stéréotomie a donné des règles fixes qui ont été exposées et développées dans un autre cours, et sur lesquelles nous ne reviendrons pas. Nous nous bornerons à traiter des différentes espèces d'assemblage et des soins qu'on doit apporter à leur exécution. Quoique, dans le Cours de stéréotomie, il ait déjà été dit quelque chose à ce sujet, nous pensons que la matière n'a pu y être envisagée d'une manière suffisamment pratique ni suffisamment étendue, et elle est trop importante pour qu'on puisse rien omettre à cet égard.

Ce qu'on va lire est presque textuellement extrait du Traité de l'art de la charpenterie, par le colonel Émy; il nous eût été impossible de présenter un résumé à la fois plus clair et plus complet.

---

(1) *Sablières*, quand elles réunissent un grand nombre de poteaux; *entretoises*, quand elles établissent la réunion de deux poteaux seulement.

(2) *Guettes*, lorsque l'angle qu'elles forment avec l'horizon est au moins égal à 60 degrés; *décharges*, quand cet angle est plus petit.

DES ASSEMBLAGES.

383. Prescriptions générales. — La plupart des pièces employées dans les charpentes sont équarries et présentent la forme d'un parallélipipède rectangle. Cette forme est celle qui se prête le mieux à la combinaison régulière des pièces et à la précision des assemblages. Elle doit toujours être adoptée, à moins que des circonstances particulières n'en prescrivent impérieusement une autre.

Quelle que soit du reste cette forme, pour deux pièces de bois qui se rencontrent, s'arc-boutent mutuellement, sans qu'aucune des deux soit sollicitée par l'autre à tourner sur son axe (1), il faut que les axes de ces deux pièces passent par un point commun ; il s'ensuit que les axes de deux pièces de bois assemblées l'une à l'autre doivent être dans le même plan.

384. Définitions. — On appelle *joint* la jonction *ab* (*fig.* 439) des deux parties par lesquelles deux pièces de bois A et B, qui se rencontrent, s'appliquent exactement l'une à l'autre.

L'extrémité ou bout *ab* d'une pièce de bois C, convenablement coupée pour s'ajuster par contact à la pièce B, et former le joint s'appelle *about*. L'emplacement *a'b'* de cet about sur la pièce B, à laquelle il s'applique, s'appelle *occupation de l'about* ou *portée de l'about*.

Pour qu'un joint ait la forme la plus simple et en même temps la plus facile à exécuter, il faut que *l'occupation* ou la *portée* comme *l'about* soient plans, de même étendue et symétriques par rapport au plan des axes.

Dans les pièces de bois carrées qui forment un assemblage, nous nommerons *faces de parement* celles parallèles au plan des axes, et *faces normales, faces d'épaisseur* ou *faces d'assemblage* les deux autres.

Lorsque la jonction de deux pièces de bois a lieu par le simple contact d'un about contre sa portée, on dit qu'elles sont *plat joint*. C'est le cas représenté *fig.* 439. La pièce A est appliquée sur la pièce B à plat joint *ab*. Cette même pièce est montrée en C, écartée de la pièce B ; et *a'b'* est son *occupation* ou *portée* sur la pièce B. Ce mode de jonction n'oppose aucun obstacle au glissement d'une pièce sur l'autre, à moins qu'on n'y applique des clous ou des broches en fer.

Les entailles saillantes et creuses, au moyen desquelles on rend un joint invariable constituent, à proprement parler, un *assemblage*.

Pour la propreté et la solidité du travail, les diverses coupes d'un assemblage doivent être cachées ou au moins comprises dans l'étendue du joint, et ne doivent point sortir au delà des plans ou faces de parement des deux pièces ; c'est encore un des motifs qui obligent à tenir deux des faces des pièces assemblées parallèles au plan des axes.

La connaissance des assemblages est très-importante, attendu que toutes les fois

---

(1) L'axe d'une pièce de bois est une ligne droite parallèle à ses arêtes, qui passe par son centre de gravité ou par les centres des rectangles de l'équarrissage.

que l'on compose une charpente, on ne doit y établir aucune pièce, quelle que soit d'ailleurs son utilité, sans prévoir comment elle s'assemblera avec celles auxquelles elle doit être combinée, et comment on pourra, dans l'opération du levage, *l'emmancher* et la mettre en place ; sans quoi la charpente projetée pourrait être inexécutable.

385. Cas divers. — La rencontre de deux pièces de bois peut avoir lieu de trois manières, qui déterminent chacune des dispositions particulières dans leur assemblage.

1° Elles peuvent se rencontrer en formant un angle. Ce mode de rencontre présente trois cas :

Le bout d'une pièce peut porter sur un point de la longueur de l'autre : c'est le cas le plus fréquent qui donne lieu à l'assemblage *à tenon et mortaise*, et à tous ceux qui en sont des modifications ;

Les deux pièces peuvent se joindre mutuellement par leurs deux bouts sous un angle quelconque et sans se dépasser, c'est ce qui forme les *assemblages d'angle ;*

Elles peuvent se croiser et elles s'assemblent alors par *entailles.*

2° Deux pièces de bois peuvent se joindre en ligne droite ou *bout à bout* par le moyen de divers modes *d'entures.*

3° Enfin deux pièces de bois peuvent être assemblées en s'ajustant longitudinalement l'une à l'autre, ou *jumellées.*

Nous ne donnerons que des assemblages formés entre deux pièces de bois, parce que les assemblages d'un grand nombre de pièces sur un même point peuvent toujours être décomposés en assemblages de deux pièces.

L'assemblage *à tenon et mortaise* est le principe du plus grand nombre des autres assemblages ; c'est celui que nous décrirons, en conséquence, le premier et avec le plus de détails.

I. — ASSEMBLAGES A TENON ET MORTAISE ET SES DÉRIVÉS.

386. Assemblages droit à tenon et mortaise. — La *fig.* 437 représente, au moyen de trois projections, l'assemblage à tenon et mortaise le plus simple, de deux pièces de bois A et B qui se rencontrent à angle droit. Dans la projection principale, A est la pièce qui porte le tenon, B est celle dans laquelle la mortaise est creusée. Le point *o* est la rencontre des axes. Cette projection peut être considérée comme horizontale ; les deux autres projections, faites sur des plans perpendiculaires et parallèles aux faces normales, sont considérées comme des projections verticales. Dans toutes les projections, les mêmes lettres désignent les mêmes pièces et les mêmes objets ; elles sont affectées de l'exposant 1 sur la projection verticale, couchée sur le haut de la figure, et de l'exposant 2 sur la seconde projection verticale, couchée sur la gauche. Cette notation sera suivie pour toutes les figures relatives aux détails des assemblages représentés par plusieurs projections.

La *fig.* 438 représente, par des projections sur les mêmes plans, les mêmes pièces A et B désassemblées.

La projection verticale, qui est représentée à droite et couchée en A3, présente la pièce vue par le bout sur lequel est le tenon.

Du tenon. — Le tenon *a* est formé en saillie à l'extrémité de la pièce A, dans la

direction de ses fibres parallèles à l'axe *mn*, par deux entailles $f'g'h'$ qui ont enlevé de chaque côté un parallélipipède. Les plans entaillants, dirigés suivant le fil du bois sur les lignes $f'g'$, sont toujours parallèles aux faces du parement de la pièce assemblée; ils forment les *joues* du tenon.

Les deux autres plans entaillants suivant les lignes $h'g'$, sont ordinairement perpendiculaires aux joues; il sont nécessairement dans un même plan, ils forment les *abouts* de la pièce A, parallèles à la face normale de la pièce B, contre laquelle ils doivent s'appliquer.

Lorsque la pièce B, au lieu d'être équarrie d'équerre, est débillardée (1), le plan d'about de la pièce A est oblique et parallèle à la face de débillardement de la pièce B, qui est substituée à la face normale.

La partie ff' du tenon est son *bout*, et celle $g'g'$, par laquelle il tient à la pièce A par la prolongation d'une partie de ses fibres, est sa *racine*.

De la mortaise. — La mortaise *b* est creusée dans la face normale de la pièce B qui reçoit l'assemblage de la pièce A; elle est exactement en creux, de la même forme et des mêmes dimensions que le tenon qui doit s'y loger et la remplir, afin que la pièce A soit inébranlablement assemblée. Les deux longs côtés de la mortaise qui répondent à la largeur du tenon doivent toujours être dirigés parallèlement au fil du bois. Les parois intérieures de la mortaise contre lesquelles s'appliquent les *joues* du tenon sont aussi nommées *joues* de la mortaise. On nomme également *joues* ou plutôt *jouées* de la mortaise, les épaisseurs de bois comprises de chaque côté entre la mortaise et la face de parement qui lui répond. Les *jouées* forment avec la mortaise, sur la pièce B, l'occupation *vxyz* de la pièce A.

Dimensions des diverses parties de l'assemblage. — L'effort auquel un assemblage doit résister, agissant à peu près également sur le tenon et sur les jouées de la mortaise, la force du tenon doit être égale à celle de chaque jouée; il s'ensuit que l'épaisseur du tenon, ainsi que celles de chaque jouée, doit être égale au tiers de l'épaisseur de chacune des pièces assemblées, mesurée sur leur face normale.

La longueur du tenon, qui se compte toujours dans le sens de la profondeur de la mortaise, devrait être exactement égale à cette profondeur, afin que le *bout* portât au fond de la mortaise en même temps et avec la même pression que les abouts de la pièce A sur les jouées de la mortaise de la pièce B; mais vu l'impossibilité de parvenir à une si grande perfection, et attendu que les abouts de la pièce présentent, en somme, une surface beaucoup plus étendue que celle du bout du tenon, on tient toujours le tenon un peu plus court que la profondeur de la mortaise pour qu'il ne s'écrase point si les abouts ou les jouées cédaient à la pression.

Des chevilles. — Lorsque l'assemblage à tenon et mortaise de deux pièces de bois est taillé, ajusté et mis en joint, on le traverse par une cheville qui est marquée par un petit cercle sur la projection horizontale des *fig.* 437 et 438 et par des lignes ponctuées sur les autres projections.

---

(1) On entend par pièce *débillardée*, celle dont les faces ne sont point d'équerre.

Une cheville de charpenterie est cylindrique, son diamètre doit être d'environ le quart de l'épaisseur du tenon ou des jouées. Le trou dans lequel elle doit être chassée, et qui traverse les deux jouées de la mortaise et le tenon, est percé avec une tarière, au tiers de la longueur du tenon à partir de sa racine, afin que la résistance du bois de fil sur lequel elle peut faire effort dans le tenon soit à peu près égale à celle que lui opposent les bords des jouées de la mortaise de la pièce B.

La *fig.* 440 est le détail d'une cheville. Elle est cylindrique de *b* en *c*, partie de sa longueur qui doit être comprise dans l'épaisseur de l'assemblage qu'elle aura traversé ; sur environ un quart de sa longueur *cd*, elle est un peu conique, afin de faciliter son introduction dans le trou qu'elle doit remplir. Cette sorte de pointe sert à repousser la cheville de son trou lorsqu'elle n'y a été placée que provisoirement. Sa tête *ab*, sur laquelle on frappe pour la faire entrer, est quelques fois terminée par une base carrée ; elle a environ le quart de la longueur totale. Les chevilles sont toujours faites en bois dur et de fil fendu à la hache, elles sont ensuite arrondies avec le ciseau ou le rabot.

Il ne faut jamais compter sur une cheville comme moyen d'attache d'une pièce de bois à une autre ; l'immobilité d'un assemblage doit résulter de la précision avec laquelle il est coupé, et sa pression en joint doit être produite seulement par celle que les pièces exercent les unes sur les autres, par l'effet prévu des fonctions que chacune remplit dans la composition de la charpente où elle est employée. Les chevilles ne doivent servir que pour maintenir momentanément les pièces en joint sur le chantier et au levage. Une charpente assemblée et montée définitivement sur place doit être stable et solide sans le secours des chevilles. Si elle tirait sa solidité de leur résistance, la rupture de l'une d'elles pourrait entraîner la chute de tout l'édifice. Les chevilles sont des auxiliaires utiles pendant le travail, mais qui ne doivent pas être nécessaires aux constructions, sinon pour la propreté de l'ouvrage, parce qu'elles bouchent les trous qui ont été faits pour s'en servir provisoirement. On les coupe à fleur des parements des pièces.

387. Assemblage oblique à tenon et mortaise. — La *fig.* 441, *pl.* XIX, comprend sur les mêmes plans que dans la figure précédente trois projections des pièces A et B, qui se rencontrent obliquement, assemblées à tenon et mortaise.

La *fig.* 442 représente, par les mêmes projections que dans la *fig.* 441, les mêmes pièces désassemblées. Le tenon *a* est taillé comme dans l'assemblage précédent et suivant la direction *mn* des fibres du bois de la pièce A. Si on lui eût conservé la forme entière d'un parallépipède, sa face antérieure *fh* serait dans le plan de la face normale *hi* de sa pièce, et il faudrait que la mortaise de la pièce B fût renfouillée dans ses parois antérieures, dans la même direction suivant $f'h'$. Plusieurs inconvénients résulteraient de cette disposition : d'abord le tenon *a* ne pourrait être *mis dedans* ou emmanché dans la mortaise *b* qu'en poussant la pièce A suivant la direction *mn* de sa longueur. Il s'ensuivrait que les tenons de plusieurs pièces, déjà réunis par d'autres assemblages et qui auraient des directions différentes et même contraires, ne pourraient être introduits dans les mortaises qui auraient été disposées suivant ce tracé pour les recevoir. C'est ce que la *fig.* 443 met en évidence.

En second lieu, si, par l'effet de la fonction que doit remplir la pièce A (*fig.* 442), elle faisait un très-grand effort, l'angle *f* de son tenon, agissant comme un coin dans la mortaise, pourrait fendre la pièce B suivant *f'* K. Enfin la difficulté serait très-grande pour creuser le renfouillement de la mortaise exactement suivant l'inclinaison *h'f'* qu'il devrait avoir. On a remédié tout d'un coup à ces inconvénients en tronquant la partie antérieure du tenon par un plan perpendiculaire au plan des axes et à la face de la pièce B. La position de ce plan dans la projection principale est marquée par la ligne *hi* sur le tenon et par la ligne *h'i'* dans la mortaise. On voit que par l'application de ce moyen aux deux pièces *x*, *y* (*fig.* 443), elle pourraient être emmanchées simultanément dans les mortaises de la pièce *z*. La partie *hi* du tenon (*fig.* 442) est son about. La partie *h'i'* de la mortaise est aussi *l'about* de la mortaise, et sa position perpendiculaire à la face de la pièce B ou à son axe rend sa taille d'une exécution facile et exacte.

Assemblage oblique à tenon et mortaise avec embrèvement. — Telles sont les formes les plus simples des tenons et des mortaises pour les assemblages à angle droit et les assemblages obliques ; mais à l'égard de ces derniers, on a reconnu que la disposition que nous venons de décrire ne suffit pas pour qu'ils résistent aux efforts qu'ils peuvent avoir à éprouver dans les grandes charpentes. En effet, tout l'effort de la pièce A qui tend à glisser sur sa portée, c'est-à-dire dans le sens *qp* de la longueur de la pièce B, est supporté par l'about de son tenon et celui de sa mortaise. Le tenon peut n'être point assez épais pour résister à cet effort, et les fibres du bois, qui sont obliquement coupées dans le plan de l'about *hi* du tenon, peuvent céder, par l'effet de la pression, plus facilement que celles de l'about *h' i'* de la mortaise qui se présentent en bois debout. Il se fait alors une dépression ou une déchirure à la racine du tenon marquée en *s* (*fig.* 444), et cette détérioration du tenon en produit une autre, aussi grave, dans la pièce A. Ses abouts, ayant à supporter un plus grand effort, se déchirent et se fendent en *t* (même figure) des deux côtés du tenon.

Pour prévenir les dégradations que nous venons d'indiquer, et qui auraient, dans les grandes charpentes, les plus funestes conséquences, on *embrève* tous les assemblages obliques.

La *fig.* 445 représente trois projections d'un assemblage oblique à tenon et mortaise, avec *embrèvement* entre les pièces A et B.

La *fig.* 446 fait voir les mêmes pièces désassemblées ; elles sont représentées par toutes les projections qui peuvent en donner une connaissance complète.

De l'embrèvement. — Un *embrèvement* est une entaille faite dans la face de la pièce B qui reçoit l'assemblage, suivant les lignes *h' k' k' l'*. La partie antérieure de l'embrèvement répondant à *h' k'* est dans le même plan que l'about de la mortaise marquée *k' e'*, et elle a environ un quart de sa profondeur.

L'entaille *d'embrèvement* reçoit les épaulements laissés des deux côtés du tenon suivant l'angle *hkl*.

Il résulte de cette disposition que la résistance de l'about du tenon est accrue de celle que l'about d'embrèvement tire des épaulements.

On donne quelquefois à l'about d'embrèvement la direction ponctuée *hx* (*fig.* 445) qui divise en deux parties égales l'angle que forment les pièces A et B. Cette disposi-

tion, qui aurait l'avantage de faire présenter les fibres des deux pièces de la même manière en about, a cependant l'inconvénient de donner lieu à une coupe difficile.

Il arrive quelquefois que la pièce A n'a pas une épaisseur égale à celle de la pièce B, et que, par conséquent, leurs faces de parement ne sont point dans le même plan, quoique toujours dans des plans parallèles. La *fig.* 447 représente les projections d'un assemblage oblique à tenon et mortaise avec embrèvement pour deux pièces A et B, qui ne sont point d'épaisseurs égales. La *fig.* 448 représente les mêmes pièces désassemblées.

Dans le cas dont il s'agit, *l'embrèvement* a lieu par *encastrement*, c'est-à-dire qu'il forme dans la face B2 de la pièce B, qui reçoit l'assemblage, une sorte de *cuvette* carrée et en pente, dans laquelle les deux épaulements du tenon de la pièce A se trouvent *encastrés*.

Lorsqu'on est forcé d'assembler la pièce A en la portant, par rapport à la pièce B, plus d'un côté que de l'autre, il peut arriver que l'embrèvement ne soit encastré que d'un côté de la pièce B et qu'il soit apparent de l'autre.

Les embrèvements ont le grand avantage d'ajouter une force extrême aux assemblages par un moyen fort simple, d'une exécution très-facile et qui permet la plus parfaite exactitude, puisque les parties essentielles des embrèvements, celles par lesquelles les contacts des joints doivent s'effectuer, sont toujours des plans que les outils peuvent dresser sans aucun obstacle. C'est pour obtenir ce résultat que le pas d'un embrèvement sur la pièce B (*fig.* 445 à 448) est toujours fait en rampe, et que l'about est ordinairement à angle droit avec la face qui reçoit l'assemblage, l'angle droit étant plus facile à tailler pour creuser la mortaise.

389. Assemblage à simple embrèvement sans tenon. — On assemble quelquefois les pièces de bois carrées à simple *embrèvement* sans tenon ni mortaise, c'est le cas représenté par une seule projection (*fig.* 449). La pièce A est assemblée à la pièce B par un *embrèvement* simple, dont l'about xv est perpendiculaire à cette pièce.

On peut incliner l'about de l'embrèvement suivant la ligne xy qui divise l'angle d'assemblage en deux parties égales, ou suivant la ligne xz perdendiculaire aux arêtes de la pièce A.

390. Assemblage à crans. — Lorsque la pièce assemblée fait avec celle qui la reçoit un angle très-aigu, son occupation devient fort longue : on est alors dans l'usage de faire des embrèvements à crans. Le nombre de ces crans ou abouts dépend de l'étendue du joint. La *fig.* 450 représente un *embrèvement à deux crans* qui peuvent être employés avec ou sans tenon. Les abouts d'embrèvement uv, xy, entre les deux pièces A et B, sont parallèles; les semelles et les pas d'embrèvement vx, yz sont également parallèles. Mais il est à craindre que l'effort de l'about xy de la pièce A ne fasse éclater suivant le fil de la pièce B le triangle vxy ; il est préférable de tracer cet embrèvement de manière que le pas vx du premier cran soit parallèle à la face d'assemblage de la pièce B, ce qui fait que l'about xy de la pièce A porte à bois debout sur des fibres qui ne sont point coupées.

391. Des joints anglais. — On fait aussi des embrèvements divisés en deux parties

sur la largeur du joint, séparées par un espace qui forme *plat joint*; cet assemblage est représenté par quatre projections (*fig.* 451). L'embrèvement est à peu près le même que celui des *fig.* 445 et 446, sinon qu'il est sans tenon ni mortaise. Son about *xy* est plan ou cintré suivant un arc de cercle décrit du point *g* comme centre. On lui donne pour profondeur les $\frac{2}{5}$ de l'épaisseur de la pièce B. Les deux embrèvements occupent chacun un tiers de l'épaisseur des pièces de bois. Cet assemblage, appelé *joint anglais*, présente quelques difficultés d'exécution pour tenir dans une même surface les deux abouts d'embrèvement de la pièce B, des deux côtés du bois plein qui les sépare.

Les charpentiers anglais font encore usage d'un autre assemblage à enfourchement, représenté par une seule projection (*fig.* 452), pour la jonction de la pièce E avec la pièce D. Les deux tiers de la longueur du joint de *u* en *r* portent deux fourchons qui ont chacun pour épaisseur un tiers de celle de la pièce E; ils sont reçus dans des entailles d'embrèvement *rvu* des deux côtés sur les faces de parement de la pièce D; leurs abouts *rv* sont à angle droit avec les arêtes de la pièce E; le reste du joint et l'entre-deux des fourchons sont dans le même plan *ut*. Cette disposition peut donner lieu à une fente dans la direction *rs*; inconvénient auquel on peut remédier en faisant un embrèvement simple en *t*. Les mêmes charpentiers emploient un assemblage à enfourchement beaucoup meilleur, qui est représenté par une projection (même figure), pour la jonction de la pièce O à la pièce D; les fourchons de la pièce O occupent chacun le tiers de l'épaisseur de cette pièce. Ils forment deux larges joues qui embrassent la pièce B en s'embrevant dans les entailles *xyz*, creusées pour les recevoir. Leurs deux abouts sont arrondis suivant une surface cylindrique, qui a pour base un arc de cercle *xz* de 60 degrés, décrit du centre *c*, qui comprend toute la largeur de la pièce O et met en bout toutes ses fibres; l'entre-deux des fourchons ou joues de cet assemblage est coupé en pente comme un embrèvement ordinaire suivant la ligne *vy*, pour lui donner un about dans la même surface cylindrique qui forme les abouts des fourchons, et seulement sur une étendue *xy*, qui est à peu près le quart de l'arc *xz*.

Ce joint présente par ses abouts une surface beaucoup trop grande par rapport à la résistance qui leur est nécessaire, quelle que soit leur situation, il est précisément le contraire de l'assemblage à tenon et mortaise; il a l'inconvénient de couper par ses entailles dans la pièce D un plus grand nombre de fibres que n'en couperait une simple mortaise. Cet inconvénient peut n'être pas très-grave si, par exemple, la pièce D, étant horizontale, doit être soutenue par la pièce O; mais il n'en serait pas de même si, dans cette position, elle avait à supporter quelque poids ou l'effort que lui transmettrait la pièce O.

Cet assemblage est, au surplus, d'une exécution difficile pour couper les surface cylindriques qui doivent former les abouts convexe et concave avec précision, et obtenir entre elles un contact parfait; ce qui nous donne sujet de remarquer qu'un joint n'est complétement bon qu'autant qu'il peut être taillé avec précision du premier coup; autrement, si l'on est obligé de tâtonner et d'ôter du bois pour corriger les imperfections qui sont la suite de la difficulté de tailler exactement ses diverses parties,

on risque de raccourcir trop la pièce qui doit être assemblée ou de faire un joint trop lâche sur celle qui doit la recevoir (1).

L'embrèvement compris entre les deux fourchons de ce joint fait disparaître l'un des défauts de l'assemblage de la *fig.* 451. Mais il ne remédie point au danger de l'éclatement des fourchons par l'effet d'un effort de torsion, que quelque accident pourrait occasionner, vu qu'ils ne sont point soutenus comme le sont les embrèvements des épaulements des tenons par la cohésion des fibres, qui n'est point interrompue sur toute l'épaisseur du bois. L'assemblage à tenon et mortaise avec embrèvement lui est en tout point préférable.

Le même mode d'about cylindrique est appliqué par les charpentiers anglais à presque tous les assemblages, même entre deux pièces qui se rencontrent à angle droit, comme celui de la *fig.* 453, dans lequel le joint de la pièce A avec la pièce B a pour trace sur les faces du parement l'arc de cercle *xyz* de 120 degrés, soit que l'embrèvement occupe toute l'épaisseur de la pièce B, soit qu'on l'ait fait par enfourchement : quelquefois, l'embrèvement est formé par deux plans qui ont pour traces les lignes droites *xy*, *yz*. Les avantages de cette sorte d'embrèvement ne compensent pas le soin qu'exige son exécution.

392. Assemblage à oulice. — La *fig.* 454 représente l'assemblage à tenon, dit *à oulice*, d'une pièce de bois verticale J dans la pièce inclinée F. Le tenon à oulice *xyz* est triangulaire et coupé carrément au bout ; il a pour épaisseur le tiers de celle de la pièce. On voit en J' le tenon *à oulice* désassemblé, une seconde pièce I est assemblée *à oulice* en dessous de la pièce F, dans le prolongement de celle J.

La *fig.* 455, *pl.* XX, représente l'assemblage *à oulice*, avec *about* ou *embrèvement*. L'about de l'embrèvement est dans le même plan que celui du tenon. Cette espèce d'assemblage ne s'emploie que dans les pans de bois.

393. Assemblage des bois ronds. — Les bois ronds peuvent être assemblés à tenon et mortaise comme les bois carrés, mais ils donnent lieu à quelques détails qu'il est utile d'étudier.

La *fig.* 456, *pl.* XIX, présente trois projections de l'assemblage à angle droit de deux pièces de bois rondes ou cylindriques A, B de même diamètre ; la *fig.* 457 présente les mêmes pièces désassemblées.

La *fig.* 458 présente trois projections de l'assemblage oblique de deux pièces A, B, égales.

La *fig.* 459 représente les projections des mêmes pièces désassemblées.

On peut remarquer que, dans ces assemblages comme dans les précédents, les deux axes *mn*, *pq* des pièces sont dans un même plan, que les deux pièces sont comprises entre deux plans parallèles à celui de leurs axes et qui leur sont tangents ; on voit que le joint est nécessairement circonscrit par les courbes d'intersection des deux surfaces cylindriques. Dans le cas de l'égalité de grosseur des deux pièces, les courbes sont planes et projetées horizontalement sur les lignes droites *gm*, *fm*,

(1) Il est bon de remarquer, à ce sujet, que les charpentiers anglais emploient en général des outils beaucoup plus soignés que les nôtres, ce qui donne plus de précision à leur travail, tout en faisant disparaître en grande partie les difficultés signalées par le colonel Emy.

suivant lesquelles on ferait l'entaille dans la pièce B et l'about de la pièce A, si la jonction devait être faite par simple entaille, sans tenon ni mortaise. On retrouve dans ces deux assemblages les mêmes dispositions intérieures des joints que dans les pièces carrées des *fig.* 437 et 438, *pl.* XVIII, et 441, et 442, *pl.* XIX. Les tenons, les mortaises, les abouts, les pas, sont combinés de la même manière; il n'y a de plus que l'embrèvement et les deux tenons ou fourchons extérieurs, résultant naturellement des dosses qui sont l'excès des formes cylindriques sur celles prismatiques des pièces carrées.

L'équarrissement des pièces, après leur assemblage, ne changerait rien à la disposition des tenons et mortaises, et laisserait les assemblages pareils à ceux des figures prérappelées, ce qui fait voir que l'équarrissement produit une simplicité qui l'a rendu indispensable, aussi bien sous le rapport de la disposition des assemblages que sous celui de la facilité de leur exécution.

Nous ne donnons point de figures pour le cas des assemblages entre pièces rondes de grosseurs inégales, ou entre pièces rondes et carrées, parce qu'il est aisé de conclure leurs formes de ce que nous venons d'exposer.

394. Assemblages dérivés des précédents. — Après les détails que nous avons donnés, une simple légende suffira pour la description de tous les assemblages, qui sont d'ailleurs suffisamment détaillés dans des projections du même genre que celles des figures précédentes.

Le plus souvent, la même figure représente les pièces assemblées et les pièces désassemblées, elles sont marquées des même lettres, et la distinction en est facile, vu leur position. Lorsqu'une projection est commune à plusieurs pièces de bois, elle porte toutes les lettres dont ces pièces sont marquées dans les autres projections.

Assemblages à doubles tenons et mortaises. — La *fig.* 460, *pl.* XX, représente des assemblages à doubles tenons et mortaises. La pièce A est assemblée à angle droit avec la pièce B; la pièce E fait un autre angle avec la même pièce. On peut faire aussi des assemblages à tenons et mortaises triples et même plus nombreux; cependant la multiplicité des tenons et des mortaises affaiblit l'assemblage. En général, les épaisseurs des tenons, les largeurs des mortaises et de leurs joues sont égales, et pour les obtenir, on divise l'occupation de la pièce assemblée en autant de parties qu'il y a de mortaises et de jouées, compris celles qui séparent les mortaises. Toutes les projections demeurent les mêmes que dans l'assemblage à tenon et mortaise simple. Nous n'avons point compris dans cette figure l'assemblage avec embrèvement que l'on emploie aussi avec les tenons doubles ou triples, parce qu'il se pratique de la même manière que pour l'assemblage à tenon simple.

Assemblage à paume. — *Fig.* 461. Les pièces A, E, horizontales, sont supportées par leurs *paumes* dans les entailles de la pièce B aussi horizontale; la pièce A est assemblée à angle droit dans la pièce B ; la pièce E est assemblée obliquement. La coupe inclinée de l'entaille qui reçoit une paume a pour objet de n'affaiblir la pièce B que le moins possible ; mais cet avantage a l'inconvénient de faire exercer par les pièces A et E une poussée contre la pièce B. On remédie à cet inconvénient en contre-boutant la pièce B.

On ajoute quelquefois à cet assemblage un tenon qui est figuré en lignes ponctuées.

Assemblage à tenon avec renfort en chaperon. — *Fig.* 462. Cet assemblage et les suivants ne sont figurés que par une projection verticale de la pièce A suivant sa longueur, et une coupe de la pièce B.

Fig. 463. Le même assemblage avec *about carré* au-dessus du renfort en chaperon, pour que la mortaise de la pièce B ne soit pas terminée supérieurement par une arête aiguë.

Assemblage à tenon avec renfort carré.— *Fig.* 464. En général, lorsque les renforts des tenons sont placés en dessus, ils ne consolident que les tenons, et un excès de charge sur la pièce A peut la faire fendre en x à la racine du tenon.

On remédie à cet inconvénient au moyen de l'assemblage *à tenon avec renfort*, représenté par la *fig.* 465.

Assemblage avec tenon à chaperon et renfort (*fig.* 466).

Assemblage à double repos (*fig.* 467).

Assemblage à paume avec repos (*fig.* 468).

Assemblage à double paume et double repos (*fig.* 469).

Assemblage à entaille carrée (*fig.* 470).

Assemblage à mors d'âne (*fig.* 471). Ces deux derniers assemblages ont le même inconvénient que celui de la *fig.* 464.

Assemblage à tenon en biseau (*fig.* 472). La pièce E est assemblée dans la pièce B par un tenon ordinaire et par un tenon qui affleure une face du parement ; ce tenon est taillé sur ses côtés en biseau pour qu'il ne puisse pas s'échapper de l'entaille ouverte dans la face de parement de la pièce B qui lui sert de mortaise.

La pièce A est assemblée à la pièce B par deux tenons apparents, pareils à celui à biseau de la pièce E.

Assemblage à tenons passants. — *Fig.* 473. La pièce A est assemblée dans la pièce B par un tenon simple qui dépasse cette pièce, suffisamment pour qu'on puisse le traverser par une clef x, qui le sert en joint et le retient. Dans la même figure, la pièce E est assemblée dans la pièce B à tenon double également passant et traversé pareillement par une clef y.

Cette clef a beaucoup plus de solidité que n'en aurait une cheville ; on peut lui donner une plus forte dimension, surtout en épaisseur, et l'on fait dépasser les tenons de la pièce B de toute la longueur qu'on reconnaît nécessaire pour que le bois sur lequel la clef fait effort en z ne soit point arraché. On donne aux clefs x et y une forme légèrement en coin pour qu'on puisse les serrer fortement à coups de maillet.

Assemblage à tenons passants et apparents. — *Fig.* 474. Les tenons apparents qui affleurent les faces de parement ont la même forme que ceux de la *fig.* 408.

La pièce A porte deux tenons de cette sorte, la pièce E porte en outre un tenon passant intermédiaire. Ces tenons sont traversés, comme précédemment, par des clefs x, y, qui sont elles-mêmes traversées par de petites clavettes t, v pour maintenir les tenons apparents dans les parties où ils dépassent la pièce B. Au moyen de ces cla-

vettes on pourrait se dispenser de tailler les tenons de parement en biseau et les laisser carrés.

Assemblage à tenon et mortaise sur l'arête. — *Fig.* 475. La pièce A est assemblée d'équerre sur la pièce B, de telle sorte que l'une et l'autre présente des arêtes *uv*, *zt*, en parement au lieu de faces, et que les quatre arêtes de l'une rencontrent les trois arêtes de l'autre. Si la pièce assemblée A était d'un équarrissage plus faible que la pièce B, deux de ses arêtes seulement rencontreraient dans un même plan l'une des arêtes de la pièce B. Cet assemblage nécessite deux embrèvements triangulaires *yxy* et deux recouvrements également triangulaires *yzy* ; le passage des deux embrèvements aux deux recouvrements a lieu sur le joint de chaque pièce, dans le plan d'un rectangle *yyyy*, dans lequel se trouvent le tenon de la pièce A et la mortaise de la pièce B. Ce rectangle est l'about de l'assemblage. Cet assemblage a beaucoup d'analogie avec celui des bois ronds.

Nous ne donnons point d'exemple de cet assemblage pour les cas où les pièces A et B se rencontreraient obliquement, parce qu'il est aisé de s'en former une idée.

395. Assemblage au moyen de courbes. — Dans la charpenterie navale, on substitue aux tenons et mortaises, qui paraissent ne pas avoir assez de solidité, des assemblages *à plat joint mn* (*fig.* 476), maintenus par des espèces de goussets L, qui sont fortement boulonnés aux pièces assemblées P et Q, quel que soit l'angle que ces pièces font entre elles. Ces *goussets* nommés *courbes* sont ordinairement des pièces naturellement cintrées. On choisit autant que possible des coudes formés par les jonctions des branches entre elles ou avec le tronc. A défaut de ces coudes, si l'on emploie du bois droit, le fil doit se trouver parallèle à la ligne *xz*. Si le cas l'exigeait, au lieu de la courbe L, on pourrait en établir une en *l* et même les employer toutes les deux simultanément.

396. Assemblage à queue d'hironde. — Dans les assemblages *à queue d'hironde*, le tenon, au lieu d'entrer directement dans sa mortaise par la face normale de la pièce qui reçoit l'assemblage, est introduit latéralement dans une entaille faite dans la face du parement de cette même pièce. La queue d'hironde s'emploie lorsque l'assemblage doit résister à un effort de traction dans le sens de la longueur de la pièce assemblée.

397. Assemblage à queue d'hironde simple.— *Fig.* 477. Assemblage à *queue d'hironde* de la pièce A à angle droit dans la pièce B. L'épaisseur de la queue d'hironde est de la moitié de celle de la pièce A, et elle se loge en entier dans la pièce B. Son rétrécissement de chaque côté est d'un cinquième de la largeur de la pièce A, de façon que sa racine ou collet est des trois cinquièmes de cette même largeur. Le devant de la queue d'hironde occupe toute la largeur de la même pièce ; le collet a les trois dixièmes de la surface d'équarrissement de la pièce A ; le bout de la queue est égal à la moitié de cette même surface d'équarrissement. Lorsque la pièce A est étroite ou que le collet de la queue d'hironde a un grand effort à supporter, on ne donne au rétrécissement de chaque côté que le dixième de la longueur de la queue d'hironde, afin que les joues *xy* soient plus inclinées, et que l'effort auquel elles doivent résister ait moins de puissance pour les faire éclater suivant la direction des fibres du bois *xz*.

La pièce E est assemblée dans la pièce B de la même manière, si ce n'est qu'elle

la rencontre obliquement. Souvent, lorsque l'obliquité est trop grande, on ne taille la queue d'hironde que du côté de l'angle aigu, comme on l'a fait pour la queue d'hironde oblique à clef (*fig.* 415).

398. Assemblage à queue d'hironde à recouvrement. — *Fig.* 478. Assemblage de la pièce A dans la pièce B *à queue d'hironde à recouvrement.* La queue d'hironde n'occupe que la partie inférieure de la pièce A sur la moitié de son épaisseur; elle se loge en entier dans la pièce B, sur laquelle le reste de l'épaisseur de la pièce A s'applique. Le tracé de la queue d'hironde est le même.

La pièce E est assemblée dans la pièce B à queue d'hironde, avec un renfort au collet qui règne sur les côtés; ainsi qu'en dessous, et affleure le dessus de la pièce B comme dans l'assemblage de la pièce (*fig.* 477).

Lorsque la pièce E doit supporter une charge, il est convenable que son about forme le renfort de la queue d'hironde en pénétrant dans la pièce B, qui doit être alors plus épaisse qu'elle.

399. Assemblage à queue d'hironde à clef. — *Fig.* 479. Assemblage de la pièce A dans la pièce B, *queue d'hironde à clef.* La queue d'hironde qui a l'épaisseur précédemment fixée pour un tenon, traverse la mortaise de la pièce B. Elle est échancrée d'un côté seulement, comme une queue d'hironde ordinaire; le côté correspondant de la mortaise est évasé suivant la même inclinaison, l'autre côté est droit. L'entrée de la mortaise est égale à la largeur *pq* de la pièce A, afin que la queue d'hironde puisse y passer. Lorsque la queue est placée dans la mortaise, on remplit le vide qu'elle laisse par une clef x introduite par la face d'assemblage de la pièce B; pour qu'elle serre mieux, on la chasse à coups de maillet, tellement que le *tenon à queue* est solidement fixé en joint et ne peut plus sortir de la mortaise.

La pièce E est assemblée dans la pièce B de la même manière, mais obliquement. En A^2, B^2, E^2, les pièces A, B et E, sont projetées verticalement et vues du côté de la face d'assemblage de la pièce B.

Les assemblages à queue d'hironde sont souvent combinés avec ceux à entailles de bois qui se croisent et dont nous parlerons plus loin.

II. — ASSEMBLAGES D'ANGLE.

400. Assemblage à mi-bois. — *Fig.* 480. Assemblages par simples *entailles à mi-bois* entre les pièces A et B formant un angle d'équerre. Ce genre d'assemblages peut être aussi appliqué à des pièces ne formant point angle, comme c'est le cas de la pièce E, même figure.

401. Assemblage à onglets. — *Fig.* 481. Assemblages *à entaille et onglets* ou *onglets* de la pièce A et de la pièce B formant équerre.

L'épaisseur des pièces est divisée en trois parties; les deux premières en dessous forment l'assemblage à entailles, la troisième est taillée diagonalement pour former l'*onglet* sur les deux pièces. La coupe d'*onglet* d'une pièce s'applique exactement contre la coupe d'*onglet* de l'autre, ce qui forme le joint symétrique xy qui donne une meilleure apparence à l'assemblage que s'il était d'équerre, comme celui de la *fig.* 480.

402. Assemblage à onglet avec tenons. — *Fig.* 482. Les deux pièces A et B se joignent suivant les coupes d'onglet xy, dans lesquelles sont ménagés des tenons et des mortaises combinés de telle sorte, que les intervalles que les tenons laissent entre eux sur une pièce servent de mortaises pour recevoir les tenons de l'autre pièce.

403. Assemblage à queue d'hironde simple. — *Fig.* 483. Assemblages d'angle à *queue d'hironde simple*, entre les pièces projetées horizontalement en A et B. La pièce A porte les queues d'hironde qui entrent dans les entailles faites pour les recevoir sur le bout de la pièce B. Les projections A^1 et B^1 font voir les mêmes pièces sur leurs faces verticales assemblées ou désassemblées. Dans cet assemblage, les queues sont apparentes sur les deux faces extérieures des pièces qui répondent aux lignes mx, nx de la projection horizontale.

404. Assemblage à queue d'hironde à recouvrement. — *Fig* 484, *pl.* XXI. Cet assemblage ne diffère de celui représenté *fig.* 482 qu'en ce que les queues d'hironde sont substituées aux tenons. Le bout de la pièce A porte, comme dans la *fig.* 482, les queues d'hironde qui sont en saillie, sur la coupe d'onglet xy. Elles sont vues désassemblées en A^1. Les entailles pour recevoir les queues d'hironde sont pratiquées dans la coupe d'onglet xy du bout de la pièce B. Ces entailles sont vues dans la projection B^2 qui présente la face interne de la pièce B. Les entailles ou mortaises des queues d'hironde extrêmes, étant rencontrées par le plan de la coupe d'onglet, ont les bords de leurs joues su, tv, inclinés, tandis que la partie intermédiaire z est prismatique et droite, et son about mn porte carrément dans le fond de la mortaise o en queue d'hironde de la pièce A, qui n'est pas dans le plan xy de l'onglet, mais parallèle aux faces de la pièce A.

405. Assemblage à tenon et mortaise avec joint en onglet. — *Fig.* 485. L'inspection seule de la figure suffit pour faire comprendre cet assemblage. On fait quelquefois des assemblages d'angle en onglet à plat joint, qu'on se contente de consolider en les clouant ou en introduisant dans le milieu de l'épaisseur du bois un *pigeon* triangulaire uxv (*fig.* 481), qui fait l'office de faux tenon dans les deux pièces ; ou bien on traverse le joint diagonalement par une clef $utsv$ ponctuée, chassée de force dans une mortaise perpendiculaire au plan xy ou dans une entaille creusée suivant la même direction sur l'un des côtés de l'assemblage et qui l'enchâsse, pour qu'elle ne puisse s'en écarter.

406. Assemblage à tenon avec recouvrement en onglet double. *Fig.* 486. Cet assemblage est employé par les menuisiers pour les petits bois des croisées; les charpentiers en font usage aussi pour les grands grillages apparents. Les pièces A, E sont assemblées au même point dans la pièce B, et se correspondent de façon que leurs arêtes sont en ligne droite ab, leurs tenons s'aboutent mutuellement.

Lorsqu'une seule de ces deux pièces est assemblée dans la pièce B, on peut donner à son tenon un peu plus de longueur et lui faire dépasser l'angle de l'onglet. La pièce A^0 est désassemblée, la projection B^2 montre la mortaise.

Dans la figure que nous donnons de cet assemblage, les faces du parement sont délardées par deux chanfreins qui forment une arête au milieu de chaque pièce. Quelque-

fois ces chanfreins sont remplacés par diverses moulures. Les autres faces de parement postérieures sont planes, mais si l'assemblage doit faire façade des deux côtés, on peut les tailler aussi en chanfrein ou les décorer de moulure, et ajouter à l'assemblage des recouvrements à onglets comme ceux que nous avons tracés sur les faces de parements antérieures.

III. — ENTURES HORIZONTALES.

407. *Enter* deux pièces de bois, c'est les joindre dans la direction de longueur au moyen d'entailles nommées *entures*. Pour enter deux pièces de bois, il faut qu'elles soient exactement *entignées*, c'est-à dire qu'elles aient la même forme, en sorte qu'étant assemblées bout à bout, l'une ne paraisse que la continuation de l'autre. Le tracé des entures dépend de la position des *entes* ou pièces entées, qui peuvent être horizontales ou verticales.

408. Entures à mi-bois. — Avec about carré. — La *fig.* 487 est une *enture à mi-bois* avec *about carré* entre deux pièces A et B. Dans la même figure, les pièces ED sont assemblées à *enture à tenon et entaille bout à bout*, dite *enture en tenaille*. Ces deux assemblages ont la même projection horizontale; dans celui des pièces E, D, on peut faire plusieurs tenons.

En queue d'hironde. — *Fig* 488.

En queue d'hironde et à recouvrement. — *Fig.* 489.

Avec tenons d'about. — *Fig.* 490.

Dans l'assemblage des pièces A et B projetées verticalement en A^1 et B^1, le joint est horizontal et parallèle aux faces de parement. On met en joint en poussant les pièces l'une vers l'autre longitudinalement. Dans l'assemblage entre les pièces E, D projetées en E^1 D^1, le joint est incliné par rapport aux faces, on met en joint latéralement.

Avec abouts en coupe (1). — *Fig.* 491.

Avec abouts carrés et tenons réservés. — *Fig.* 492. Sur chaque bout le tenon occupe la moitié de l'épaisseur de l'about et le tiers de sa largeur ; les mortaises sont renfouillées dans les fonds des entailles. Le contraire pourrait avoir lieu, mais il n'en résulterait plus le même effet. Les tenons réservés, comme ils sont représentés sur la figure, ont pour objet, comme les abouts en coupe de la *fig.* 491, de retenir les abouts en joint et de les empêcher de dévier à droite ou à gauche.

Avec abouts en coupe et brisés. — *Fig.* 493 Cet assemblage remplit le même but que le précédent, peut-être un peu moins solidement ; mais il est d'une exécution beaucoup plus facile.

Avec rainures et languettes intérieures. — *Fig.* 494. La longueur du joint est partagée également en deux ; sur chaque pièce la partie qui répond au bout est creusée en rainure, celle qui est dans le fond de l'entaille porte la languette. Cette disposition

(1) On dit qu'un about est en coupe lorsque le plan qui le termine est incliné de façon que l'about assemblé se loge au-dessus de celui qui reçoit l'assemblage et s'y trouve maintenu.

a pour objet de s'opposer à tout mouvement latéral. Le contraire pourrait avoir lieu, il en résulterait que les deux pièces, une fois assemblées, ne pourraient pas plus s'écarter dans le sens de leur longueur que latéralement ; mais cet avantage ne contrebalancerait peut-être pas l'inconvénient d'une coupe plus difficile pour les rainures ; l'assemblage de la *fig.* 498 est préférable pour ce cas.

On peut combiner l'assemblage de la *fig.* 494 avec ceux des *fig.* 492 et 493.

409. Enture en fausses coupes, avec tenons inverses, abouts en coupe et brisés. — *Fig.* 495. Les pièces E et D sont exactement coupées de la même manière. Le rampant de chaque tenon se trouve dans le même plan que la mortaise qui se trouve en arrière. Cet assemblage, dont les dispositions sont réciproques entre les deux pièces, est d'une exécution facile. Il est susceptible d'être chevillé.

410. Enture à coulisse en queue d'hironde avec abouts en coupe. — *Fig.* 496. La languette en queue d'hironde est formée sur la pièce A; la coupe pour recevoir cette languette est creusée dans la pièce B. On pourrait disposer cet assemblage de façon que chaque ente porterait une rainure à queue d'hironde et une languette également à queue d'hironde. Elles seraient alors disposées comme les rainures et languettes simples de l'assemblage de la *fig.* 494.

411. Enture à endents. — Simple. — *Fig.* 497. L'on met en joint en posant le bout de la pièce E^1 sur le bout de la pièce D^1.

Avec rainures et languettes. — *Fig.* 498. Les languettes sont ménagées dans les endentures creuses, et les rainures sont faites dans les endents saillants.

En queue d'hironde sur les faces du parement. — *Fig.* 499. On ne peut mettre en joint qu'en présentant les pièces l'une à l'autre latéralement. Les coupes doivent être faites avec beaucop de précision et assez serrées pour qu'on soit obligé d'assembler à petits coups de masse.

Même assemblage avec coupes biaises. — *Fig.* 500. Pour que le joint se serre de lui-même, on descend la pièce B en joint avec la pièce A, en la faisant glisser le long du cran du milieu xy, qui est coupé carrément. Cette enture exige de la précision dans la coupe pour que tous les abouts serrent en même temps.

412. Traits de Jupiter. — Simple. — *Fig.* 501. Pour enter les pièces A^1, B^1.

Simple avec clef. — *Fig.* 502. Pour serrer les abouts en joint. Les abouts sont droits ou perpendiculaires aux faces de parements des pièces E, D.

Le nom de cet assemblage et de tous ceux qui en sont dérivés vient de la ressemblance du tracé du joint sur les faces de parement avec les traits de foudre que les artistes placent comme attribut dans la main de Jupiter.

Même assemblage avec abouts taillés en coupe et brisés. — *Fig.* 503. Cette disposition s'oppose à toute déviation latérale dans l'assemblage. Les brisures xyz étant très-obtuses, il n'y a point à craindre que la pression des abouts, occasionnée par l'effet de la clef, fasse fendre le bois dans les angles y ; les contacts des abouts ont d'ailleurs peu d'épaisseur par rapport à celle des pièces E, D.

Trait de Jupiter à joints droits, avec abouts en coupe, brisés et à clef. — *Fig.* 504.

Avec tenons d'about, rainures, languettes et clef. — *Fig.* 505.

A triple entaille ou à trois clefs. — *Fig.* 506. Pour enter les pièces E^1, D^1. On peut faire des traits de Jupiter à autant d'entailles qu'on veut ; c'est un moyen d'augmenter la solidité de l'assemblage lorsqu'il doit résister en tirant. En effet, la solidité du trait de Jupiter (*fig.* 502) dépend de la résistance que la cohésion des fibres oppose à l'effort qui tend à séparer les pièces. Si le bois venait à se fendre suivant les lignes *sv*, *tu*, l'assemblage serait rompu. En multipliant les crans (*fig.* 506), on multiplie les lignes *sv*, *tu* de la *fig.* 502, qui représentent les surfaces de cohésion des fibres, et il faudrait que tous les crans d'un même côté des clefs se déchirassent pour rompre complétement l'assemblage. Mais au delà de trois ou quatre crans, on augmente beaucoup les difficultés de la coupe sans augmenter sensiblement la solidité de l'assemblage, parce que les entailles n'ont plus assez de profondeur et les clefs assez d'épaisseur pour être solides.

A trois entailles et une seule clef. — *Fig.* 507. Cet assemblage est d'une exécution difficile pour obtenir une justesse telle que les abouts des pièces E, D, éprouvent de la part de la clef des pressions égales.

Double à fausses entailles en coupes inverses. — *Fig.* 508. Pour que la clef tienne également en joint les deux traits des pièces E, D, il faut qu'elle soit cylindrique. On peut faire cette enture à tenailles comme celles des pièces E, D (*fig.* 487 ou *fig.* 495).

Avec coupes droites, fausses coupes et clef en queue d'hironde. — *Fig.* 509. Cet assemblage a le défaut qui résulte toujours de la combinaison des coupes droites avec les fausses coupes ou, en général, des coupes qui n'ont pas la même inclinaison. Ces coupes sont en désaccord. Le glissement des fausses coupes *rs*, *tu* tend à ouvrir les joints des coupes droites *yz*, *zv*. On a pensé remédier à ce vice en donnant à la clef une forme en queue d'hironde double; mais cette forme tend à la faire fendre de x en z, accident qui romprait l'assemblage.

Sans clef et boulonné. — *Fig.* 510. C'est un des meilleurs joints qu'on puisse faire pour enter deux pièces A et B. On met en joint en faisant marcher les pièces latéralement l'une vers l'autre. Il faut que ce trait soit taillé très-juste, et qu'on assemble de force et à coups de masse. On peut aussi donner une légère obliquité aux abouts et aux crans, afin de faciliter l'entrée en assemblage et de le faire serrer en arrivant en joint.

A joint droit avec une seule clef. — *Fig.* 511. Ses abouts sont en coupes inverses, c'est un assemblage très-solide.

413. Trait à plat joint en tenailles. — *Fig.* 512. Les abouts sont en coupes biaises et inverses, une clef cylindrique *g* tient l'assemblage.

Pour mettre en joint, on pose d'abord la pièce E à plat sur sa face de parement, l'entaille en dessus (*fig.* 513). On place la clef cylindrique dans le logement qui lui a été préparé sur la joue de l'entaille où elle pénètre d'une moitié de sa longueur. On pose ensuite la pièce D sur la pièce E, de façon qu'elles se croisent comme elles sont représentées (même figure). La clef entre de l'autre moitié de sa longueur dans la joue de l'entaille faite sur la pièce D, qu'on fait ensuite tourner jusqu'à ce qu'elle se trouve en ligne droite avec la pièce E. En donnant quartier aux deux pièces, de façon que le plan du joint à mi-bois soit vertical, l'assemblage se trouve, ainsi qu'on le voit

(*fig.* 512), en position de résister à un effort qui agirait, comme la pesanteur, dans un sens vertical. Cet assemblage est, comme toutes les autres entures horizontales, susceptible d'être fortifié au moyen de boulons.

IV. — ENTURES VERTICALES.

414. Enture à fausse tenaille. — *Fig.* 514. L'assemblage a lieu au moyen d'un tenon qui peut être introduit, sans élever la pièce A, dans la fausse tenaille ouverte de côté. Cette enture, qui n'est pas très-solide, s'emploie cependant lorsque quelque obstacle s'oppose à ce qu'on puisse exhausser la pièce A suffisamment pour *mettre dedans*, comme l'exigent tous les autres moyens d'enture. En B, la pièce qui porte la *fausse tenaille* est vue par le bout en projection horizontale.

415. Enture à tenon chevronné. — *Fig.* 515. En projection horizontale, la pièce D est vue par le bout, la pièce E étant enlevée.

416. Enture à tenons et tenailles en croix. — *Fig.* 516. La pièce inférieure B est vue par le bout en projection horizontale, la pièce A étant désassemblée.

417. Enture à tenailles inverses. — *Fig.* 517. Chaque pièce porte deux tenons croisés avec deux entailles, les deux tenons d'une pièce entrent dans les tenailles de l'autre. En D, la pièce inférieure est vue par le bout en projection horizontale ; au centre se trouve un petit carré qui est l'about des deux pièces et qui répond, sur les deux projections verticales, aux lignes *vx*.

418. Enture à tenons et mortaises carrés. — *Fig.* 518, *pl.* XXII. L'enture de la pièce A avec la pièce B a lieu au moyen d'un tenon réservé sur l'about de la pièce A et qui entre dans la mortaise creusée dans l'about de la pièce B. Le tenon et la mortaise sont à fil du bois, leurs faces et joues parallèles aux faces des pièces ; on pourrait les faire parallèles aux diagonales.

L'enture de la pièce B dans la pièce C est faite au moyen d'un faux tenon carré en bois de fil, qui entre de la moitié de sa longueur dans chaque mortaise creusée carrément dans les abouts des deux pièces. En C la pièce inférieure est en projection horizontale vue par le bout, désassemblée et ayant retenu le faux tenon dans sa mortaise.

419. Même assemblage à double tenon. — *Fig.* 519. Chaque pièce porte deux tenons contigus diagonalement et deux mortaises intermédiaires, de façon que les deux tenons de chaque pièce entrent dans les deux mortaises de l'autre pièce.

En D et D sont deux projections de la pièce inférieure vue par le bout, l'une pour le cas où la division des tenons est faite par des plans verticaux parallèles aux faces des pièces, l'autre pour celui où cette division est faite diagonalement. On peut faire un tenon cylindrique.

420. Entures à double enfourchement carré. — *Fig.* 520. Dans la première enture, la pièce B porte quatre tenons qui entrent dans les quatre encastrements ouverts dans la pièce A. Dans l'enture de la pièce B sur la pièce C, chaque pièce porte deux tenons et deux encastrements, de façon que les deux tenons de l'une pénètrent dans les deux encastrements de l'autre.

421. Enture à double enfourchement sur les arêtes. — *Fig.* 521. Dans le joint

entre les pièces E, D, celle-ci porte quatre tenons triangulaires, qui sont reçus dans les entailles faites sur les arêtes de la pièce E. Dans le joint de la pièce D et la pièce G, chaque pièce porte deux tenons triangulaires placés sur les arêtes diagonalement opposées, et deux entailles triangulaires faites sur les deux autres arêtes ; les deux tenons d'une des pièces sont retenus dans les entailles de l'autre. Dans ces deux assemblages, les deux pièces portent l'une sur l'autre par un about octogonal qu'on voit sur la projection horizontale qui présente la pièce G par le bout, la pièce D étant enlevée.

422. Enture par quartiers, à mi-bois sur les quatre faces. — *Fig.* 522. Les pièces A, B sont taillées toutes deux de la même manière ; la projection horizontale présente la pièce B par le bout après qu'on en a désassemblé la pièce A. Les deux quartiers conservés diagonalement sur une pièce entrent dans les emplacements de ceux qu'on a supprimés sur l'autre. Les abouts des quatre quartiers peuvent être taillés en coupe, pour les maintenir en joint, comme ceux de la *fig.* 526. Mais ordinairement ces assemblages sont frettés en fer.

423. Enture à enfourchement. — *Fig.* 523. Les deux pièces E, D, sont taillées exactement de la même manière, la projection horizontale fait voir la pièce D par le bout, après qu'on a désassemblé la pièce E. Les abouts sont en chevrons. Les abouts saillants d'une pièce entrent dans ceux en creux de l'autre. Malgré la sujétion de la coupe de cet assemblage, il a sur le précédent l'avantage que la solution de continuité des fibres n'a pas lieu subitement.

424. Trait de Jupiter à quatre faces. — *Fig.* 524. Les deux projections verticales A^1, B^1, A^2, B^2, font voir le trait sur deux faces contiguës des pièces A, B ; il est le même sur les deux autres faces, mais en sens inverse. L'une des projections horizontales fait voir la pièce A par le bout supérieur. Sur la droite, la projection verticale B^2 et la projection horizontale B, qui lui répond en dessous, font voir la pièce B après qu'on en a désassemblé la pièce A.

425. Entures par quartiers à mi-bois avec tenons réservés en chevrons. — *Fig.* 525.

426. Enture par quartiers sur les arêtes. — *Fig.* 526. Les quatre abouts sont en coupe. Cette enture, difficile à exécuter, n'est pas d'un bon service.

Le mode d'enture par quartiers formés par deux joints qui se croisent à angle droit, s'exécute très-bien et très-utilement sur les bois ronds, comme nous l'avons indiqué (*fig.* 527). On peut aussi faire cette enture par trois joints, qui se croisent au centre sous des angles de 60 degrés (*fig.* 528).

On ne doit point faire usage de la scie pour exécuter les joints des assemblages des *fig.* 522, 523, 524, 525, 526, 527 et 528, parce que l'épaisseur du trait de scie laisserait du jeu dans les joints.

427. Enture à enfourchement en fausse coupe sur les quatre faces. — *Fig.* 529. Les fourchons sont triangulaires, chaque pièce en porte deux avec deux entailles. Les fourchons d'une pièce s'appliquent aux entailles de l'autre, et les deux pièces se joignent par un about carré $v\ x\ y\ z$, dont les angles répondent au milieu de leurs faces. Les abouts des fourchons sont en coupe pour qu'ils ne s'écartent pas.

428. Enture à double enfourchement. — *Fig.* 530 La pièce E porte quatre fourchons triangulaires sur les quatre arêtes, ils sont tenus par quatre entailles égales, faites sur les quatre arêtes de la pièce B. Les deux pièces ont leurs abouts carrés; celui de la pièce E est entre les racines des quatre fourchons, celui de la pièce D est formé par les quatre entailles, il se voit en $v\ x\ y\ z$, sur la projection horizontale D. Les abouts des fourchons sont en coupe, comme dans la figure précédente, pour qu'ils soient maintenus en joint.

429. Enture à fausse coupe sur les quatre faces. — *Fig.* 531. Les deux pièces sont taillées exactement de la même manière, elles portent chacune deux longs fourchons en pyramides quadrangulaires ; les extrémités en pointe des fourchons de l'une des pièces entrent dans les enfourchements de l'autre; les abouts sont en coupe. Les joints sont tous quatre perpendiculaires aux faces des pièces, ce qui rend cette enture facile à tailler avec précision.

Toutes les entures sont susceptibles d'être fortifiées par des ferrures.

V. — ENTURES DE PIÈCES DE BOIS MINCES.

430. Entures en fausse coupe. Avec clef. — *Fig.* 532. Les abouts peuvent être retenus en joint par des vis à bois x, la clef f occupe environ le tiers de l'épaisseur des pièces qu'elle traverse. Elle remplit les mortaises suivant l'épaisseur des bois, mais elle est chassée à coups de maillet pour serrer fortement dans le sens des fibres du bois.

Avec faux tenon chevillé. — *Fig.* 533. Les abouts sont en coupe parallèlement aux côtés du faux tenon g.

Avec tenons réservés. — *Fig.* 534. Le tenon y en saillie sur la première moitié de la fausse coupe d'une ente, pénètre dans la mortaise creusée dans la seconde moitié de la fausse coupe de l'autre ente. Cette enture peut être chevillée.

431. Enture à mi-bois avec fausses coupes croisées. — *Fig.* 535. Cet assemblage peut être retenu par quelques clous ou par des vis à bois u, v; les abouts sont également tenus en joint par des clous ou des vis z. On pourrait les terminer en coupe.

On fait aussi cet assemblage en trois parties; deux de ces parties forment des joues, elles appartiennent à l'une des pièces, elles sont toutes deux taillées suivant la même fausse coupe. La troisième partie, qui appartient à l'autre pièce, remplit l'intervalle entre les deux joues, qui est de trois septièmes de l'épaisseur du bois; elle est coupée en sens inverse.

VI. — ENTURES USITÉES DANS LA CHARPENTERIE NAVALE.

432. Les entures que nous avons décrites dans les n^{os} 414 à 529, conviennent lorsque les pièces, carrées ou rondes, doivent agir suivant leur longueur et même par torsion. Mais lorsque les pièces sont entées pour résister à la flexion, leurs joints ne doivent pas établir subitement une solution de continuité des fibres. Il faut que la

résistance résultant de la roideur du bois passe de l'une à l'autre des pièces presque insensiblement et comme s'il n'y avait point d'interruption. C'est dans cette vue que les charpentiers de marine croisent les pièces entées jusqu'à donner aux *écarts* (1) du joint en fausses coupes les deux tiers de la longueur de chaque ente ; et pour empêcher le glissement de ces longs joints, ils les remplissent, d'un bout à l'autre, d'*endentures* saillantes et creuses qui pénètrent les unes dans les autres.

Ces sortes d'entures sont particulièrement employées pour la construction des vergues en plusieurs pièces. Les endentures de leurs joints présentent une succession de queues d'hironde simples ou doubles, suivant le fil du bois, qui s'opposent, en se serrant, à toute espèce de dérangement que la flexion des pièces entées pourrait produire dans les joints.

La *fig.* 536 représente une vergue ronde, composée de deux entes A, B. Cette vergue est projetée sur un plan parallèle à son axe et perpendiculaire au joint en fausse coupe *mn*, suivant lequel les entes sont assemblées. Les *fig.* 537 à 540 donnent les détails de cet assemblage.

La *fig.* 541 est une vergue ronde, assemblée de quatre pièces, savoir : deux entes D, E et deux jumelles de recouvrement F, G ; elle est projetée sur un plan parallèle à son axe et perpendiculaire aux deux joints de recouvrement *ae*, *oi*, des jumelles avec les entes. Les *fig.* 542 à 545 donnent des détails de cet assemblage.

VII. — ASSEMBLAGES DE PIÈCES DE BOIS CROISÉES.

433. Assemblage croisé à tiers de bois. — *Fig.* 546. La pièce A et la pièce B sont entaillées chacune au tiers de son épaisseur et sur une longueur égale à la largeur de celle de l'autre pièce ; lorsque les deux pièces sont assemblées, le joint occupe sur chacune les deux tiers de son épaisseur.

434. Même assemblage à mi-bois. — *Fig.* 547. Chaque pièce est entaillée de la moitié de son épaisseur, de sorte que lorsqu'elles sont assemblées, leurs surfaces de parement s'affleurent des deux côtés. On maintient les assemblages en joint au moyen d'un boulon.

435. Assemblage en croix à double entaille. — *Fig.* 548. La première entaille de chaque pièce est faite sur le premier tiers de son épaisseur et carrément, comme celles de la *fig.* 547. La seconde est faite sur le second tiers de l'épaisseur, mais seulement suivant deux des quatre triangles résultant des diagonales tracées sur le fond de la première entaille, ce qui forme deux espèces d'embrèvement en onglets, qui laissent les deux autres triangles en saillie suivant le fil du bois. Les deux pièces se trouvent ainsi entaillées de la même manière ; en les croisant pour les assembler, les triangles saillants de l'entaille intérieure d'une pièce entrent dans les embrèvements

(1) Longueur dont les bois assemblés se croisent.

creusés dans le fond de l'entaille de l'autre pièce. On peut maintenir cet assemblage en joint au moyen d'un boulon, comme les deux précédents ; ce boulon n'est pas marqué sur la figure.

On peut croiser deux pièces au tiers ou à moitié bois en n'employant que la seconde entaille en onglet. La *fig.* 549 représente une pièce, celle B, désassemblée, entaillée ainsi et vue par la face, dans laquelle on a entaillé les embrèvements zz qui réservent sur la même face les deux onglets saillants yy. Deux pièces étant taillées de cette sorte et exactement pareilles, en les croisant, les onglets de l'une entrent dans les embrèvements de l'autre. Les pièces ne se pénètrent que de la profondeur des entailles. On ne doit point se servir de la scie pour faire les entailles en onglets, parce que l'épaisseur du trait de scie empêcherait les onglets de se joindre exactement et l'assemblage aurait du jeu.

On peut varier le joint de la *fig.* 546 de diverses manières. Nous n'en indiquerons qu'une, dans laquelle les entailles et onglets se trouvent remplacés par une rainure et une languette (*fig.* 550). Cet assemblage ne vaut pas celui de la *fig.* 548, parce qu'il affaiblit davantage les pièces, à moins qu'on donne très-peu d'épaisseur à la languette pour que la grande entaille soit moins profonde.

436. Assemblage à mi-bois en croix à clef. — *Fig.* 551. La pièce A est assemblée dans la pièce B à mi-bois, elle porte sur une des faces latérales une entaille v en coupe, qui reçoit la joue y aussi en coupe, de l'entaille de la pièce B. Une clef z, taillée aussi en coupe, serre le joint, et les pièces A, B ne peuvent plus se séparer. Cet assemblage ne nécessite pas de boulon.

Dans l'assemblage de la pièce E avec la pièce B, le joint en paumelle est remplacé par deux entailles qui forment un tenon r et un encastrement s. Le joint est serré par une clef en coin t ; dans ces divers assemblages, les deux pièces assemblées peuvent avoir des équarrissages différents ; leur croisement peut aussi avoir lieu sous un angle quelconque, c'est le cas le plus fréquent représenté par la figure suivante.

437. Croix de Saint-André. — La *fig.* 552 présente une projection horizontale sur les faces de parement d'une *croix de Saint-André*, formée par l'assemblage à mi-bois de deux pièces A, B, qui se croisent sous un angle quelconque. A^1, B^1 est la projection verticale de cet assemblage; A^2, B^2 sont les mêmes pièces désassemblées projetées sur les faces normales.

Croix de Saint-André avec embrèvement. — La *fig.* 553 est la projection horizontale du trait de l'assemblage à mi-bois. Les embrèvements se voient en p et q. En B^1 est la projection verticale de la pièce B vue sur sa face normale, répondant à son arête mn. Les embrèvements dans les assemblages en croix de Saint-André sont utiles lorsque les angles de croisement diffèrent beaucoup de l'angle droit pour empêcher qu'il ne se lève des éclats aux bords aigus des entailles.

Les pièces qui forment les croix de Saint-André sont traversées par un boulon pour les tenir en joint.

Croix de Saint-André formée par des pièces débillardées. — La *fig.* 554 en montre une projection sur le plan des faces de parement que nous supposons horizontales ; les

pièces assemblées sont marquées A, B, elles sont en projection verticale et assemblées en A^1, B^1; on les voit désassemblées, encore en projection horizontale, au-dessous de la figure, à gauche et à droite en A et B, et elles sont un peu plus bas en projection sur leurs faces d'épaisseur en A^2, B^2. Pour que l'on saisisse plus aisément la relation de chacune de ces dernières projections avec sa correspondante en A ou B, les mêmes arêtes dans les unes et les autres projections sont marquées des mêmes chiffres. Ainsi, l'on voit qu'on a fait tourner les pièces A et B autour de leurs arêtes n° 1 pour amener dans chacune la face comprise entre les arêtes n° 1 et n° 2, parallèle au plan de projection.

En B^3 est une section de la pièce B par un plan perpendiculaire aux arêtes, suivant les lignes xy, $x'y'$.

Cette croix de Saint-André est boulonnée, comme la précédente, au milieu de son joint, et perpendiculairement à ses faces de parement. Le boulon est représenté ponctué dans la projection verticale A^1,B^1. Sur les projections A, B et A^2, B^2 des pièces désassemblées, on n'a représenté que les orifices visibles des trous qu'il traverse.

438. Moyens de consolidation des assemblages précédents. — Les assemblages à entailles des bois qui se croisent sont fréquemment consolidés par des coupes en queue d'hironde ou des rainures, lorsque la pièce qui croise ne se prolonge au delà de la pièce croisée que de la longueur nécessaire pour que la joue de l'entaille ait assez de solidité. La *fig.* 555 présente des exemples de cette combinaison. La pièce A est assemblée à mi-bois avec la pièce B; les joues de l'entaille faites dans celle-ci sont coupées suivant les lignes xz, qui tracent en même temps des embrèvements sur la pièce A, qui se trouve ainsi coupée en queue d'hironde. Quelquefois, on ne fait l'embrèvement que d'un seul côté, comme tv dans l'assemblage de la pièce E avec la même pièce B; dans ce cas, on peut faire un embrèvement semblable tv dans la pièce B qui passe en dessous de la pièce E. Il en résulte que les deux pièces sont également assemblées à entailles et à queue l'une à l'égard de l'autre. La *fig.* 556 représente, pour le même cas, l'assemblage d'une pièce O dans l'entaille à rainure d'une pièce R.

439. Joints anglais. — Les charpentiers anglais substituent ordinairement aux queues d'hironde, combinées avec les assemblages à mi-bois, une encochure yz entaillée dans la pièce O et qui reçoit une saillie réservée sur le joint de l'entaille dans la pièce B. Cette *encochure* ne vaut pas la queue d'hironde, vu que sa résistance n'est représentée que par la cohésion des fibres de la pièce B comprises de y en z; tandis que dans l'assemblage à queue d'hironde des pièces A ou E, la résistance résulte de la cohésion des fibres de toute l'épaisseur de la pièce B de z en x ou de t en v.

Les charpentiers anglais appliquent aussi leur embrèvement circulaire aux entailles à mi-bois, comme on le voit en rs, pour l'assemblage en croix de la pièce I avec la pièce B.

Les assemblages croisés par entailles et à queue d'hironde ou à rainure sont ordinairement boulonnés comme les autres assemblages croisés.

VIII. — ASSEMBLAGES RUSSES ET SUISSES.

440. Les charpentiers des contrées du Nord et de la Suisse assemblent des corps d'arbres pour former les encoignures de murailles, en les croisant au moyen d'entailles à mi-bois, qui sont mises en joint d'une manière toute contraire de celle que nous avons précédemment décrite. Ce mode d'assemblage réunit plusieurs avantages pour les circonstances qui en déterminent l'emploi.

La *fig.* 557, *pl.* XIII, contient une projection horizontale et deux projections verticales de trois parties de murailles en bois A, B, C ; deux d'entre elles rencontrent la troisième à angle droit.

Chaque muraille est formée de corps d'arbres posés horizontalement les uns au-dessus des autres, de façon que tous leurs axes sont dans un même plan vertical. Au point de rencontre de deux de ces murailles les arbres de l'une croisent ceux de l'autre et les dépassent d'une longueur au moins égale à leur diamètre. Ils sont entaillés afin qu'ils puissent, dans chaque muraille, se joindre sur toute leur longueur.

L'entaille de chaque corps d'arbre est creusée en demi-cercle, suivant la rondeur du corps d'arbre qui doit la remplir et qu'elle doit envelopper sur la moitié de son contour, de telle sorte que chaque corps d'arbre est reçu dans l'entaille de celui qui est au-dessous et qu'il reçoit dans la sienne celui qui est au-dessus.

Ce mode d'assemblage ne permet pas que les arbres soient établis par cours à mêmes hauteurs dans les murailles qui se joignent ; il n'y a à cela aucun inconvénient sous le rapport de l'aspect de la construction, et cette disposition procure l'avantage qu'il ne peut y avoir de glissement horizontal d'un lit à l'autre dans aucun sens.

Si la rencontre des murailles était oblique, cela ne changerait rien au mode d'assemblage ; les entailles, au lieu d'être faites perpendiculairement à la longueur des corps d'arbres, seraient obliques et n'en seraient pas moins creusées circulairement, de façon à présenter des surfaces concaves cylindriques.

Lorsque les parements des murailles ne sont point verticaux, le moyen d'assemblage n'est pas changé, les entailles sont seulement reculées et creusées de manière que les arbres se touchent toujours et qu'ils soient en retraite les uns sur les autres.

A l'extrémité d'un mur, les arbres qui ne doivent pas être croisés par d'autres sont taillés en tenons qui sont reçus dans la rainure d'un poteau D. Lorsque le mur doit être prolongé au delà du poteau, on creuse une seconde rainure comme celle du poteau E, pour recevoir les tenons des arbres qui forment le prolongement de la muraille. On use de ce moyen lorsque les arbres n'ont pas assez de longueur pour former d'une seule pièce celle de la muraille.

Dans le dessous de chaque corps d'arbre, on creuse une cannelure longitudinale, dont l'objet est de donner une assiette plus large et un calfatage de mousse plus épais. On la fait en dessous, pour qu'elle ne retienne pas l'eau de pluie.

La *fig.* 558 présente deux projections d'un des corps d'arbres de la muraille C, parallèlement à sa longueur. La *fig.* 559 est une coupe par le milieu de l'entaille, suivant la ligne *mn* de la *fig.* 558. La *fig.* 560 est une autre coupe du corps d'arbre suivant la ligne *pq*.

On pourrait entailler les corps d'arbres comme celui représenté *fig.* 561. La jonction s'opèrerait de la même manière aux points où les arbres se croiseraient, mais le travail ne serait point aussi simple que celui représenté *fig.* 558.

On peut poser aussi les arbres les uns au-dessus des autres, en sens inverse de celui que la figure représente, de façon que les entailles soient en dessous. Cette disposition serait utile pour que les entailles ne conservassent pas l'eau de pluie qui pourrait s'y insinuer. Elle ne changerait rien au système d'assemblage, qui joint une extrême simplicité à la plus grande solidité. Mais il en résulterait quelque travail de plus, vu que, quand les entailles sont en dessus, elles se font sur les arbres à mesure qu'ils sont mis en place.

441. La *fig.* 562 présente une projection horizontale et deux projections verticales de trois parties de murailles en pièce de bois équarries A, B, C, dont les assemblages des encoignures sont faits d'après le même système. Les entailles sont carrées et occupent la moitié de l'épaisseur du bois. Chaque pièce reçoit dans son entaille la partie non entaillée de la pièce qui la croise. La *fig.* 563 donne deux projections de l'une des pièces du mur C.

La *fig.* 564 est une coupe de l'entaille de cette pièce suivant la ligne *mn* de la *fig.* 563, et la *fig.* 565, une coupe de la même pièce suivant la ligne *pq*.

La *fig.* 566 montre les deux entailles qui pourraient être faites dans chaque pièce pour produire le même résultat, chaque pièce se trouvant assemblée avec celle qui la croiserait au quart de son épaisseur. Mais, ainsi que nous l'avons remarqué à l'occasion de la *fig.* 561, il en résulterait une augmentation de travail sans accroissement de solidité.

442. La *fig.* 567 contient une projection horizontale et deux projections verticales de l'encoignure formée par deux parties de mur B, C, en bois rond, dont les assemblages sont taillés à six pans. Cette disposition est adoptée lorsqu'on veut donner un large contact aux arbres et que les assemblages soient serrés avec plus de force par l'effet des joues inclinées des entailles qui sont creusées chacune suivant un demi-hexagone. La *fig.* 568 présente une projection horizontale et une projection verticale de l'une des pièces de la muraille C. La *fig.* 569 est une coupe suivant la ligne *kl* de la partie du corps d'arbre taillée en prisme hexagonal. La *fig.* 570 est une autre coupe sur le milieu de l'entaille en demi-hexagone suivant la ligne *mn*, et la *fig.* 571 est une coupe du corps d'arbre suivant la ligne *pq*, pour montrer sa forme après qu'on a taillé les deux faces planes parallèles qui font partie du prisme hexagonal et suivant lesquelles les arbres sont posés les uns sur les autres.

443. La *fig.* 572 présente deux projections verticales, développées sur le même plan l'une à côté de l'autre, d'un angle ou encoignure d'une muraille en bois, dont les pièces ne dépassent point les parements extérieurs. Chaque pièce présente une queue d'hironde suivant le fil du bois en dessus et dans le sens perpendiculaire en dessous, de telle sorte que les pièces ne peuvent point s'écarter les unes des autres lorsqu'elles sont pressées par le poids de la bâtisse.

IX. — ASSEMBLAGES LONGITUDINAUX DES GROSSES PIÈCES.

444. Dispositions diverses. — *Fig.* 573. Assemblage de deux pièces A, B, appliquées l'une contre l'autre suivant leur longueur. Cet assemblage peut avoir lieu par simple juxtaposition ou à plat joint, ou bien le joint est façonné de diverses manières. Dans l'un et dans l'autre cas, on est ordinairement dans la nécessité d'attacher les pièces l'une à l'autre par quelques-uns des moyens auxiliaires qui font l'objet des *fig.* 574, 575 et 576.

Sur la gauche de la première projection des pièces A, B (*fig.* 573), on a représenté diverses coupes suivant la ligne xy, pour montrer la disposition à rainures et languettes qui sont quelquefois employées. La coupe A^1, B^1 fait voir celle d'une fausse languette qui entre de la moitié de sa hauteur dans la rainure creusée longitudinalement dans chaque pièce. Pour que cette languette ait toute la solidité désirable, il faut qu'elle soit à bois debout, c'est-à-dire que le fil du bois de la languette soit perpendiculaire au fil du bois des pièces A^2, B^2, afin que la languette ne puisse se fendre suivant la longueur du joint vz. Cette languette est alors formée de plusieurs pièces réunies les unes près des autres.

Dans la coupe A^2, B^2, les pièces A et B portent chacune longitudinalement une rainure et une languette. Dans celle A^3, B^3, l'une des pièces B porte la languette, la rainure est creusée dans la pièce A. Enfin dans les coupes A^4, B^4, la languette et la rainure ont la forme d'une queue d'hironde. Les pièces ne peuvent plus être assemblées en les rapprochant parallèlement l'une de l'autre ; on les fait glisser longitudinalement l'une sur l'autre en faisant entrer la languette ou queue dans la rainure.

445. Moyens auxiliaires. — La *fig.* 574 représente en projection horizontale et en projection verticale trois moyens d'assemblage des deux pièces A et B réunies longitudinalement. *a* est une cheville ou goujon en bois qui pénètre dans les deux goujons en bois A, C, jusqu'à la moitié de l'épaisseur de chacune. On multiplie les réunions suffisamment solides, suivant l'objet qu'on se propose. Les goujons doivent être faits en bois très-sec. Ils sont chassés à force dans les trous faits avec une tarière dans les deux pièces avec l'attention que ceux de l'une correspondent exactement vis-à-vis de l'autre ; les goujons sont plantés d'un bout à coups de maillet dans les trous d'une des deux pièces ; ils sont ensuite introduits de l'autre bout dans les trous de l'autre pièce, qui est amenée en joint à coups de masse.

b est un faux tenon qui pénètre de la moitié de sa longueur dans chaque pièce ; ce tenon est *entré* de force dans les mortaises et chevillé.

c est une clef qui traverse les deux pièces A, B, et les serre l'une contre l'autre au moyen de deux clavettes. Avant qu'on adoptât l'usage des boulons, cette clef et ces clavettes en tenaient lieu.

La *fig.* 575 représente encore par deux projections la réunion longitudinale des deux pièces de bois A, B, maintenues par divers moyens. *a a* sont deux clefs logées en dessus et en dessous des deux pièces dans des entailles dont les côtés sont en coupe ; les clefs sont introduites dans les entailles en glissant ; lorsqu'elles sont en place et que les deux pièces sont bien serrées l'une contre l'autre, on fixe les clefs en les clouant.

bb sont deux clefs en double queue d'hironde, logées dans des entailles très-justes et qui forcent même la pression en joint; une clef à queue est au-dessus, une autre au-dessous. Elles sont maintenues par des clous ou des vis.

c. Clef à queue d'hironde avec un coin *d*. Cette clef traverse les deux pièces dans les mortaises qu'on y a ouvertes : elle n'occupe qu'une partie de l'étendue de la mortaise, le surplus est rempli par l'autre clef taillée un peu en coin.

ff. Même assemblage avec deux clefs à queue d'hironde et une clef en coin *g*, placée entre elles.

h. Grosse cheville qui traverse les deux pièces et est *coincée* par les deux bouts, pour remplir les deux bouts qu'elle traverse et qu'on a eu soin d'évaser en long par leurs orifices extérieurs. Les coins, en bois dur, sont chassés à coups de marteau dans les fentes ouvertes avec un ciseau dans une position perpendiculaire à la longueur des pièces A, B, afin que la pression se porte sur le bois debout, vu que dans un autre sens elle ferait fendre les pièces.

La *fig*. 657 représente quelques ferrements employés pour serrer deux pièces de bois accolées.; *a* lien à vis et écrous avec bride ; *b* frette simple ; *c* frette serrée par des coins en fer ; *d* boulons à vis et écrous de différentes formes. Nous aurons occasion de donner d'autres détails en parlant de l'emploi du fer dans les assemblages.

X. — ASSEMBLAGES LONGITUDINAUX DES PLANCHES ET DES MADRIERS

446. *Fig*. 577. Coupe de quatre planches sur un plan perpendiculaire à leur longueur : elles sont assemblées en *a* à plat joint, en *c* en fausse coupe et en *b* avec fausse languette rapportée dans la rainure creusée dans l'épaisseur de chaque planche : cette fausse languette doit être à bois debout, comme nous l'avons déjà fait remarquer au sujet des pièces A^1, B^1 (*fig*. 573).

Fig. 578. Assemblage de planches à joints recouverts.

Fig. 579. Assemblage à rainures et languettes simples avec faux tenons chevillés *d* ; ces tenons sont toujours à bois debout, dont le fil est perpendiculaire à la longueur des planches.

Fig 580. Assemblage à doubles rainures et languettes.

Fig. 581. Assemblage dit *à grains d'orge*.

Les assemblages des *fig*. 577, 578, 579, 580 et 581, sont représentés par des projections sur un plan parallèle aux planches ou madriers et par des coupes perpendiculaires au fil du bois.

Fig. 582. Assemblage de planches à joints recouverts avec rainures et languettes ; les planches représentées par leurs coupes A, suivant un plan perpendiculaire au fil du bois, sont clouées sur la solive B, projetée selon sa longueur sur le même plan. Les têtes des clous *x* sont couvertes par les planches à mesure qu'elles se posent.

Fig. 583. A, A, A, planches assemblées entre elles à rainures et languettes et dans la traverse B également à rainures et languettes avec tenons et mortaises *f*.

XI. — ASSEMBLAGES A ENDENTURES USITÉS DANS LA CHARPENTERIE NAVALE.

447. Les rainures et languettes de la *fig.* 573 maintiennent les pièces assemblées parallèles, mais elles n'opposent point de résistance au glissement qui peut résulter d'un effort dans le sens de la longueur du bois ou de la courbure que leur flexibilité peut permettre. Les charpentiers, notamment ceux de la marine, ont ajouté à ce mode d'assemblage des *endents* ou *crans* qui fixent invariablement, les unes aux autres, les pièces jointes longitudinalement. Les endents sont intérieurs ou apparents ; nous ne décrirons ici que les endents intérieurs, qui sont employés particulièrement pour la confection des grands mâts ou des vergues et qu'on peut appliquer avec avantage à d'autres pièces de charpenterie civile.

Un mât supposé couché horizontalement est représenté (*fig.* 584) par une projection verticale sur un plan parallèle à son axe et par une coupe suivant un plan perpendiculaire au premier passant par la ligne MN; cette coupe fait voir par leurs bouts les quatre pièces O, U, V, X, qui composent le mât, séparées par les traits de leurs joints à rainures et languettes qui portent les *endentures*. Les pièces U, V sont les seules apparentes sur la projection verticale.

La *fig.* 585 contient la projection et la coupe des deux pièces O, X, qui forment une moitié du même mât et desquelles on a désassemblé les pièces U,V de l'autre moitié du mât, pour faire voir, dans la projection, le tracé des *endents* carrés en saillie et en creux qui s'ajustent à ceux taillés en sens inverse sur les pièces U, V.

La *fig.* 586 est relative à la construction d'un mât composé de deux pièces Y, Z, qui sont vues par le bout dans la coupe suivant MN de la projection verticale. Cette projection représente la seul pièce Z désassemblée pour mettre ses endentures en évidence. Celles de la pièce Y sont en sens contraire, c'est-à-dire, que ce qui est en saillie sur l'une est en creux sur l'autre.

On compose parfois les mâts d'un plus grand nombre de pièces. On en voit des exemples dans les coupes (*fig.* 587, 588); les joints sont marqués sur ces deux figures sans avoir égard aux endentures, pour indiquer plus clairement la disposition de leurs plans principaux.

Lorsqu'un mât ou tout autre assemblage longitudinal est formé par la réunion de plusieurs pièces autour d'une autre principale *z* (*fig.* 587 et 588), celle-ci se nomme la *mèche* et les autres les *fourrures*.

Les assemblages longitudinaux avec endentures intérieures s'appliquent fort bien à la composition des pièces carrées, comme seraient celles qui auraient pour équarrissages les carrés ponctués (*fig.* 587 et 588) et celles vues par le bout (*fig.* 589 et 590).

448. Observations sur les assemblages à endents. — Les endents carrés des *fig.* 585 et 586 sont, à longueur et épaisseur égales, plus solides que ceux des *fig.* 537 et 542; on les emploie lorsqu'il faut empêcher le glissement des pièces dans les deux sens sur leur longueur. Les endentures obliques qui forment des queues d'hironde sont préférables lorsqu'il s'agit de s'opposer à un glissement dans une seule direction, et surtout à la courbure, parce que leurs endents serrent comme des coins; ils unissent bout à bout

les fibres du bois, tellement qu'il n'y a, pour ainsi dire, plus de solution de continuité sensible dans la roideur qu'elles opposent à une force qui tendrait à plier les pièces.

La solidité des endentures dépend de leur longueur, vu que cette solidité résulte de la cohésion des fibres du bois dans la partie où chaque endent tient aux joues des rainures et languettes dans lesquelles il se trouve entaillé. Les rainures et languettes, quel que soit le tracé des endents, doivent être établies dans le fil du bois de manière que les principales fibres ne soient point tranchées, pour qu'elles résistent également d'un bout à l'autre des joints. Pour qu'un assemblage par endents intérieurs soit inébranlable, il faut qu'il soit coupé avec une précision parfaite. Les endentures n'ont de force que parce que la résistance est répartie également entre un grand nombre d'endents, chacun n'ayant à fournir qu'une faible partie de cette résistance. On conçoit qu'il faut, par cette raison, que tous les endents soient également serrés dans leurs joints partiels, autrement, s'il y en avait un qui fût plus serré que les autres, il supporterait seul tout l'effort de l'assemblage; cet effort pourrait le faire éclater; celui qui serait le plus serré après lui éclaterait à son tour, et l'endenture pourrait, de cette manière, être ruinée complétement.

Dans la disposition des endents carrés, les crans peuvent être distribués de telle sorte qu'aucun d'eux ne corresponde à un autre, afin qu'ils forment comme des contre-forts distribués le long des languettes etdes rainures pour qu'elles soient moins affaiblies; mais pour les endentures obliques, il est nécessaire que les crans des endents se correspondent et qu'ils leur donnent une forme en queues d'hironde symétriques, afin que les efforts latéraux se contre-butent, que les endents se serrent mieux et qu'ils ne déjettent point les joues des rainures et languettes dans lesquelles ils sont taillés.

XII. — MOISES.

443. Autrefois, le nom de *moise* signifiait *la moitié d'une poutre fendue en long*. Aujourd'hui on donne le nom de *moises* aux pièces jumelles qui embrassent deux autres pièces, le plus souvent en les croisant, pour les lier entre elles. Ainsi, *moiser* des pièces de bois, c'est les saisir entre deux moises. Une moise seule ne peut pas *moiser*, il faut qu'elle soit *jumellée* avec une seconde moise, autrement elle prend différents noms, tels que ceux de *lierne*, *écharpe*, *lambourde*, *décharge*, *traverse*, suivant sa position et son objet.

Dans la *fig.* 591, les deux pièces parallèles M, M, sont deux moises; elles moisent en saisissant et serrant les pièces A, B, C, D, E, F, G, H, I. A côté de la principale projection verticale, les moises sont vues par leurs bouts M^2, M^2, ; au bas de la planche, les moises et les pièces désignées par les mêmes lettres sont projetées désassemblées

Les moises MM sont entaillées pour envelopper les pièces moisées; celles-ci le sont aussi quelquefois comme la pièce B, pour que les moises ne puissent pas glisser; l'assemblage est même assez souvent fait à recouvrement : c'est de cette manière que la pièce C est moisée.

Les entailles des moises sont toujours tracées de manière que la mise en joint puisse se faire dans le même sens pour toutes les pièces moisées ensemble par les mê-

mes moises. Elles peuvent être droites comme pour les pièces A, B, C, G; inclinées comme pour les pièces H, I; triangulaires pour les pièces carrées ou méplates E, F, moisées sur leurs arêtes. Les entailles peuvent aussi être biaises pour les pièces débillardées comme la pièce D; mais on doit remarquer que pour cette pièce, qui n'a ici pour objet que d'indiquer une entaille biaise, la mise en joint ne pourrait avoir lieu en même temps que celle des autres pièces comprises dans la figure. Elle ne pourrait être moisée qu'avec des pièces qui seraient débillardées sous un même angle qu'elles.

Dans la *fig.* 592, la pièce moisée A^2 est supposée inclinée dans un sens tel que ses arêtes ne sont point parallèles aux plans des faces de parement des moises M^2, M^2, qui sont vues par le bout.

L'assemblage des moises est dit *à mi-bois* lorsque chaque moise et les pièces moisées sont également entaillées du quart de l'épaisseur de ces dernières, comme serait l'assemblage de la pièce D (*fig.* 591).

Les moises sont ordinairement retenues en joint par des boulons en fer à clavettes et mieux à vis et écrous. Un seul boulon traverse quelquefois les deux moises et la pièce moisée comme en A. Lorsqu'on craint d'affaiblir la pièce moisée, on place un boulon de chaque côté ; c'est ce qu'on a supposé pour la pièce C, déjà affaiblie par son entaille, et pour la pièce cylindrique G.

Afin qu'on puisse serrer à volonté les assemblages des moises, on n'approfondit pas leurs entailles suffisamment pour que leurs faces se touchent, ce qui conserve entre elles un petit jour x égal, d'un bout à l'autre, au double de la quantité dont on a diminué la profondeur des entailles.

La disposition d'une charpente exige quelquefois que les moises M^2, M^2 (*fig.* 593) soient débillardées de façon que leurs faces en parement soient parallèles à celle des pièces moisées projetées en A^2, tandis que leurs faces d'épaisseur ou d'assemblage doivent faire un angle donné avec les arêtes de ces mêmes pièces. Un assemblage biaisé de la sorte ne peut remplir son objet qu'autant que les boulons, dont les têtes et les écrous doivent porter sur leurs faces de parement des moises, ont une direction perpendiculaire à ces mêmes faces et ne serrent point à faux. La ligne xz passant par les points qui appartiennent aux arêtes opposées des deux moises M^2, M^2, et qui est perpendiculaire aux arêtes des pièces moisées projetées en A^2, représente la position normale d'un boulon ; elle indique en même temps la limite du débillardement des pièces M^2, M^2, pour que l'effort du boulon sur les joints ne déverse pas ces moises. Pour que la pression soit également répartie, la ligne xz doit passer par les milieux de la largeur des joints.

Dans quelques anciennes charpentes, on trouve les moises serrées par des clefs et des clavettes en bois, comme celles qui unissent les pièces A et B (*fig.* 574 et 575.)

Quelquefois les moises sont serrées et maintenues en joint par d'autres moises secondaires qui les embrassent en les croisant. Nous n'avons pas représenté cette disposition, n'ayant en vue pour le moment que des assemblages simples.

Les moises sont souvent employées à lier ensemble des pièces de bois très-écartées les unes des autres. Pour donner plus de force aux assemblages extrêmes, en outre

de ce qu'on fait dépasser les bouts des moises d'une quantité suffisante pour que leurs entailles puissent résister aux efforts qu'elles ont à supporter, on fait ces entailles en queue d'hironde. La *fig.* 593 *bis* offre le détail d'un assemblage de cette espèce.

XIII. — ASSEMBLAGES DES PIÈCES DE BOIS COURBES.

450. Les pièces de bois courbes peuvent être jointes entre elles et avec des pièces droites, par tous les assemblages que nous avons décrits ; elles peuvent entrer dans toutes ces combinaisons de charpenterie comme les pièces droites. Dans le tracé des joints entre les pièces courbes, leurs diverses parties conservent leurs positions et les proportions que nous avons prescrites pour les pièces droites. Nous ne nous arrêterons en conséquence qu'à un très-petit nombre d'exemples.

La *fig.* 594, *pl.* XXIV représente divers assemblages entre pièces courbes.

Les pièces B, E sont assemblées à tenons et mortaises avec d'autres pièces C, D. Les largeurs, épaisseurs, longueurs et profondeurs des tenons et mortaises conservent, avec les dimensions des pièces, les mêmes proportions que dans les assemblages de pièces droites. Si l'assemblage d'une pièce droite ou courbe a lieu sur une des surfaces planes d'une pièce courbe C, l'occupation de la pièce assemblée, que le dessin ne représente pas, est figurée par le quadrilatère *ef gh*; la mortaise est creusée dans la pièce C de façon que sa longueur est perpendiculaire au rayon de courbure qui divise l'occupation *efgh* en deux parties égales. On ne donne point de courbure aux joues de la mortaise, non plus qu'à celle du tenon qui doit y entrer, parce qu'elle serait plus nuisible qu'utile si elle n'était pas taillée avec la même précision qu'on peut apporter à l'exécution des faces planes.

A l'égard des entures, les joints doivent être tracés symétriquement et en accord avec les courbures des pièces, comme ils le sont à l'égard des surfaces planes des pièces droites; les parties des joints qui sont parallèles aux faces des pièces droites peuvent suivre les courbures des pièces cintrées. Nous avons tracé (*fig.* 594) un trait de Jupiter de cette sorte pour enter les pièces A, B. Les joints *pq*, *ij*, sont courbes et parallèles aux faces courbes des deux pièces. Il en résulte qu'en serrant la clef, les deux pièces sont poussées l'une vers l'autre et en joint de leurs abouts par un mouvement circulaire de glissement sans qu'elles puissent désaffleurer sur leurs faces cylindriques.

Nous avons tracé un autre trait de Jupiter pour enter les pièces E, F, dont les joints *mo*, *ne* sont droits, parallèles entre eux et perpendiculaires au rayon *xy* du milieu de la longueur de l'assemblage. Souvent on préfère ce joint au précédent, à cause de la justesse qui résulte de la facilité de son exécution. On peut également faire l'enture en fausse coupe comme elle est tracée pour le trait de Jupiter entre les pièces C, D ; les joints *us*, *tv*, sont obliques par rapport au rayon de courbure *z* du milieu de l'assemblage. Ce joint a l'avantage de trancher moins brusquement les fibres du bois que les deux précédents ; mais il a quelquefois l'inconvénient de faire désaffleurer les surfaces courbes en *kl* et de faire éclater le bois dans l'angle *t*, qui est souvent plus aigu qu'il ne le serait si les pièces étaient droites.

Les charpentiers de marine entent en *fausse coupe, mn* (*fig.* 595), les courbes ou côtes des navires formées de pièces accouplées. Ce mode d'assemblage est suffisant, vu que les joints d'une même courbe ne se correspondent point et qu'on peut les serrer avec des boulons et des chevilles x, et en même temps que les pièces accouplées sont liées par d'autres chevilles y.

On ménage la longueur des bois courbes en ne les croisant pas. On les pose bout à bout à plat joint ou bien on les assemble par l'intermédiaire de petites courbes, comme celles marquées K, même figure, nommée *genou,* dont les joints peuvent être chevillés ou boulonnés.

XIV. — ASSEMBLAGES VICIEUX.

451. Un assemblage est vicieux, quelque bien coupé qu'il soit, s'il a été tracé suivant des principes différents de ceux que nous avons indiqués comme essentiellement nécessaires à la solidité. On ne doit jamais s'écarter de la règle qui prescrit que les saillies, formées par les entailles et coupes du bout d'une pièce qu'on veut assembler dans une autre, seront en bois de fil et sans interruption, afin qu'il ne puisse s'en détacher aucun éclat. Les queues d'hironde, les endentures, les traits de Jupiter sont exceptés de cette règle si leur longueur et l'inclinaison de leurs coupes sont telles qu'il n'y ait rien à craindre au sujet de la rupture d'aucune de leurs parties.

Une seconde règle à laquelle on doit s'astreindre, c'est que les coupes et entailles creusées pour recevoir les assemblages ne doivent avoir aucune partie de même espèce plus faible l'une que l'autre, toutes devant résister également.

La *fig.* 596 représente divers assemblages à tenon et mortaise de deux menues pièces A et B.

L'assemblage indiqué par les lettres A'B' est complétement vicieux en ce que les fibres de la pièce A' qui se prolongent dans son tenon, sont tranchées par les plans qui forment les joues de ce tenon, ce qui peut donner lieu suivant la ligne xy à une rupture qui rendrait l'assemblage nul. L'assemblage A''B'' ne présente pas le même inconvénient, puisque le tenon est tracé entièrement suivant le fil du bois et qu'aucune des fibres n'est tranchée entre son about et sa racine ; mais de ce que les faces de parement des pièces assemblées, ne sont pas dans le même plan, il résulte un autre vice : les deux joues de la mortaise présentent des résistances très-différentes et l'une d'elles n'aurait aucune solidité.

Pour que l'assemblage soit fait dans les bons principes, il faut que les faces de parement des pièces soient de chaque côté dans un même plan, comme cela a lieu pour les pièces marquées A''',B''', afin que le tenon de la pièce A''' soit entièrement à fil de bois et que les deux jouées de la mortaise de la pièce B''' soient égales.

Si l'assemblage projeté en AB, au lieu d'être droit, était oblique comme celui de la pièce E ponctuée, les embrèvements qu'on pourrait pratiquer ne changeraient rien à ce que nous venons de dire.

Autrefois, les charpentiers et les menuisiers faisaient preuve de leur habileté en taillant diverses sortes de pièces composées, qui présentaient extérieurement les appa-

rences de plusieurs assemblages simples, dont l'emploi était reconnu impossible simultanément : c'est au moyen d'assemblages vicieux qu'ils parvenaient à exécuter ces tours d'adresse, dont ils présentaient le mystère à deviner aux personnes peu initiées dans leur art.

Nous avons représenté (*fig.* 597) deux de ces sortes d'assemblages. Pour le premier, la pièce A paraît assemblée avec la pièce B par le tenon *a* apparent sur une face de parement, et par une queue d'hironde *b* apparente sur l'autre face. En A^4 la pièce A est représentée vue par son bout ; au-dessus en A^3 elle est vue de côté et désassemblée. Cette projection fait voir le tenon *a* et la prétendue queue d'hironde *b* qui qui est prise dans un second tenon, dont une joue est inclinée. Ses arêtes antérieures sont abattues par deux pans triangulaires *xyz* ; les joues de la mortaise sont ouvertes sur le parement de la pièce B par deux pans triangulaires *xyz*, qui correspondent aux deux pans égaux *xyz* du tenon *b* de la pièce A ; ces pans donnent sur les faces de parement des deux pièces A et B l'apparence de l'assemblage en queue d'hironde. Pour mettre en joint, on introduit le tenon de la pièce A en faisant glisser cette pièce parallèlement à elle-même, suivant la direction de la joue inclinée *mn* du tenon *b* qui figure la queue d'hironde. L'autre tenon *a* vient s'appliquer dans l'entaille carrée qui qui lui a été préparée. Le vice de cette assemblage est qu'il n'a pas de stabilité dans le sens que son apparence annonce.

L'autre assemblage entre les pièces E, B, présente l'apparence d'une queue de trèfle *e* et d'un tenon passant *d* ; ce tenon est oblique, à fil de bois tranché. Il traverse une mortaise inclinée suivant la pente nécessaire pour que l'about du tenon en trèfle puisse arriver à l'affleurement de la pièce B dans l'entaille qui lui est préparée. En E^4 la pièce E est vue par le bout ; en dessus en E^3, elle est projetée de côté et désassemblée.

On peut disposer l'assemblage de façon que le trèfle soit détaché et ne paraisse pas tenir à la pièce E ; on lui substitue toute autre figure, telle qu'un cœur, une rosette, etc. ; il suffit pour cela que le tenon *e*, qui doit présenter son about sur la face de parement, soit un prisme incliné et que sa base ait la figure qu'on veut produire.

Ces assemblages sont vicieux en ce que les fibres du bois sont tranchées dans les tenons, et que la figure apparente sur la face de parement de la pièce B ne tient pas les pièces en joint. Ils ne sont point susceptibles d'une application utile. Il est très-difficile de les exécuter avec précision ; aussi faisaient-ils, avec plusieurs autres du même genre, partie de ces espèces de chefs-d'œuvre qui prouvaient la dextérité des ouvriers.

EMPLOI DU FER DANS LES CHARPENTES.

452. C'est au moyen des assemblages que nous venons de décrire que l'on forme les combinaisons les plus simples comme les plus compliquées de la charpenterie. Les anciens charpentiers n'employaient pas d'autres moyens de réunion et de liaison que ceux-là ; mais dans la suite, le fer, dont l'emploi tendait à se généraliser dans tous les arts, devint, dans la charpenterie, un auxiliaire précieux. On le fit servir soit à réunir des pièces que des assemblages eussent trop considérablement affaiblies, soit à forti-

fier certains assemblages qu'on ne croyait pas suffisamment solides, malgré la science et le soin du charpentier, pour résister aux efforts qu'ils auraient à supporter ; soit enfin en remplacement de certaines pièces où son emploi offrait des avantages marqués. On put ainsi donner aux charpentes une légéreté et parfois une force qu'on ne leur avait pas connues jusque-là.

Nous avons déjà indiqué, dans le cours de ce qui précède, quelques exemples de l'emploi du fer pour consolider les assemblages, mais nous croyons utile de donner quelques explications plus générales et plus étendues. Nous ne considérons toutefois ici que ce qui a rapport à l'emploi de ce métal comme moyen d'assemblage et comme moyen de consolidation des assemblages. Nous nous réservons de donner, dans la troisième partie, des indications plus précises que nous ne pourrions le faire dès à présent, sur son emploi comme partie constituante des charpentes en remplacement de pièces de bois.

Comme moyen d'assemblage et de consolidation des assemblages, le fer est employé sous forme de clous, de chevilles, de vis, de clameaux, de boulons, de frettes, de liens, d'étriers, de bandes, d'équerres et de boîtes ou manchons.

453. Clous, chevilles et vis. — Nous n'avons que peu de choses à ajouter ici à ce que nous avons dit, au sujet de ces ferrures, dans la première partie du Cours. Les clous, les chevilles et les vis servent à former des assemblages ou à consolider ceux qui ont été décrits précédemment. C'est ainsi, par exemple, qu'on assemble les planches aux solives des planchers, les madriers aux longerons des ponts, les palissades aux liteaux qui les maintiennent, etc. ; qu'on fortifie parfois les assemblages d'angle, les entures, etc. En général, ces ferrures doivent avoir une longueur au moins égale au double de l'épaisseur de la pièce fixée, à l'endroit où elle est traversée. On fortifie quelquefois le clouage en rivant les clous. Cette opération se fait en couchant la partie du clou qui dépasse, contre la face traversée du bois, après avoir, au préalable, plié sa pointe d'équerre à quelques millimètres de son extrémité, comme on l'a indiqué *fig.* 598. Quand on se sert de clous ordinaires, il faut, en général, amorcer leur logement dans le bois au moyen d'une mèche de vilebrequin d'un diamètre un peu plus petit que le côté de l'équarrissage du clou ; sans cela, on courrait risque de faire fendre le bois. On peut cependant se dispenser de cette opération pour certains ouvrages et pour certains bois, en se servant de clous terminés par un biseau tranchant et en les enfonçant de manière à ce que le biseau tranche les fibres ligneuses au lieu de les écarter.

On doit également préparer de la même manière le logement des vis ; non pas parce qu'on a à craindre, dans ce cas, de faire éclater le bois, mais parce qu'il serait très-difficile, dans les bois durs surtout, de les enfoncer tout à fait. Le trou de vrille ou de vilebrequin doit avoir tout au plus un diamètre égal au noyau de la vis et sa profondeur doit être un peu plus grande que la longueur de cette même vis : de cette manière les filets s'impriment bien dans les parois du trou et l'on n'a pas lieu de craindre de voir ces parois se déchirer sous l'effort que la vis pourrait faire en pressant contre le fond du trou. On doit exiger que les vis soient posées en les tournant jusqu'à fond avec le *tourne-vis*. On ne doit pas permettre que les ouvriers les enfoncent à coups de marteau comme des clous, ce qu'ils font quelquefois ; cette pratique est très-pernicieuse.

Il est utile, pour la conservation des vis, de les graisser avant de les placer dans le bois, pour qu'elles ne s'y rouillent pas.

454. Clameaux. — Les *clameaux* sont rarement employés à consolider les assemblages ; on les emploie le plus souvent pour fixer des pièces de bois l'une sur l'autre ou l'une contre l'autre. On en fait un très-grand usage dans la construction des ponts militaires.

Les clameaux sont des crampons à deux pointes tournées quelquefois dans le même sens, d'autres fois en sens contraire, ou dans des directions perpendiculaires l'une à l'autre. On les fabrique, suivant l'occurrence, avec du fer plat ou carré, de force convenable. Les *fig.* 599, 600 et 601, représentent des clameaux de diverses formes.

455. Boulons. — Les *boulons* sont des tiges de fer qui, au moyen d'arrêts à chaque extrémité, servent à lier fortement les unes contre les autres les pièces qu'elles traversent.

Les boulons sont assez souvent terminés d'un côté par une tête carrée ou hexagonale et de l'autre par une clavette qui s'engage dans une mortaise pratiquée à l'effet de la recevoir, ou par un écrou qui se visse dans un bout fileté. L'écrou est aussi carré ou hexagonal comme la tête. Quelquefois les boulons sont sans tête et garnis de part et d'autre de clavettes ou d'écrous. Le corps des boulons peut être cylindrique ou carré, quelquefois il est carré sur une partie de sa longueur et rond sur le restant (1); on en trouvera des exemples dans les *fig.* 602 à 616. La longueur des boulons est déterminée par l'épaisseur des pièces à réunir, et leur grosseur par l'effort qu'on veut exercer.

Les boulons doivent être fabriqués avec du bon fer fort ; on doit les graisser ou les peindre au minium avant de les placer, afin de les préserver de la rouille. On doit aussi graisser les parties filetées et les écrous, afin de pouvoir les placer et déplacer avec facilité. On interpose toujours entre le bois et la clavette ou l'écrou au moins une rondelle de forte tôle, afin de préserver le bois des déchirures qui s'y feraient en serrant ces clefs ou ces boulons. Lors même qu'on veut exercer une très-forte pression au moyen des écrous, il faut mettre plusieurs rondelles sous un même écrou pour rendre le mouvement de rotation plus doux, parce que le frottement s'affaiblit en se répartissant entre les surfaces de toutes les rondelles.

On doit toujours exiger, lorsqu'on fait fabriquer des boulons :

1° Que les têtes soient refoulées sur les tiges ou qu'elles soient bien soudées, et n'en admettre aucun dont les têtes seraient simplement rivées ou retenues par des goupilles ;

2° Que les filets soient taillés à froid avec de bonnes filières ;

3° Que l'écrou soit foré à froid et non troué à chaud, comme le font souvent les serruriers, et qu'il soit taraudé avec le même soin que le boulon ; qu'il n'offre nulle part aucune déchirure ; que sa base soit perpendiculaire à son axe, pour que, lorsqu'il agit, il ne courbe pas le bouton en le tirant de travers ;

---

(1) Cette dernière disposition est assez souvent usitée pour éviter que les boulons ne tournent dans le trou lorsqu'on les serre.

4° Que le profil du filet de l'écrou et celui du filet de vis, ainsi que les diamètres et les pas de l'un et de l'autre, soient égaux, afin que les filets engagés dans l'écrou portent en même temps et fassent le même effort.

En général, la saillie des filets du taraudage d'un boulon sur un noyau doit être le $\frac{1}{10}$ du diamètre du noyau ou le $\frac{1}{12}$ du diamètre total du boulon. On donne au pas un cinquième ou sixième du noyau ou bien un sixième ou septième du diamètre du boulon.

Le diamètre extérieur d'un écrou doit être le double du diamètre du corps du boulon.

Les écrous doivent avoir assez d'épaisseur pour comprendre cinq ou six filets et même plus s'ils sont destinés à opérer une grande pression.

Ces rapports doivent être observés pour toutes les pièces de fer portant taraudage. Si l'on craint qu'un écrou ne se desserre par un mouvement de rotation rétrograde, occasionné par une cause quelconque, on ajoute un deuxième écrou sur le premier, que l'on serre fortement ; il produit une si excessive pression entre les filets de la vis et ceux de l'écrou, qu'il n'y a pas de force capable de mouvoir le premier écrou. Ce second écrou est nommé *contre-écrou*.

Les écrous se serrent au moyen d'instruments appelés clefs, ayant ordinairement la forme d'un levier droit ou courbé en S, terminé à ses bouts par des enfourchements ou des anneaux de diverses formes et grandeur, au moyen desquels on saisit l'écrou pour le faire tourner. Les *fig.* 617 à 624 représentent diverses clefs à serrer les écrous. La *fig.* 624 représente la *clef anglaise*, qui est d'un usage plus général que celui des clefs représentées par les autres figures. Ses mâchoires *a* et *b* peuvent être rapprochées ou éloignées, ce qui permet de s'en servir pour serrer des écrous de dimensions très-différentes.

Les boulons sont d'un usage extrêmement fréquent dans la composition des charpentes, non-seulement pour assembler certaines pièces, mais encore pour consolider les assemblages de toute espèce.

456. Frettes. — Les *frettes* servent, en général, à réunir plusieurs pièces juxtaposées ou assemblées dans le sens de leur longueur. Elles sont aussi employées dans certaines circonstances pour empêcher les pièces de se fendre dans le sens des fibres.

Les frettes sont des anneaux ronds, carrés, octogones ou à pans, formés souvent d'une barre de fer suffisamment large et épaisse, soudée par ses deux bouts avec le plus grand soin. Pour qu'une telle frette serre bien les pièces de bois qu'elle enveloppe, il faut avoir soin d'abord de ne l'appliquer qu'à des bois très-secs, et en second lieu de lui donner des dimensions un tant soit peu plus petites que l'équarrissage de la pièce à fretter sur laquelle on la chasse à coups de marteau. Pour faciliter son introduction, on donne un peu de *dépouille* à la pièce de charpente, on chauffe la frette autant que possible, mais cependant pas assez pour brûler le bois, et on la chasse ainsi dilatée à la place qu'elle doit occuper. Ce moyen est si efficace, que les frettes s'impriment dans le bois en se refroidissant par suite de leur rétrécissement.

Dans certains cas, on fait usage de frettes dont les bouts ne sont pas réunis par une

soudure, mais sont susceptibles d'être rapprochés et maintenus au moyen d'une clavette ou d'un boulon; quelquefois aussi on fait des frettes composées de plusieurs pièces réunies les unes aux autres par des moyens analogues. Les *fig.* 625 à 632 représentent des frettes dans lesquelles on retrouvera ces diverses dispositions. La *fig.* 632 représente une frette pour les pièces carrées, composée de quatre brides terminées chacune par un bout cylindrique fileté, entrant dans l'œil d'une autre bride et serré par un écrou. Cette frette est propre à opérer de très-grands efforts de pression.

457. Liens et étriers. — Les *liens* et les *étriers* ont une très-grande ressemblance entre eux. Ils servent souvent à assembler ou à consolider des pièces qui se croisent et dont l'une doit être soutenue par l'autre. En général, un *lien* est formé d'une tige de fer méplat, de force suffisante, pliée en forme de U très-allongé. L'extrémité des deux branches est terminée par un bout fileté dans lequel s'engage un écrou. Dans certains cas, les deux branches sont réunies par une bride, ou plaque de fer méplat trouée, contre laquelle s'exerce la pression des écrous ; d'autre fois, cette pression s'exerce sur des rondelles en fer comme dans les boulons : les *fig.* 633, 634 et 635 représentent ces deux cas (1). Les *étriers* ne diffèrent des liens qu'en ce que leurs longues branches, au lieu d'être terminées par une vis et un écrou, sont percées d'un ou plusieurs trous placés l'un vis-à-vis de l'autre et dans lesquels se placent des boulons qui les fixent aux pièces de charpente. La *fig.* 637 représente un étrier renforçant l'assemblage à tenon et mortaise d'un poinçon d'une ferme de comble avec son entrait. Les étriers et les liens sont parfois formés de trois pièces, comme le montre la *fig.* 633. Cette disposition est nécessitée par la place que doivent occuper ces ferrures.

Quand on doit exercer de très-fortes pressions, il est bon d'arrondir les angles des liens et des étriers comme on l'a représenté dans les *fig.* 633 et 634 ; on risque moins de les voir se briser que lorsque les branches sont pliées à angle droit. Dans ce cas, on arrondit les pièces de bois à l'endroit où ils portent, ou bien on les fait agir sur un tasseau arrondi comme en *a* (*fig.* 634).

458. Bandes et équerres. — On fait un très-grand usage, soit pour assembler certaines pièces de bois, soit pour consolider leurs assemblages, de bandes de fer de toutes dimensions. Parfois ces bandes sont droites, d'autres fois elles sont pliées d'équerre ou suivant différents angles, aussi bien dans le sens de leur largeur que dans celui de leur épaisseur, pour s'appliquer sur les pièces qu'elles doivent réunir et qu'elles doivent rendre invariables de position l'une par rapport à l'autre. Elles sont fixées tantôt avec des clous, des chevilles ou des vis, et tantôt au moyen de boulons qui les traversent dans des trous pratiqués à cet effet. On peut les poser soit sur les faces de parement, soit sur les faces normales des pièces assemblées ; souvent on les encastre dans des renfoncements pratiqués au ciseau et qui doivent offrir, très-juste, la place pour les recevoir. Souvent aussi on les double, c'est-à dire, qu'on place

(1) Les écrous sont quelquefois remplacés par des clavettes.

exactement l'une vis-à-vis de l'autre deux bandes de mêmes dimensions sur les faces parallèles des pièces ; quand on se sert de boulons pour les fixer, on fait correspondre les trous des boulons, et l'une des deux bandes remplace alors les rondelles qu'on serait sans cela obligé d'interposer sous les écrous. Dans ce dernier cas, on renfle ordinairement la largeur des bandes vis-à-vis des trous afin qu'elles offrent en ces points-là la même force qu'ailleurs. Les bandes de fer doivent toujours être terminées à leur deux bouts par des retours d'équerre qu'on encastre dans le bois et qui concourent à la consolidation des assemblages. Les *fig.* 636 à 641 offrent quelques exemples de l'emploi des bandes de fer et des équerres dans la constitution des charpentes ; on y remarquera les diverses dispositions que nous venons d'indiquer.

459. Boîtes et manchons. — Les *boîtes* et les *manchons*, que l'on fait ordinairement en fonte de fer, ont non-seulement pour objet de réunir d'une manière invariable des pièces de bois qu'il serait difficile d'assembler autrement, mais on les fait souvent servir à empêcher la pénétration de ces pièces de bois les unes dans les autres, ce qui a lieu lorsqu'elles sont soumises à de très-fortes pressions. Dans ce cas, ces boîtes ou manchons doivent être divisés intérieurement par des cloisons contre lesquelles s'appuient les abouts des pièces. La forme de ces ferrures est extrêmement variable ; elle dépend de la figure que doivent former les pièces assemblées et de la force qu'elles doivent avoir. Souvent leurs joues ou faces latérales sont évidées par des creux ronds, elliptiques ou d'autre forme, afin d'en diminuer le poids ; quelquefois aussi on les renforce par des nervures. On en trouvera quelques exemples dans les *fig.* 642, 643 et 644.

460. Observation générale. — Nous répétons ici d'une manière générale que toutes les ferrures, quelles que soient leur nature et leur destination, doivent être peintes ou goudronnées avant leur mise en place, afin de les préserver de la rouille : les écrous et les vis doivent être graissés ; les encastrements, lorsqu'on les emploie, doivent être de la plus rigoureuse exactitude ; les trous de boulons doivent être droits, parfaitement ronds et juste de la grandeur nécessaire pour loger le boulon. Sans cette précaution, on ne peut pas entièrement compter sur ce moyen de liaison, car ces boulons balottent, finissent par agrandir leurs trous et bientôt ne rendent plus aucun service.

COURBURE DES BOIS DE CHARPENTE.

461. Un grand nombre de charpentes n'exigent que des bois dont l'axe est droit ; mais il en est pourtant quelques-unes pour lesquelles on a besoin de recourir à l'emploi de pièces courbes. La nature n'offrant que fort rarement des arbres courbes susceptibles de fournir de telles pièces, le charpentier est obligé de les tirer de pièces droites en les *gabariant* (1), ce qui n'est pas toujours sans inconvénient, ou bien de recourir à des procédés de courbures dont nous devons dire quelques mots.

---

(1) *Gabarier* une pièce de bois, c'est la couper à la hache, à l'herminette ou à la scie, selon un *gabarit* donné.

Les pièces obtenues par ces derniers procédés sont les seules dont on puisse faire usage pour les charpentes courbes qui doivent présenter une grande résistance en même temps qu'une forte courbure. Les pièces gabariées perdent beaucoup de leur force par la nécessité où l'on se trouve de trancher, plus ou moins profondément, les fibres du bois. On ne les obtient, d'ailleurs, qu'au moyen d'un déchet considérable ; on ne peut guère en faire usage que pour des pièces accessoires et en quelque sorte d'ornement, à moins que leur rayon de courbure ne soit très-grand. C'est au moyen de l'action ramollissante de la chaleur, et surtout de la chaleur humide, que l'on courbe ordinairement les bois. Il suffit, lorsqu'ils n'ont qu'une petite épaisseur, de les chauffer avec un petit feu de copeaux, de roseau ou de paille, pour leur donner une flexibilité qui leur permet de prendre la forme voulue. C'est ainsi, chacun le sait, que les tonneliers courbent les douves des tonneaux et que les constructeurs des légers bateaux qui naviguent sur les rivières courbent les bordages qu'ils emploient. Leur procédé est représenté *fig.* 645 ; mais lorsque les bois sont d'un plus fort équarrissage, de semblables moyens seraient tout à fait insuffisants et il faut en employer d'autres beaucoup plus énergiques.

Dans ce cas, l'opération se divise toujours en deux parties. Dans la première, on ramollit le bois ; dans la seconde, on le courbe sur des moules, selon le gabarit déterminé.

Le ramollissement peut s'opérer au moyen de l'eau bouillante, du sable chaud et humide et de la vapeur à basse ou à haute pression.

462. Ramollissement à l'eau bouillante. — L'appareil servant au ramollissement, au moyen de l'eau bouillante consiste en une longue chaudière prismatique en cuivre, placée sur un foyer et maintenue par une maçonnerie. La *fig.* 646 représente un plan et une coupe de cet appareil.

A est la chaudière en cuivre chauffée par deux foyers accolés BB, munis chacun d'une grille, d'un cendrier et des autres accessoires ordinaires. Ces foyers sont pourvus chacun d'une cheminée C, qui active le tirage et emporte les produits de la combustion.

D,D,D sont des escaliers en bois qui permettent l'accès à la chaudière.

E,E sont deux grues pivotantes qui servent à immerger et à retirer de l'eau les pièces de bois. F,F sont les treuils de ces grues.

Les bois sont posés dans la chaudière sur des tasseaux ou petits chantiers pour qu'ils ne touchent pas le fond et qu'ils soient partout environnés d'eau. Lorsqu'ils sont restés assez longtemps dans le bain bouillant, on les retire au moyen des grues, on les égoutte et on les porte tout chauds et humides sur les formes où on les plie comme on le verra plus loin.

Ce procédé rend les bois de moyenne épaisseur assez souples ; mais on a reconnu par la coloration de l'eau et par le goût acerbe qu'elle prend, qu'une partie de la matière constitutive du bois lui est enlevée. L'expérience a fait voir que les bois soumis à cette opération perdaient de leur dureté, qu'en séchant ils prenaient plus de retrait que d'autres et que leur durée était moindre.

463. Ramollissement au sable chaud. — L'appareil dont on se sert pour ramollir les bois au moyen du sable chaud a la plus grande ressemblance avec celui que nous

venons de décrire. La principale différence qu'on y remarque, c'est que les parois latérales de la chaudière en cuivre sont supprimées et que son fond est remplacé par des plaques de tôle contiguës, posées sur des barreaux en fer qui s'appuient eux-mêmes sur la maçonnerie. Cette maçonnerie conserve exactement les mêmes dispositions que précédemment. De plus on adjoint à l'appareil une petite chaudière placée sur un foyer particulier et dans laquelle on entretient constamment de l'eau bouillante.

L'opération se conduit de la manière suivante :

On remplit de sable l'auge longitudinale qui remplace la chaudière de l'appareil précédent, on allume le feu, et pendant qu'on le pousse et qu'on l'entretient, on arrose le sable avec de l'eau bouillante puisée dans la petite chaudière. Quand le sable est suffisamment chaud, on en enlève une partie que l'on dépose sur les bords de l'auge ; on en laisse seulement une couche de 10 à 15 centimètres sur le fond. Après cela on place les pièces de bois de champ sur cette couche de sable, en ayant soin qu'elles ne se touchent nulle part ; on remplit leurs intervalles de sable qu'on reprend dans le dépôt fait sur les bords de l'auge et on les recouvre également. On peut faire ainsi plusieurs lits en ayant soin que le dernier soit recouvert d'une couche de sable de 35 à 40 centimètres d'épaisseur. On continue ensuite à pousser le feu en arrosant continuellement le sable avec de l'eau bouillante, et au bout d'un certain temps on déterre les pièces de bois pour les porter toutes bouillantes sur le moule où on les plie.

Lorsque les pièces de bois ont une épaisseur moindre que 6 pouces (0m,16), on les laisse dans le bain de sable pendant autant d'heures qu'elles ont de pouces d'épaisseur. Les bordages de 6 pouces doivent rester dans le bain au moins pendant huit heures ; ceux d'une plus grande épaisseur, comme les *préceintes* (1) des gros vaisseaux doivent rester encore un temps proportionnellement plus long.

464. Ramollissement à la vapeur. — Le ramollissement des bois au moyen de la vapeur s'opère dans des caisses de bois ou de métal dans lesquelles on place les pièces à ramollir et où l'on fait pénétrer et séjourner, pendant un temps plus ou moins long, un jet de vapeur à basse où à haute pression .

La *fig.* 647 représente un appareil de ce genre, dans lequel on fait usage de la vapeur à basse pression.

A est une caisse de bois formée de parois en madriers de chêne posés jointifs et maintenus par des cadres à oreilles B. L'une des extrémités de la caisse est munie d'un fond fixe en madriers de chêne percé seulement d'un trou *i*, dans lequel passe le tuyau qui lance la vapeur. L'autre bout est pourvu en V d'une vanne glissant dans des coulises et qui s'ouvre et se ferme à volonté (2). L'intérieur de la caisse est divisé par un certain nombre de grillages à barreaux verticaux, dans les intervalles desquels se placent les pièces de bois.

C'est une chaudière à vapeur ordinaire munie de ses appareils de sûreté et d'un

(1) Lisses qui réunissent les membrures.

(2) On lève cette vanne au moyen d'un petit treuil T, ou d'un levier.

tuyau garni d'un robinet qui la met en communication avec la caisse A en temps opportun.

La durée de l'immersion des pièces dans le bain de vapeur se règle, comme précédemment, d'après leur épaisseur. Elle est d'autant d'heures que les pièces ont de pouces d'épaisseur quand celle-ci ne dépasse pas 6 pouces, et elle augmente dans une plus forte proportion passé ce terme.

En remplaçant la caisse de bois A par une caisse en forte tôle, construite comme les chaudières des machines à vapeur, on aura une idée des appareils qui peuvent servir à l'emploi de la vapeur, à haute pression. On conçoit sans peine que, dans ce dernier cas, l'action ramollissante doit être bien plus énergique que dans le premier, et même qu'on peut la porter à sa dernière limite.

465. Pliage des bois ramollis. — Les moules sur lesquels on plie les bois ramollis peuvent présenter des dispositions très-différentes.

La plus simple est dessinée en projection horizontale dans la partie AB de la *fig.* 648.

De forts pieux verticaux *b,b,b,* sont plantés le long de la courbe suivant laquelle on veut cintrer la pièce de bois ; ils sont écartés les uns des autres à des distances qui dépendent du degré de courbure qu'il s'agit de donner, et qui ne doivent pas excéder un mètre et demi. Ces pieux sont en nombre suffisant pour le développement de la pièce.

En sortant de l'étuve, la pièce à courber est posée sur le sol uni et horizontal entre deux forts pieux *a, b.* Au moyen d'un palan *l,* fixé à un pieu central *m,* et qu'on attache à différents points de la pièce, on détermine successivement le contact de cette pièce avec tous les pieux. A mesure qu'elle les touche, on la fixe par de très-forts piquets *e,e,e,* que l'on chasse dans des trous amorcés à l'avance, afin que l'opération soit faite rapidement, et que le bois n'ait pas le temps de perdre assez de flexibilité pour se refuser à la courbure.

Lorsque la pièce est ainsi assujettie, on la laisse refroidir et sécher, après quoi on l'enlève pour procéder à la courbure d'une autre.

Si l'on veut que la pièce soit mieux maintenue, et ne puisse se tordre, on a recours au procédé indiqué dans la partie BC de la même *fig.* 648 et par la coupe verticale (*fig.*649) faite suivant la ligne CII du plan.

Les pieux *c,c,c,* sont carrés et dressés avec soin du côté où le contact doit avoir lieu. La pièce à courber est, comme précédemment, engagée en sortant de l'étuve entre les pieux *a, d* ; elle pose sur des chantiers *t,t,* établis dans un même plan de niveau. A mesure qu'on la plie à l'aide du palan *q,* on la maintient contre les pieux *c,* par le moyen de deux boucles carrées en fer *v,x,y,z,* placées l'une en dessus, l'autre en dessous de la pièce, et qui embrassent à la fois le pieux avec lequel elle est en contact et d'un tasseau *o* qu'on serre avec un coin *p* (*fig.*649). Le palan saisit la pièce AC par l'intermédiaire d'une frette en fer *f,* qu'on peut changer de place et qu'on fixe avec un coin.

En opérant de ces deux manières, on ne peut courber qu'une seule pièce à la fois; la *fig.* 650 est la projection verticale d'un chevalement sur lequel on peut en courber plusieurs, les unes à côté des autres. La *fig.* 651 est une projection verticale du même

appareil, perpendiculaire à la première. Ce chevalement se compose d'une suite de sommiers horizontaux *a,a*, dont le dessus est dans la surface suivant laquelle les pièces doivent être courbées. Ces sommiers sont soutenues aux différentes hauteurs et suivant les déversements qui conviennent à la courbure par des pieux jumeaux verticaux *b,b*, ou inclinés *d,d*, qui les unissent. L'écartement des pieux est maintenu par des entretoises *c,c*. Des croix de Saint-André *e*, placées sous les sommiers, empêchent le hiement latéral.

La pièce à courber K est posée horizontalement sur le sommier du milieu, puis appliquée successivement sur les autres sommiers, au moyen de deux palans *g,g*, qu'on attache en des points pris, de part et d'autre, à égales distances du premier point d'attache. On la maintient sur les sommiers, par des liens en fer *m,n,o,p*, qui embrassent le sommier et par une forte cale *i*, serrée avec un coin.

On a remarqué que, par ces deux méthodes, la courbure n'est pas toujours parfaitement régulière; que des *jarrets* se forment quelquefois aux points où la pièce vient en contact avec les pieux ou les sommiers. Pour éviter ces jarrets, il faut courber les pièces sur un gabarit horizontal *m,m* (*fig.* 652, *pl.* XXV), qui présente une surface courbe, continue. Ce garabit peut être construit en pierres de taille, ou en bois ou en fer. La *fig.* 265 le suppose en bois ; il est formé de plusieurs madriers qui se croisent et dont les joints alternatifs répondent aux pieux *a,a*, auxquels ils sont fixés par des boulons. Ce gabarit est élevé sur de petits chantiers *c*, *c*.

La pièce à courber K est amenée toute chaude et imprégnée de vapeur sur les chantiers *c*, *c* ; elle est appliquée au gabarit par le moyen des palans *d,d*, et y est retenue par des forts étriers *e,e*, qui l'embrassent ainsi que le gabarit. Les brides des étriers portent sur des cales *g,g* ; elles sont serrées à vis et écrous.

Des coussinets en bois dur *s* (*fig.* 653) empêchent les cordages des palans de dégrader les arêtes de la pièce K, et des rouleaux en bois R les soutiennent et les écartent du gabarit pour qu'ils ne portent pas contre ses faces. La *fig.* 653 est une coupe verticale suivant la ligne MN du plan, et la *fig.* 654 une autre coupe suivant PQ.

On peut encore courber une pièce de bois en la chargeant d'un poids considérable réparti, suivant le besoin, pour la forcer à se mouler dans une forme concave en maçonnerie de pierre de taille ou bien en fer coulé.

Soit qu'on commence à courber une pièce de bois un peu grosse, à partir de son milieu ou de l'un de ses bouts, la contraction de ses fibres dans la partie concave, et leur extension sur la partie convexe, sont bien plus grandes au point où l'on achève la courbure qu'à celui où on l'a commencée. C'est un inconvénient qui s'oppose souvent au succès complet de la courbure, et qui peut nuire à la qualité de la pièce ; on pourrait le faire disparaître ou, du moins, le diminuer beaucoup au moyen d'un appareil qui déterminerait des contractions et des extensions uniformes sur tous les points en même temps.

Cet appareil pourrait consister en un système de rayons inflexibles, d'abord parallèles, qui saisiraient perpendiculairement à sa longueur la pièce qui leur serait présentée aussitôt sortie de l'étuve ; on ferait converger ces rayons simultanément, mais

lentement, vers le centre commun de courbure, et de plus en plus à mesure que la pièce cèderait à leurs efforts, jusqu'à ce qu'elle ait atteint le gabarit.

466. Courbure des arbres sur pied. — Nous ne dirons qu'un mot de la courbure des arbres sur pied, parce qu'elle est plutôt du ressort des forestiers que des charpentiers. Pour courber un arbre sur pied, il suffit de le maintenir, lorsqu'il est jeune et suffisamment flexible, par des tuteurs convenablement disposés, suivant la courbure qu'on veut lui donner. On change ces tuteurs ou les liens d'attache à mesure que l'arbre croît et qu'il augmente en grosseur, et l'on dirige et maintient sa courbure jusqu'à ce qu'il soit parvenu à un âge qui ne permette plus son redressement.

C'est ainsi qu'en Russie les jeunes arbres sur pied sont courbés en cercle pour servir, quand ils ont acquis une grosseur suffisante, à faire des jantes de roues d'une seule pièce et qui n'ont qu'un seul joint.

OUTILS DU CHARPENTIER.

467. Les outils strictement nécessaires aux charpentiers, dit le colonel Émy, sont en très-petit nombre. Une jauge, un plomb, un compas, une hache, une bisaiguë, une scie et une tarière, peuvent suffire pour l'exécution de tous les ouvrages, même les plus compliqués. Cependant l'économie du bois, la commodité du travail, sa célérité et sa justesse, ont multiplié les outils en les variant de formes et de dimensions, suivant les divers besoins de construction.

Les outils du charpentier sont classés en sept catégories suivant leurs usages, ainsi qu'il suit :

1° Outils et instruments servant à piquer les bois et à tracer ;
2° Outils et instruments servant à déterminer la position des lignes et des plans ;
3° Outils tranchants par percussion ;
4° Outils tranchants à corroyer et planer le bois ;
5° Outils à percer ;
6° Outils à scier ;
7° Outils à frapper.

Voici l'énumération et la description succincte des principaux outils de chaque classe.

468. Outils servant à piquer et à tracer. — 1. *Règles* de diverses grandeurs, divisées en parties du mètre ou du pied, rigides ou pliantes, suivant qu'il s'agit de tracer sur des surfaces planes ou courbes. La *jauge* est une petite règle en bois dur, d'un pouce à quinze lignes de largeur sur une ligne et demie d'épaisseur, longue d'un pied et divisée en pouces.

2. *Traceret.* Pointe acérée munie d'un anneau qui sert à tracer sur les pièces de charpentes et d'une manière ineffaçable le trait des assemblages.

3. *Cordeau à battre la ligne.* Longue et mince ficelle, enroulée sur une bobine, qui sert à battre ou marquer les lignes d'une grande étendue sur les épures en grand ou *ététons* et sur les pièces de bois. Pour s'en servir, on l'enduit d'une matière colorante ou pulvérulente, comme de la craie, on la tend entre les points extrêmes de la ligne à

tracer, puis on la soulève et on la laisse vivement retomber. La craie se détache par suite de la vibration de la ficelle et marque un trait parfaitement droit.

4. *Fil à plomb.* Le plomb est ordinairement un disque aplati, évidé en son milieu où se trouve une croix à trois branches en cuivre ou en fer, dont le centre se confond avec l'axe du disque. Quelquefois le pourtour du disque est cannelé pour que son frottement dans l'air ralentisse plus promptement son mouvement de rotation.

5. *Compas.* Les compas sont ordinairement en fer, quelquefois en bois, mais armés de pointes en fer. Pour tracer les arcs de cercle d'un fort grand rayon, les charpentiers se servent du *compas à verge* (*fig.* 655). Cet instrument se compose d'une longue règle en bois léger et parfaitement sec A, sur laquelle peuvent glisser deux poupées en bois dur BB. Ces poupées peuvent se fixer soit au moyen d'un coin comme en B, soit au moyen d'une vis de pression comme en B'. Quelquefois l'une des poupées seulement est mobile, l'autre est fixe. Elles portent chacune une pointe d'acier qui servent l'une à centrer l'instrument, l'autre à tracer l'arc. Pour faciliter les opérations, la règle peut être divisée en mètres ou en pieds ; quelquefois, au lieu d'être en bois, elle est en fer, ainsi que les poupées; dans ce dernier cas, pour rendre l'instrument plus léger, on le fait en fer creux.

6. *Trusquin* (1) (*fig.* 656). Outil qui sert à tracer sur les pièces des droites parallèles aux arêtes. Il est formé : 1° d'un plateau carré A en bois sec, percé en son milieu d'une mortaise carrée dont les joues sont exactement perpendiculaires aux faces du plateau : dans son épaisseur, il est en outre traversé par une mortaise cunéiforme *b*, qui pénètre un peu la mortaise *a* ; 2° d'une tige carrée B, bien droite, qui s'engage dans la mortaise *a* où elle peut glisser à frottement doux. Cette pièce porte à l'un de ses bouts un petit traceret d'acier et on peut la fixer dans telle position que l'on veut au moyen d'un coin qui s'engage dans la mortaise *b* et qu'on chasse autant que de besoin.

Pour tracer avec cet instrument, après avoir donné à la pointe à tracer la position convenable par rapport à la surface du plateau, on fait glisser celui-ci sur l'une des deux faces de la pièce qui forme l'arête à laquelle on veut tracer une parallèle, et la pointe marque cette parallèle.

469. Outils et instruments servant à déterminer les positions des lignes et des plans. — 1. *Équerres.* Elles sont semblables quelquefois à celles dont on se sert pour dessiner sur le papier ; plus souvent cependant elles se composent de deux règles fixement assemblées à angle droit et dont l'une est plus épaisse que l'autre. La surépaisseur de la règle A (*fig.* 657) forme un épaulement qui s'applique contre l'arête à laquelle la ligne à tracer doit être perpendiculaire. Quelquefois on encastre dans la règle la plus épaisse un petit tenon C, dont les faces sont dans les mêmes plans que celles de la règle B. Ce petit tenon a pour objet de soutenir l'équerre contre la pièce de bois pendant le tracé. Quand les équerres sont fort grandes, on consolide l'angle des deux pièces au moyen d'une écharpe assemblée dans la direction xy.

Equerre à onglets (*fig.* 658). A est une règle épaisse en bois dur et bien sec, dans laquelle sont assemblées deux minces planchettes ou ailerons BB, coupés de telle sorte

(1) Corruption du mot flamand *kruiske* (petite croix).

que les angles *abc*, *a' b' c'*, sont droits et l'angle *dcb* égal à 135°, supplément de l'angle de 45°. Le premier angle sert à tracer des perpendiculaires aux arêtes comme avec l'équerre à épaulement, le second à vérifier si deux plans ou deux faces formant une arête saillante sont perpendiculaires l'un à l'autre. Enfin le troisième sert à tracer les lignes inclinées à 45°, sur les arêtes contre lesquelles on appuie l'épaulement, opération qui est fréquemment nécessaire, pour les assemblages à onglets.

3. *Sauterelle ou faux équerre* (*fig.* 659). Elle ne diffère de l'équerre à épaulement qu'en ce que l'une des deux règles peut prendre une position quelconque par rapport à l'autre. A cet effet, la règle formant épaulement est fendue presque dans toute sa longueur d'une coulisse dans laquelle tourne l'autre règle et où elle peut venir entièrement se loger. Cet instrument sert à relever les angles sur les étélons pour les reporter sur les pièces d'assemblages.

4. *Niveau.* Il y en a de plusieurs formes; mais tous se résument en une planchette ou en un assemblage de planchettes muni d'un fil à plomb que l'on fait concorder avec une *ligne de foi* perpendiculaire à l'une des arêtes de l'instrument, quand on veut s'assurer qu'une pièce sur laquelle on pose cette arête est horizontale. On fait aussi des *niveaux de pente* qui ne diffèrent des niveaux ordinaires qu'en ce que la ligne de foi forme un angle voulu avec l'arête de pose. On peut sur une même planchette tracer plusieurs lignes de foi formant ainsi différents angles.

Pour opérer une vérification au moyen de ces divers niveaux, il est nécessaire de placer sur la face de la pièce dont on veut vérifier la position (à moins que cette face n'ait été dressée avec des soins tout particuliers) une règle longue et parfaitement dressée, sur laquelle on pose le niveau ; sans cette précaution, on s'exposerait souvent à être induit en erreur, à cause des irrégularités qui se rencontrent dans les surfaces des pièces sciées ou simplement équarries.

Nous croyons inutile de faire observer que l'exactitude du tracé des assemblages dépend en majeure partie de celle de ces divers instruments ; il serait également superflu d'indiquer comment on les vérifie, ces opérations étant suffisamment connues.

470. Outils tranchants par percussion. — 1. *Haches.* Ces instruments ont généralement la forme d'un coin très-aplati, terminé par un tranchant en acier à deux biseaux ou à un seul. Tous sont munis d'un manche en bois qui sert à les manœuvrer. On a représenté (*fig.* 199, 201 et 202, *pl.* VIII) la *cognée*, la *doloire* et la *hache du charpentier*. On fait encore un fréquent usage d'une doloire de petite dimension, qu'on manœuvre à une main et qui porte le nom de *hachette*.

2. *Herminette* (*fig.* 660). Hache dont le tranchant est perpendiculaire au manche de l'outil. A l'opposite du tranchant, l'herminette est terminée quelquefois en forme de marteau. Le tranchant est ordinairement plan, quelquefois il est courbe. L'instrument, qui sert alors pour creuser des gouttières ou dresser des surfaces courbes, porte le nom *d'herminette à gouge*. Les charpentiers de marine surtout font un très-grand usage de l'herminette et sont très-habiles à la manier.

3. *Ciseau* (*fig.* 661). Cet outil est commun au charpentier et au menuisier. Il est composé d'une lame de fer acérée sur la moitié ou les deux tiers de sa longueur, afin de fournir au raccourcissement de l'outil par l'effet de l'aiguisement. La lame est plus

ou moins forte, selon la nature de l'ouvrage auquel elle doit servir. A l'une de ses extrémités, elle est terminée par un taillant à un seul biseau, à l'autre par une embase surmontée d'une pointe effilée ou *soie* qui sert à l'emmancher. On fait agir cet instrument et les trois suivants en les frappant avec un maillet de bois.

4. *Fermoir* (*fig.* 662). C'est un fort ciseau à deux biseaux, au lieu d'un qui sert à ébaucher les tenons et les mortaises, et à enlever de gros éclats.

5. *Ébauchoir* (*fig.* 663). C'est encore un ciseau à un ou à deux biseaux, mais dont le taillant forme un angle plus ou moins aigu. Il sert à ébaucher les vis et quelques embrèvements.

6. *Bec-d'âne* ou *bédane* (*fig.* 664). C'est un ciseau étroit et fort épais, dont le tranchant est à un seul biseau. Il sert à creuser les mortaises étroites et en général à couper le bois perpendiculairement aux fibres. Il y en a de toutes grosseurs.

7. *Gouge* (*fig.* 665). Ciseau cylindrique ; son taillant est tantôt droit, tantôt courbe, à un seul biseau ou à deux biseaux. On l'emmanche et on le manœuvre comme les autres ciseaux. Il sert à faire les encastrements courbes et à amorcer les trous de tarière.

8. *Bisaiguë* (*fig.* 666). Instrument très-commode et très-employé pour l'exécution des grandes charpentes. Il est formé d'une barre de fer plate d'environ 1 mètre de long, terminée d'un bout par un ciseau ordinaire à tranchant légèrement courbe, et de l'autre par un bédane dont le tranchant est perpendiculaire au précédent. L'outil est complété par une douille placée à mi-longueur de la barre et qui sert à la manœuvrer. Cet instrument tient lieu à la fois du ciseau et du bédane, son poids et l'impulsion qu'on lui donne remplacent la percussion.

471. Outils tranchant à corroyer et planer le bois. — *Corroyer* le bois, c'est enlever de ses surfaces toutes les aspérités laissées par le travail de la scie ou de la hache. Dans les travaux de charpente, cette opération se fait assez rarement, mais dans ceux de menuiserie, elle se pratique au contraire à chaque instant. Les outils dont nous allons parler sont donc plus particuliers au menuisier qu'au charpentier.

Le *corroyage* des bois se fait avec des instruments qui portent le nom générique de *rabots*, mais dont on distingue un très-grand nombre d'espèces.

Tout rabot est composé de deux parties distinctes, le *bois* ou *fût*, et le *fer*.

Le *fût* est un parallélipipède rectangle plus ou moins long, parfaitement dressé sur ses quatre faces et à vives arêtes, excepté du côté où on le saisit dans la main. Il est fait en bois dur, fin et compacte, comme le poirier, le cerisier, le cormier, le sorbier. Vers son milieu, il est traversé par une mortaise inclinée et cunéiforme, dont l'une des joues présente un plan incliné à 45° par rapport à la face inférieure de l'outil. Cette mortaise porte le nom de *lumière*, elle sert de dégagement aux copeaux enlevés par le fer qui est fixé sur la face inclinée à 45° au moyen d'un coin évidé.

Le *fer* est une lame d'acier ou tout au moins garnie d'acier, taillée en biseau tranchant comme l'extrémité d'un ciseau, ayant à très-peu près la même largeur que le fond incliné de la lumière.

Les principales espèces de rabots sont :

1. La *galère* ou le *riffiard* (*fig.* 667). C'est un rabot court qui sert à ébaucher le tra-

vail ; son fer est ordinairement un peu arrondi, afin de mordre davantage dans le bois. On traverse quelquefois son fût par deux broches qui permettent d'employer deux hommes à sa manœuvre.

2. La *varlope* (*fig.* 668). C'est un très-grand rabot qui sert à terminer et à unir les surfaces. La *semelle* doit être parfaitement dressée. Le tranchant du fer est droit et large, on lui donne peu de saillie. Les varlopes sont munies d'une poignée au moyen de laquelle on les manœuvre. On passe rarement du travail de la galère à celui de la varlope ; on se sert souvent comme intermédiaire de la *demi-varlope*, qui est un rabot en tout semblable à la varlope, mais plus petit et dont le fer est encore un peu arrondi, mais moins que celui de la galère.

3. Le *rabot*. Il ne diffère de la galère que parce que le tranchant du fer est droit comme celui des varlopes. Il sert à dresser des surfaces de peu d'étendue. Il y a des rabots convexes qui servent à dresser des surfaces concaves et des rabots concaves pour dresser les surfaces convexes.

4. Le *guillaume* (*fig.* 669). C'est un rabot très-étroit et dont le fer bien carré a la même largeur que le fût. Ce fer a la forme d'une petite palette dont la queue s'encastre dans une mortaise inclinée à 45°, pratiquée dans l'épaisseur du fût où elle est serrée avec un coin. La lumière est placée sur le côté en *a*. Ce rabot sert à atteindre le fond des arêtes creuses formées par des plans qui se rencontrent à angle droit.

5. Les *bouvets*. Tous les bouvets ont une grande ressemblance avec le guillaume : ce sont des rabots très-étroits destinés à faire soit des rainures, soit des languettes, soit des moulures de toute espèce. Ils diffèrent principalement du guillaume par le fer, qui est taillé de manière à présenter en creux les reliefs que l'on veut former sur le bois, et *vice versâ*, et par un épaulement latéral, qui permet de les diriger avec facilité parallèlement à une arête. Les *fig.* 671 et 672 représentent les bouvets servant à faire les rainures et les languettes. Dans chacune de ces figures A est le fût, B le fer, C la lumière, D l'épaulement. Cet épaulement est souvent disposé de manière à pouvoir être plus ou moins écarté du fer du rabot au moyen de deux tringles carrées passant à frottement dur au travers du fût de l'outil, comme dans la *fig.* 671. Quelquefois on réunit les deux bouvets de manière à ce qu'il n'y ait qu'un épaulement pour les deux ; dans ce cas, les fers sont inclinés en sens contraire, de façon que lorsqu'on a travaillé dans un sens avec le bouvet à rainures, par exemple, il suffit de retourner l'outil sens devant derrière pour pousser les languettes. La *fig.* 672 représente un double bouvet de cette espèce. Il y a des bouvets courbes latéralement ou en dessous pour travailler les bois courbes.

Les outils tranchants que nous venons de décrire doivent toujours être parfaitement *affûtés* si l'on veut en tirer tout le parti possible, c'est-à-dire que leur tranchant doit toujours avoir exactement la forme voulue et être parfaitement coupant. On se sert à cet effet de meules et de pierres à aiguiser de diverses sortes ; rudes et grossières d'abord pour dégrossir le tranchant, et ensuite très-fines pour lui donner le dernier degré de perfection. Cette opération exige une certaine habileté que les ouvriers possèdent en général.

472. Outils à percer. — 1. *Tarière* (*fig.* 673). La tarière est composée d'une sorte de cuiller cylindrique appelée la *mèche*, dont les bords sont tranchants et dont le bout, tranchant lui-même, est tourné en spirale. Cette cuiller est soudée à une tige prismatique en fer qui s'emmanche dans une traverse en bois servant à manœuvrer l'outil; il y a des tarières de toutes grosseurs. Pour se servir de cet instrument, on doit préalablement amorcer le trou avec une gouge.

2. *Tarière anglaise* (*fig.* 674.) La mèche des tarières anglaises présente des dispositions toutes différentes et qui offrent plusieurs avantages. Ces mèches sont formées d'une lame d'acier à vives arêtes tordue en double spirale. L'extrémité des spirales est tranchante et leur axe est terminé par une petite vis conique qui fait mordre l'instrument sans qu'il soit besoin d'amorcer le trou avec la gouge. Cet instrument a, en outre, sur le précédent, l'avantage de forer des trous plus droits, plus nets et cylindriques, et de ne pas nécessiter le retrait de l'instrument du trou pour le dégager des copeaux qui remplissent bientôt la cuiller de la tarière ordinaire et l'empêchent de fonctionner. Avec la tarière anglaise, les copeaux montent le long des pas des spirales et sont naturellement rejetés au dehors.

3. *Trépan.* Le trépan n'est rien autre chose qu'une très-grosse tarière ordinaire. Il y en a de plusieurs formes, que nous avons représentées dans les *fig.* 675 et 676. Ces instruments exigent de très-grands efforts de pression pour mordre; on emploie souvent deux hommes pour les manœuvrer.

4. *Vilebrequin* (*fig.* 677). Les vilebrequins servent généralement à percer des trous d'un petit diamètre et d'une longueur peu considérable, tandis que les tarières servent à percer les trous qui offrent de grandes dimensions en longueur ou en largeur. On distingue dans le vilebrequin le *fût* et la *mèche*, montée elle-même assez souvent sur un fût particulier.

Le *fût* du vilebrequin est ordinairement en bois, quelquefois en fer poli, il a la forme d'une double manivelle. L'une de ses branches est percée à son extrémité d'un trou cylindrique dans lequel est engagé un bouton très-évasé, autour duquel s'effectue le mouvement giratoire de l'outil et qui sert en outre à transmettre la pression nécessaire pour faire mordre la mèche. L'autre branche est percée, dans le prolongement de l'axe du bouton, d'une mortaise carrée dans laquelle s'engage le fût de la mèche.

On distingue plusieurs espèces de *mèches :* les *mèches ordinaires*, qui ne sont que de très-petites tarières, et les *mèches anglaises*, qui présentent de tout autres dispositions. Les unes (elles sont encore peu employées) ont la forme d'une petite tarière anglaise, les autres sont formées d'une lame d'acier coupée carrément sur les bords latéraux (*fig.* 678). Leur extrémité est terminée par une pointe carrée *a*, qui sert de guide. Au côté *b* est une sorte de couteau qui coupe le bois circulairement lorsqu'on agit en tournant la manivelle du vilebrequin, l'autre côté *d* est plié en avant et forme une espèce de rabot horizontal qui enlève, aussi en tournant, des copeaux circulaires presque continus, après que le bois a été coupé par le couteau. Ces mèches, lorsqu'elles sont bien taillées, forment des trous beaucoup plus nets que les mèches ordinaires.

Les *fig.* 679 et 680 représentent deux fûts de mèche de vilebrequin; celui de la

fig. 616 porte deux espèces de mâchoires élastiques *aa* terminées par un arrêt qui empêche ce fût de sortir de l'œil dans lequel il est engagé, lorsqu'on retire la mèche du trou. On ne fait du reste usage de ces fûts que lorsque celui du vilebrequin lui-même est en bois. Quand ce dernier est en fer, l'extrémité méplate de la mèche y est engagée et retenue par une vis de pression.

5. *Vrille* (*fig.* 681). C'est une très-petite tarière ordinaire ou anglaise qu'on manœuvre d'une seule main.

473. Outils à scier. — 1. *Scie passe-partout* déjà décrite au sujet du débit de bois.

2. *Scie de long*. Idem.

3. *Scie de charpentier et de menuisier* (*fig.* 682.) Ces scies se composent d'une lame d'acier très-mince et dentelée sur l'un de ses bords ; ces dents sont d'autant plus longues et plus aiguës que le bois à débiter est plus tendre. La lame est tendue dans une monture en bois composée de deux montants séparés par une traverse et réunis par une corde tordue au moyen d'un morceau de bois appelé le *garot*, qui sert à donner la tension à la lame. Les lames de ces scies ont rarement plus de 1 mètre de long, 5 à 6 centimètres de largeur et 1 millimètre d'épaisseur.

Quoique l'épaisseur de la lame d'acier soit parfaitement uniforme, le travail deviendrait excessivement difficile aussitôt qu'elle aurait pénétré d'une petite profondeur dans le bois, si l'on ne prenait pas la précaution de donner ce qu'on appelle de la *voie* à la scie. *Donner de la voie*, c'est plier alternativement d'une petite quantité les dents à droite et à gauche du plan de la scie, de façon que le trait de scie soit plus large que l'épaisseur de la lame et que celle-ci puisse toujours s'y mouvoir librement et sans frottement, malgré la dilatation produite dans le cours de l'opération. La quantité dont on dévie les dents à droite ou à gauche doit être toujours moindre que l'épaisseur de la lame.

La scie que nous venons de décrire ne peut faire qu'une coupe plane et dont la profondeur est limitée par la distance de la lame à la traverse. Il peut cependant arriver que l'on ait besoin de contourner le trait de scie suivant une certaine courbure, pour former des parties cintrées, concaves ou convexes, ou que la scie ait à parcourir un trajet plus grand que la distance de la lame à la traverse. On a recours alors à des scies à chantourner, montées d'une autre manière, pour satisfaire à ces différents besoins.

4. *Scie à chantourner* (*fig.* 683). La principale différence que cette scie présente avec les scies ordinaires, c'est que la lame, au lieu d'être immédiatement attachée aux montants de l'armature par des goupilles, est fixée dans la fente de deux poupées en bois *a*, qui sont passées dans un trou cylindrique pratiqué au pied des montants et dans lequel elles tournent à frottement dur. De cette manière, on peut donner à la lame telle position qu'on veut par rapport à l'armature. Les lames des scies à chantourner sont ordinairement plus étroites que les autres, et on leur donne aussi la plus large voie possible, afin de faciliter leur mouvement de progression malgré la courbure qu'elles doivent suivre.

5. *Scie à main, feuillet à poing* ou *braquet*. Ces scies sont composées d'une lame

d'acier dentée comme les autres, mais de forme trapézoïdale ou triangulaire ; elles n'ont d'autre monture qu'une poignée de l'une des formes représentées dans les *fig.* 684 et 685 ; elles servent à scier certaines parties rentrantes que les autres scies ne pourraient atteindre. La petite scie (*fig.* 685) est surtout très-commode pour découper des trous dans des planches ou des madriers. Il suffit, pour commencer le travail, de faire sur un point quelconque du contour du trou que l'on veut découper une entaille assez grande pour y introduire aisément l'extrémité effilée de la scie.

Les scies, quelle que soit leur espèce, doivent toujours être parfaitement aiguisées. On se sert à cet effet de limes triangulaires d'acier appelées *tiers-point*, au moyen desquelles on avive les dents, et on leur donne la forme voulue.

Pour donner la *voie*, on se sert d'un instrument appelé la *rosette* (*fig.* 686), consistant en un disque d'acier monté sur un manche dont le contour est divisé par des fentes dirigées vers le centre. Ces fentes ont les largeurs nécessaires pour qu'on puisse y introduire les dents des lames de scie de toutes les épaisseurs.

474. Outils à frapper. — Les outils à frapper sont le *marteau* et le *maillet*. Le marteau est souvent terminé d'un côté par une *panne*, de l'autre en pied-de-biche pour arracher les clous. Le maillet est entièrement en bois.

Indépendamment de ces outils, les charpentiers font encore usage du *pied-de-biche* (*fig.* 687), et des *triquoises* (*fig.* 688), qui servent à arracher les clous et les chevilles.

ARTICLE II.

ART DU MENUISIER.

Après les détails dans lesquels nous venons d'entrer sur l'art du charpentier, il nous reste peu de chose à dire sur celui du menuisier.

475. En quoi l'art du menuisier diffère de celui du charpentier. — L'art du menuisier ne diffère en effet de celui du charpentier qu'en ce que ses combinaisons s'exercent sur des pièces de moindres dimensions, mais de formes souvent beaucoup plus compliquées. D'ailleurs les procédés d'assemblage sont toujours les mêmes et sont soumis aux mêmes principes.

Le problème que le menuisier a continuellement à résoudre est celui-ci : *étant donnée la forme extérieure de l'objet, reproduire cette forme au moyen de pièces de bois légères et solidement assemblées.*

Pour y parvenir, on compose ordinairement une espèce de carcasse appelée *châssis* ou *bâti*, formée de pièces assez solides, coupées et assemblées selon toutes les règles de l'art, au moyen duquel on reproduit les principales arêtes et lignes de courbure des surfaces de l'objet ; toutes les pièces droites ou courbes de ce *châssis* sont assemblées à tenons et mortaises, avec ou sans embrèvement, fausses coupes, ou autrement suivant le cas, et les *jours* ou intervalles qu'elles laissent entre elles sont remplis avec des panneaux, plans ou courbes (selon le besoin), formés de plan-

ches ou de madriers assemblés (1). Quelquefois ces panneaux sont cloués sur le bâti, d'autres fois ils sont assemblés à rainures et languettes dans les jours du bâti. C'est de cette façon, par exemple, que sont composées la plupart des portes d'appartements, les lambris, etc. Les portes extérieures des établissements militaires offrent fréquemment, au contraire, la première disposition.

476. Distinction établie dans les ouvrages de menuiserie. — On désigne sous le nom de *mesuiserie dormante* les ouvrages appliqués aux murs, voûtes, planchers et plafonds des bâtiments, et en général toutes les constructions fixes exécutées par les procédés de cet art. On nomme au contraire *menuiserie mobile* tous les ouvrages qui servent à clore à volonté les baies pratiquées dans les murs des édifices pour y pénétrer ou pour y laisser entrer la lumière.

Tous les bois employés en menuiserie doivent être parfaitement secs, de la meilleure qualité, exempts d'aubier et de tout défaut. Ce n'est qu'à cette condition qu'on obtient des ouvrages solides, durables et qui ne se déforment pas.

477. Moyens accessoires d'assemblage. — A cause de la petitesse des pièces, les assemblages n'offriraient souvent pas un degré de force suffisante si on les employait seuls. Le menuisier a souvent recours, pour les consolider ou même pour en tenir lieu, à la *colle forte* ou *colle de Flandre*, matière gélatineuse jouissant de la propriété d'adhérer fortement aux surfaces du bois contre lesquelles on l'applique. Concurremment avec ce moyen de liaison ou indépendamment de lui, le menuisier emploie en outre fréquemment les clous et les pointes de Paris, ainsi que les diverses ferrures que nous avons précédemment décrites. Ces ferrures sont souvent limées et mêmes polies lorsqu'elles doivent rester apparentes. Souvent aussi elles sont encastrées avec art dans l'intérieur des bâtis, de manière à les dérober totalement à la vue.

478. Outils propres au menuisier. — La plupart des outils que nous avons décrits aux nos 468 à 474 de l'article précédent sont communs aux charpentiers et aux menuisiers ; mais outre cela, ces derniers en emploient encore une très-grande quantité d'autres, parmi lesquels nous citerons : les *limes* et les *râpes* (*fig.* 689 à 692) méplates, rondes ou demi-rondes, qui servent à chantourner et à polir des parties que le rabot ne pourrait atteindre ou qu'il serait difficile de façonner avec d'autres outils ; les *burins*, outils à manche, montés comme les ciseaux et les bédanes, qui servent à faire des renfouillements délicats ; les *sergents* (*fig.* 693) et les *presses* (*fig.* 694), qui servent à maintenir les pièces collées pendant le temps nécessaire à la prise de la colle ; les *verins* (*fig.* 695), qui permettent de saisir les petits objets avec force et de les maintenir fixement pendant le travail ; et un grand nombre d'autres dont on acquerra bien vite la connaissance en parcourant les ateliers.

Il est surtout un appareil indispensable au menuisier, c'est *l'établi* ou le *banc*. Les pièces qui entrent dans la composition des grandes charpentes sont ordinairement assez volumineuses et assez pesantes en même temps que bien gisantes, pour qu'il suffise, lorsqu'on veut les travailler, de les poser sur des chantiers quelque peu éle-

(1) Ces panneaux peuvent aussi être faits en tôle ou en fonte ouvragée.

vés au-dessus du sol. Leur seul frottement sur ces chantiers suffit pour les y maintenir pendant qu'on les taille; mais il n'en est pas de même pour la plupart des pièces qui entrent dans les ouvrages de menuiserie. Elles n'auraient pas la moindre stabilité pendant les opérations auxquelles on les soumet, si l'on n'avait le moyen de les saisir ou de les arrêter dans une position fixe et qui permette en même temps de les travailler commodément. C'est là ce qui rend nécessaire l'emploi de l'établi.

L'établi (*fig.* 696) est une sorte de table très-solide formée d'un gros madrier de hêtre ou d'orme, large de 50 à 60 centimètres, long de 2 mètres à 2^{m},50, épais de 8 à 10 centimètres, porté sur quatre pieds réunis solidement par des traverses. La hauteur de la surface supérieure de l'établi au-dessus du sol dépend de la grandeur de l'ouvrier; elle est moyennement de 80 centimètres. Cette table est percée à l'un de ses bouts d'une mortaise carrée dans laquelle s'engage à frottement dur une tige de bois *a*, munie latéralement et à sa partie supérieure de quelques pointes saillantes ou, ce qui vaut mieux, armée d'un peigne en acier présentant ses dents dans le même sens. C'est contre cette tige qu'on peut, à coups de marteau, hausser et baisser à volonté, que l'on arrête les pièces de bois à corroyer qui se posent pour cela à plat sur l'établi. On tient son extrémité supérieure toujours un peu en dessous de la face que l'on corroie, afin de ne pas gêner le mouvement de l'outil. Indépendamment de la mortaise que nous venons d'indiquer, la table de l'établi est encore percée bien perpendiculairement à sa surface d'un certain nombre de trous de tarière irrégulièrement répartis *b*. C'est dans ces trous que se pose le *valet* V, espèce de grand crochet en fer, qui sert à fixer, au moyen de la pression qu'il permet d'exercer, les pièces de bois sur l'établi. Finalement, l'établi est complété par un verin en bois A, placé contre l'un des pieds de devant. Ce verin sert à maintenir les planches qui doivent être rabotées de champ, et à beaucoup d'autres opérations qui exigent la maintenue de la pièce autrement que ne pourraient le faire l'arrêt et le valet.

Dans les grands ateliers de menuiserie, plusieurs opérations qui se faisaient autrefois à la main sont exécutées par des machines. On a inventé dans ces derniers temps des machines à raboter, à percer, à faire des tenons et des mortaises, à pousser les moulures, etc. Ces appareils sont beaucoup trop compliqués pour que leur description puisse trouver place ici. Il nous suffit de les mentionner pour faire connaître quelles sont les ressources dont l'industrie dispose actuellement.

ARTICLE III.

ART DU TOURNEUR.

479. L'art du tourneur est extrêmement compliqué, quand on considère tous les objets qu'il peut fabriquer; mais pour ce qui concerne son application aux constructions ordinaires, ses opérations sont très-simples et l'on peut en donner une idée en peu de mots.

Les objets que confectionne le tourneur sont, en général, des solides de révolution engendrés par un mouvement circulaire obtenu au moyen d'un appareil appelé le *tour*.

480. Espèces diverses de tours. — On distingue principalement deux espèces de tours : le *tour à pointes* et le *tour en l'air*.

Décrivons d'abord le premier.

481. Tours à pointes. — Sur un établi assez semblable à celui du menuisier (*fig.* 697), mais plus élevé, se trouve deux *poupées* en bois A qui peuvent glisser dans une rainure longitudinale B et être ainsi éloignées ou rapprochées l'une de l'autre, selon le besoin. Les tenons passants de ces poupées sont traversés par des mortaises dans lesquelles on chasse des coins qui permettent de les fixer. Vers leur extrémité supérieure, ces poupées sont traversées par deux broches en fer terminées par une pointe conique en acier ; l'une de ces broches est fixe, l'autre peut glisser dans un trou, mais être fixée au moyen d'une vis de pression. Ces pointes servent à centrer la pièce que l'on veut tourner ; elles sont placées bien exactement l'une vis-à-vis de l'autre et forment ainsi le prolongement de l'axe de révolution. Entre les deux poupées se trouve un appareil C, que l'on nomme le *support*, parce qu'il sert, en effet, à supporter et même à fixer les outils tranchants pendant le travail. Ce support peut s'élever ou s'abaisser à volonté suivant l'exigence, et être maintenu à la hauteur convenable au moyen d'une vis de pression. Il peut en outre être transporté dans le sens longitudinal de la table, de manière à occuper une position quelconque entre les deux poupées, et être fixé, soit au moyen d'un coin, soit au moyen d'une vis de pression, dans l'emplacement favorable. Nous laissons à la figure le soin d'expliquer la forme et les dispositions de ces divers objets, qui sont d'ailleurs très-variables.

Voici maintenant comment se conduit le travail :

La pièce grossièrement ébauchée est placée entre les deux pointes, de manière à ne pouvoir s'en dégager, malgré les efforts de l'outil, et à pouvoir néanmoins tourner librement. Il va de soi que l'on a dû, au préalable, déterminer bien exactement les extrémités de l'axe de rotation, afin d'y enfoncer les pointes. La pièce est d'ailleurs un peu plus longue que l'objet qui doit en sortir, et au moyen de ce surcroît de longueur, on y assemble, à tenon et mortaise, une poulie à gorge dont l'axe se confond avec celui de l'objet. C'est au moyen de cette poulie et d'un appareil que nous décrirons plus loin, que l'on communique le mouvement de rotation.

Pendant que la pièce est ainsi en mouvement, l'outil tranchant, appuyé sur le support et tenu à deux mains, dans une direction convenable, par le tourneur, enlève une série de copeaux circulaires ou en spirale, jusqu'au point d'atteindre la surface que l'on veut mettre à jour. Non-seulement on fait avancer l'outil vers la pièce au fur et à mesure qu'elle se dégrossit, mais en outre on lui communique un mouvement de translation longitudinal qui l'attaque ainsi sur tous les points de sa longueur. Quand le support n'a pas une longueur au moins égale à celle de la pièce que l'on tourne, on est obligé de le changer plusieurs fois de place pendant le cours de l'opération ; on commence l'objet sur un point, on le tourne sur une longueur égale à celle du support, puis on transporte celui-ci à droite ou à gauche pour tourner une nouvelle portion adjacente à la première, et ainsi de suite.

Dans quelques tours destinés à tourner de longues pièces cylindriques, le support est animé, pendant le travail, d'un mouvement de progression dans le sens longitudinal au moyen d'une vis mue par la machine. Cette disposition se remarque particulièrement dans les tours qui servent à tourner les métaux ; dans ce cas, l'outil est maintenu fixement sur le support par des vis de pression.

Le tour à pointes sert à tourner tous les objets pleins, comme des colonnettes, des balustres, des moyeux de roues, des poulies, des sphères, des cylindres, etc. etc. ; mais il permettrait difficilement de tourner des objets creux ou évidés à l'intérieur. On a recours, pour la fabrication de tels objets, au *tour en l'air* (*fig.* 698).

482. Tour en l'air. — Le tour en l'air présente, comme le tour à pointes, deux *poupées* disposées d'une manière analogue sur un fort établi, mais fixées à demeure et à distance constante l'une de l'autre. Ces deux poupées sont traversées par un cylindre en fer, armé de poulies de divers diamètres. Ce cylindre est l'*arbre du tour*. On y remarque : en *a*, un bout fileté suivi d'une embase qu'on appelle le *nez de l'arbre* ; en *b* et *c*, des parties parfaitement cylindriques et polies qui roulent sur des coussinets en cuivre encastrés dans les poupées ; les poulies *d*, d'un plus ou moins grand diamètre, placées entre les deux poupées ou au delà de la seconde, servent à communiquer un mouvement de rotation plus ou moins accéléré à l'arbre.

Le tour en l'air est muni d'un support semblable à celui du tour à pointes.

L'objet à tourner est fixement attaché sur le nez de l'arbre, soit au moyen d'un écrou pratiqué dans l'épaisseur du morceau de bois que l'on tient toujours un peu plus long que l'objet qu'on veut façonner, soit par l'intermédiaire d'un *mandrin*. Les mandrins sont de forme extrêmement variées et qui dépendent de celle de la pièce qu'on tourne ; mais en général ils présentent un écrou qui se visse sur le nez de l'arbre et dont les bords extérieurs sont armés de mâchoires qui saisissent et maintiennent, à poste fixe, la pièce de bois pendant toute la durée des opérations.

Le travail se conduit, du reste, absolument de la même manière qu'avec le tour à pointes ; on remarque seulement que le support, pouvant, en vertu des dispositions adoptées, être placé aussi bien en avant de la pièce que latéralement, il est facile, avec des outils de forme appropriée, de la creuser intérieurement même suivant des formes très-compliquées.

483. Mécanismes employés pour communiquer le mouvement de rotation. — Il nous reste, pour compléter la description de ces appareils, à dire un mot des mécanismes qui servent à leur imprimer le mouvememt ; voici les plus communément employés :

1° A l'extrémité d'une perche flexible F (*fig.* 697) ou d'un ressort constitué de toute autre manière, est attachée une corde assez mince ; cette corde, après s'être enroulée une ou deux fois sur la poulie ou même sur l'extrémité P grossièrement arrondie de la pièce à tourner, vient se fixer à l'extrémité d'une pédale G dont, à l'état de repos, elle tient l'extrémité élevée à environ $0^m,30$ de terre. On voit qu'en abaissant la pédale avec le pied et en la laissant ensuite revenir à sa position primitive, on fait décrire à la pièce de bois un mouvement alternatif de rotation qu'on peut rendre très-vif ; dans ce cas, l'outil fonctionne d'une manière intermittente.

2° Sous le tour, ou bien au-dessus, est attachée une roue verticale à gorge, traversée à son centre par un arbre coudé en manivelle R (*fig.* 698). Cette manivelle est réunie par une bielle à une pédale, au moyen de laquelle on communique à la roue un mouvement de rotation plus ou moins vif. Cette roue est réunie à la poulie *d* par une courroie ou une corde sans fin et lui communique un mouvement de rotation d'autant plus accéléré que le rapport entre le diamètre de la roue et celui de la poulie est plus grand ; l'emploi de cette disposition rend l'action des outils continue.

Quelquefois, lorsque le tour est destiné à tourner des objets très-pesants, la roue est placée à quelque distance du tour et manœuvrée par un ou deux hommes tournant à une manivelle ; d'autres fois, et c'est le cas des tours qui servent à tourner les grosses pièces de fer ou de fonte, l'arbre du tour auquel est attachée la pièce à tourner est mis en mouvement par des engrenages recevant eux-mêmes leur impulsion d'une machine à vapeur ou d'un moteur quelconque.

484. Outils du tourneur. — Les outils coupants employés par le tourneur sont extrêmement nombreux et variés ; nous citerons comme les plus communément employés pour tourner les bois ordinaires, et mêmes quelques bois fins : les *gouges*, présentant un tranchant arrondi en pointe (*fig.* 699), qui servent à dégrossir, et les *planes* ou *fermoirs*, ciseaux à tranchant biais et à double biseau, qui servent à terminer les surfaces (*fig.* 700). Pour travailler les bois durs, le tourneur se sert de *burins* ronds ou carrés (*fig.* 701), dont le taillant est ordinairement formé par un seul biseau d'autant plus incliné sur l'axe que le bois est plus dur à travailler. Pour creuser, dégager les moulures, etc., il fait usage de ciseaux, tantôt à taillant droit, tantôt à taillant courbe, placé soit en avant de l'outil, soit sur le côté ; de bédanes, de limes, etc., et d'un grand nombre d'autres outils dont la forme est souvent déterminée par celle de l'objet qu'on veut produire.

Pour tourner le cuivre ou le fer, on se sert de *crochets* en acier coupant à leur extrémité (*fig.* 702). Ces outils sont tenus à la main par le tourneur et sont ainsi promenés appuyés sur le support le long de la pièce qu'il tourne. Ces crochets ont leur coupant en pointe pour ébaucher le travail et en biseau à un seul tranchant pour polir et terminer.

Indépendamment de ces outils, le tourneur emploie la plupart de ceux qui conviennent au menuisier. Ses méthodes d'assemblage sont aussi les mêmes ; toutefois, il en emploie fréquemment une qui est particulière et qui dépend de la forme même des objets qu'il confectionne. C'est l'assemblage à *vis et écrou* qui remplace souvent celui à tenon et mortaise et les entures de diverses espèces. Les pas des vis et des écrous se façonnent souvent avec des instruments appelés *peignes*, dont le maniement exige beaucoup d'adresse ou avec des *filières*. La description de ces outils nous entraînerait beaucoup trop loin ; on les connaîtra bien vite en parcourant les ateliers.

ARTICLE IV.

ART DU FASCINEUR ET DU PAILLASSONNEUR.

COUVERTURES EN MATIÈRES LIGNEUSES.

485. La confection des fascinages et des paillassonnages est une branche très-importante de l'art des constructions. On en a déjà vu dans le cours de fortification quelques applications aux travaux militaires ; les travaux hydrauliques nous donneront plus tard l'occasion d'en étudier de nouvelles. Ici nous n'exposerons que les procédés généraux.

Les travaux du fascineur comprennent la confection des *saucissons*, des *claies*, des *gabions* et des *paniers*, des *clayonnages*, des *fascinages*, des *tunes* ou *tunages*, des *plates-formes*, des *risbermes* et des *épis*. Tous ces travaux s'exécutent avec des *fascines*, des *clayons*, des *harts* et des *piquets*. (Première partie).

486. Saucissons. — Les saucissons sont de longs cylindres en fascinages entrant fréquemment comme parties élémentaires dans des constructions plus compliquées. On les confectionne avec des fascines ou avec des brindelles de bois semblables à celles qui servent à la confection de ces dernières. Pour faire des saucissons, on établit d'abord un certain nombre de chevalets formés chacun de deux piquets de $1^m,60$ de longueur sur $0^m,10$ de diamètre au gros bout, enfoncés en terre de $0^m,30$, de manière à se croiser à peu près d'équerre à $0^m,60$ au-dessus du sol et reliés par des harts ou de la corde. (Le nombre des chevalets se calcule d'après la longueur du saucisson ; ils ne doivent pas être distants de plus de $1^m,50$.) On place ensuite, dans l'angle des chevalets, la quantité de bois nécessaire, en ayant soin de bien enchevêtrer les branches les unes dans les autres ; puis, au moyen d'un bout de corde et de leviers disposés comme on l'a indiqué dans la *fig.* 703, on sert fortement ces branchages et on les lie de distance en distance avec des harts, ayant soin de tourner tous les nœuds dans le même sens.

On fait des saucissons de toutes espèces de dimensions.

Ceux qu'on emploie aux travaux d'attaque des places ont de 4 à 6 mètres de longueur, $0^m,30$ de diamètre et sont liés par des harts espacées de $0^m,50$ en $0^m,50$. Ceux dont on fait usage pour les revêtements des batteries d'artillerie ont mêmes dimensions ; mais les harts sont rapprochées à $0^m,30$ l'une de l'autre.

Pour les travaux des digues, on confectionne des saucissons qui ont jusqu'à 8 ou 10 mètres de long sur $0^m,40$ à $0^m,50$ de pourtour moyen et dont les harts sont placées de $0^m,15$ en $0^m,15$.

487. Claies. — Les claies (*fig.* 704) sont formées d'un clayonnage plan, établi sur des piquets équidistants. On en fait de toutes grandeurs. Pour faire une claie, on plante en terre une file de piquets alignés au cordeau et à distance de $0^m,40$ à $0^m,50$ les uns des autres. Cela étant fait, on tresse autour de ces piquets des clayons longs et flexibles, que l'on a soin de bien liaisonner et que l'on tord en outre autour des piquets

extrêmes, ainsi que c'est indiqué à gauche de la figure, afin de les retenir latéralement. Pour empêcher les derniers clayons de se dégager des piquets, on en réunit souvent un certain nombre par quelques harts comme en *a*.

488. Gabions. — Les gabions (*fig.* 705) ne sont rien autre chose que des claies cylindriques et qui se fabriquent par des procédés tout à fait analogues aux précédents. On fait aussi des gabions de dimensions très-variées.

489. Paniers farcis. — Pour suppléer au prix trop élevé ou à la rareté des gros libages dont on charge les plates-formes et quelques autres travaux de fascinage, comme on le verra plus loin, on emploie quelquefois des paniers de diverses formes et dimensions que l'on bourre avec des cailloux ou du gros gravier. Ces paniers ont tantôt la forme d'un gabion muni d'un fond et d'un couvercle, d'autrefois ils ont celle d'un prisme à base triangulaire, comme dans la *fig.* 707, ou à base carrée, comme dans la *fig.* 708. On leur donne aussi, comme dans la *fig.* 706, la forme de deux troncs de cône accolés par leur large base. Ces paniers se font comme les gabions, avec des piquets et des clayons entrelacés. Ce ne sont, en dernière analyse, que des gabions d'une figure particulière fermés aux deux bouts. Leur remplissage avec la pierraille peut se faire par l'un des bouts, que l'on ne ferme que quand il est terminé, ou bien par une ou deux ouvertures carrées, *a* (*fig.* 706 et 707), que l'on bouche au moyen d'une petite claie tenue par des harts.

Lorsque ces paniers doivent être échoués dans une eau courante, on les traverse par de forts piquets A (*fig.* 706), qui servent à les ancrer au fond de la rivière ou les uns sur les autres.

On emploie aussi, dans des cas analogues, des *saucissons farcis*, dont la construction n'offre rien de particulier. Ils ne diffèrent des saucissons ordinaires qu'en ce que leur centre est bourré de pierraille. On les réunit quelquefois au nombre de deux ou de trois par des piquets transversaux ou par d'autres saucissons liés avec de fortes harts ou des cordes goudronnées.

490. Clayonnages. — Un *clayonnage* (*fig.* 709) est en général, un tissu formé de piquets équidistants, autour desquels on tresse transversalement des cours de clayons, en ayant soin de croiser les joints de chaque cours avec ceux des cours inférieurs et supérieurs et de les bien serrer l'un contre l'autre.

Pour maintenir les derniers cours de clayons, on emploie de distance en distance des piquets à clef. L'espacement des piquets varie de $0^m,30$ à $0^m,40$ sur la même rangée.

491. Fascinage. — Un *fascinage* (*fig.* 710) se compose d'un ou plusieurs lits de fascines posées dans le même sens (comme dans la partie de gauche de la figure) ou recroisées (comme dans la partie de droite), et maintenues par des lignes de clayonnages parallèles. L'espacement des clayonnages dépend du degré de solidité que l'on veut donner à l'ouvrage ; on le fait rarement moindre que $0^m,50$, et plus grand que 1 mètre.

Cet ensemble de fascines et de clayonnage forme ce qu'on appelle un *fascinage à plat*. On estime qu'il entre moyennement dans 1 mètre carré de fascinage de cette espèce 9 piquets, 28 clayons et 7 fascines.

492. Tunages. — Quelquefois les intervalles entre les lignes de clayonnage sont

remplis de terre, gazon (1), de sable, de gravier, de moellons ou gros libages. L'ensemble porte alors le nom de *tune* ou de *tunage*.

Nous avons représenté un tunage à droite de la *fig.* 710.

493. Observation. — Lorqu'on superpose plusieurs couches de fascinages ou de tunages, l'ensemble prend le nom de fascinage ou de tunage, de *revêtement* (*pakberm* ou *pakwerk* en flamand).

Quelquefois les lignes de clayonnages sont remplacées par de longs saucissons fortement piquetés et ancrés dans le sol. Cette disposition s'observe particulièrement dans la construction des *risbermes* (*rysberm*, *baardwerk* en flamand), et des *épis* (*kribwerk*). Les *risbermes* servent à réparer les affouillements des rives, et les épis sont employés pour détourner l'action d'un courant d'un point qu'il s'agit de préserver. Ces travaux seront décrits plus tard lorque nous parlerons des ouvrages hydrauliques; nous dirons seulement ici qu'ils ont quelque analogie, quant à la construction, avec les plates-formes dont nous allons parler, et dont la mise en œuvre sera également détaillée alors.

494. Plates-formes. — Les *plates-formes* servent le plus souvent à former la base de fondation des digues, mais on les emploie aussi à revêtir des côtes affouillées. Voici le détail de la confection d'une plate-forme que nous donnons comme exemple de la combinaison des fascinages, des tunages et des saucissons.

Une plate-forme se compose, en général, de lits de saucissons et de fascines croisés et liés par des cordes goudronnées, dont le dernier est couronné par un tunage.

Les saucissons qui entrent dans sa composition doivent être faits avec les brins de fascines les plus unis, les plus longs et les plus flexibles, disposés de manière que tous les gros bouts se trouvent en dedans et que les plus fines ramilles ornent régulièrement le pourtour. De $0^m,50$ en $0^m,50$ ils sont liés avec une grande hart (*knyband*) et dans ces intervalles avec quatre petites harts (*wiepband*). La longueur des saucissons est déterminée par les dimensions de la plate-forme. Il faut qu'ils soient assez longs pour en dépasser les bords d'environ $0^m,30$.

On construit d'abord, avec des cours de saucissons croisés d'équerre, un grillage dont les cases ont moyennement 1 mètre de côté. On les fait rarement plus grandes, mais il est prudent de les faire plus petites lorsque la plate-forme a une très-grande étendue, afin de lui donner plus de force et de résistance au déchirement.

Les croisements des saucissons sont fixés au moyen d'une corde goudronnée de $0^m,012$ de diamètre, ces ligatures sont faites à tous les croisements des saucissons de rive et réparties en quinconce dans le restant du grillage. A chaque point de ligature on enfonce au travers des deux saucissons un fort piquet *a* (*fig.* 711), à la tête duquel on

---

(1) Sur les rives de l'Escaut, on fait exclusivement usage pour les remplissages en terre, de *terre de schorre* (atterrissements formés au pied des digues du côté du fleuve). Cette terre est très-compacte, argileuse et d'un gris bleuâtre. On la coupe en cubes de $0^m,20$ de côté. On fait usage, de la même manière et sous la même forme, du *gazon de schorre*, mais on le réserve spécialement pour le revêtement des talus des digues.

attache un des bouts du cordage, ces piquets ont en outre pour objet de marquer la position des saucissons et de servir à diriger la pose des lits de fascines dont on les recouvre.

Les croisements de saucissons non reliés par le cordage sont maintenus par des harts.

Sur le grillage que nous venons de décrire, on place dans le sens de la longueur de la plate-forme, et entre les saucissons supérieurs, une couche de roseaux de Hollande (207), en faisant correspondre leurs souches aux saucissons inférieurs.

Sur ce lit de roseaux, on étend une couche de fascines dont on fait correspondre les têtes (gros bouts) aux saucissons supérieurs du grillage, et on les dispose d'ailleurs par rangées et de manière que les gros bouts de l'une soient recouverts par les petits bouts de la suivante. On obtient ainsi une couche d'épaisseur uniforme et sans ressauts, ce qui n'aurait pas lieu si on les posait en sens inverse.

Une seconde couche de fascines, en tout semblable à celle qui vient d'être décrite, est placée ensuite, mais de manière que les fascines recroisent d'équerre celles de la couche précédente.

Cette dernière couche de fascines est à son tour recouverte par un grillage en saucissons en tout semblable au premier. On fait correspondre bien exactement les croisements de l'un et de l'autre en se guidant sur les piquets *a*, puis on réunit fortement les deux grillages au moyen des bouts de corde attachés aux mêmes piquets *a*, qu'on arrache après cette opération comme inutiles.

La première couche de saucissons du grillage supérieur a ses intervalles remplis de fascines qui croisent celles du lit immédiatement inférieur, et la seconde couche de saucissons repose alors sur ce dernier lit de fascines et sur la première couche de saucissons qui s'y trouvent engagés.

Les plates-formes les plus minces se composent (indépendamment des grillages en saucissons) de deux couches de fascines et d'une couche de roseaux ou de trois couches de fascines. Elles ont alors environ $0^{m},50$ d'épaisseur ; mais cette épaisseur peut être portée jusqu'à 1 mètre, en employant un plus grand nombre de couches de fascines. Dans ce dernier cas, toutes les couches ne se croisent pas d'équerre ; de temps à autre, on en place une qui croise diagonalement les autres, on obtient ainsi une liaison plus parfaite.

Quelle que soit du reste l'épaisseur de la plate-forme, on termine sa construction en la couronnant d'un réseau de clayonnages plus ou moins élevés, dans les compartiments duquel on jette le lest qui doit servir à couler la plate-forme, comme cela sera expliqué plus tard. Ces clayonnages s'étendent d'abord en double ligne sur tout le pourtour de la plate-forme où ils forment ce qu'on appelle un *franc-bord* d'environ 1 mètre de largeur, puis à l'intérieur, en lignes croisées, de manière à former des cases de 20 à 40 mètres de superficie. Ces derniers sont ordinairement un peu moins élevés que ceux des franc-bords;

La *fig.* 711 représente dans tous ses détails une plate-forme dans laquelle on remarque :

1° Première couche de saucissons équidistants ;

2° Deuxième couche de saucissons croisant les premiers d'équerre et fortement liés avec eux, comme on l'a expliqué ci-dessus : ces deux premières couches forment le grillage inférieur ;

3° Couche de roseaux ;

4° Première couche de fascines ;

5° Deuxième couche de fascines, d'équerre sur la précédente ;

6° Première couche de saucissons du grillage supérieur, avec intervalles remplis de fascines, marquées 6 ;

7° Dernière couche de saucissons ;

8° Clayonnages.

495. Soins qu'exigent les fascinages en général. — Les travaux de fascinages quoique très-simples en apparence, exigent pourtant une foule de précautions qui dépendent souvent de la nature des lieux. On doit principalement veiller à ce que les fascines soient serrées, autant que possible, les unes contre les autres dans tous les sens, que les piquets soient enfoncés de toute la longueur voulue et munis de leurs clefs ; que les lignes de clayonnages soient parfaitement parallèles et droites ou suivant la courbure voulue ; que les clayons qui les composent soient bien serrés et placés en liaison ; que les terres, les graviers ou les pierres dont on recouvre les tunes, soient parfaitement étendues, damées ou arrangées de manière à offrir le plus de résistance ; que les parements des fascinages ou des tunages de revêtement soient parfaitement dressés.

496. Paillassonnages. — Le *paillassonnage* (*fig.* 712) est un revêtement léger, mais pourtant assez résistant, dont on recouvre souvent les talus des digues.

Il consiste : 1° en une couche de roseaux ou de paille de $0^m,05$ d'épaisseur, dont les brins sont placés dans le sens des lignes de plus grande pente des surfaces à revêtir ; 2° en liens de paille formant des lignes transversales espacées de $0^m,15$ à $0^m,20$ et placés bout à bout dans chaque ligne. Ces liens, de la grosseur du bras, sont enfoncés dans le sol à travers la couche de paille à des distances de $0^m,25$ à $0^m,30$, et pénètrent dans le sol de $0^m,15$ à $0^m,20$. La paille des liens doit être tordue soigneusement à chaque enfoncement.

Il entre par 12 mètres carrés de paillassonnage : 15 bottes de paille de seigle ou de froment, dont 10 pour la première couche et 5 pour les liens, les bottes ayant $0^m,90$ de tour à l'endroit du lien, ou bien 40 bottes de roseaux des dimensions indiquées (207).

Les paillassonnages sont d'un entretien facile, mais il doit être continu : ils durent environ un an s'ils ne sont exposés qu'aux vagues de la mer, mais résistent moins longtemps aux débâcles et crues des fleuves.

Pour enfoncer les liens dans la terre, on fait usage d'une espèce de fourche à deux pointes (*fig.* 713).

COUVERTURES EN MATIÈRES LIGNEUSES.

Ces couvertures ne s'emploient qu'aux constructions passagères ou grossières de la campagne. Nous n'en dirons que quelques mots.

497. Couvertures en chaume.—La charpente du toit est disposée exactement comme pour les toitures en pannes, c'est-à-dire que sur les chevrons sont clouées des lattes ou des perches-lattes, dont la distance varie avec la grandeur des bottes de paille (*javelles*) et la quantité dont on veut qu'elles se recouvrent l'une l'autre, comme elle dépend, dans l'autre cas, de la grandeur et du recouvrement des pannes.

Les javelles, bien peignées, sont d'abord réunies deux à deux, à peu près au tiers de leur longueur à partir du gros bout, par une hart d'osier qui les embrasse en se croisant. L'ensemble de ces deux javelles est ensuite fixée à la perche-latte par une nouvelle hart qui passe entre elles deux et qui embrasse celle qui les réunit. Une succession de javelles jumellées fixées aux perches-lattes bien jointivement l'une contre l'autre forme ce qu'on appelle une *orgne*. Tout le toit se construit par orgnes, dont les éléments sont attachés aux perches-lattes successives et se recouvrent par le bout effilé d'au moins un tiers de leur longueur. L'égout du toit est formé par un *coussinet* en chaume fortement lié par des harts et qui se construit d'une façon analogue aux orgnes. L'épaisseur qu'on lui donne détermine l'inclinaison des orgnes les unes sur les autres. Le faît est formé par des *javelles faîtières*, c'est-à-dire posées à cheval sur les deux pentes du toit. Ces javelles sont liées aux perches-lattes comme les autres, mais on les consolide en outre en les couvrant d'un mortier de terre grasse ou de gazons posés à plat.

Lorsque la couverture en chaume est terminée, on la laisse se tasser pendant environ trois mois, puis on remplit les creux, appelés *goutlières*, produits par le tassement, en insinuant au moyen d'une palette de bois entre les javelles jumelles d'autres javelles simples de remplissage, dont la grosseur est proportionnée au besoin d'épaissir et de serrer le chaume. On peigne ensuite toute la toiture avec un râteau de bois, et l'on coupe avec une faucille tous les brins qui font saillie sur sa surface.

Le même genre de construction sert à former les paillassons et abris provisoires ; seulement, on donne généralement moins d'épaisseur, dans ce cas, à la couche de chaume, ce qu'on obtient en employant des javelles d'une moindre grosseur.

498. Couvertures en roseaux. — On remplace quelquefois le chaume par des joncs ou des roseaux ; mais le système de construction reste le même.

499. Couvertures en bardeaux. — Les couvertures en bardeaux se font comme celles en ardoises. Les *bardeaux* ne sont rien autre chose que des *ardoises de bois*. Ce genre de couverture est peu employé en Belgique.

500. Couvertures en planches. — Les couvertures en planches se font ordinairement en clouant sur les chevrons du toit, et perpendiculairement à leur direction, des planches que l'on place en recouvrement les unes sur les autres à la manière des tuiles ou des ardoises. Ces planches sont clouées sur les chevrons qu'on taille quelquefois en crémaillère, afin qu'elles puissent poser sans porte-à-faux dans toute leur largeur. Ces couvertures se déjettent beaucoup par l'effet alternatif des pluies et du soleil. On amoindrit cet inconvénient en recouvrant les planches au droit de chaque chevron par une latte taillée en crémaillère, qui s'emboîte exactement dans les ressauts du plancher et qu'on relie aux chevrons par des boulonnets.

501. Couvertures en toiles peintes. — Ces couvertures s'appliquent sur une volige

La toile y est attachée avec des clous à tête plate par *lés* horizontaux en recouvrement les uns sur les autres. Chaque lé s'étend d'abord à l'envers sur le dernier lé posé et environ $0^m,013$ à $0^m,018$ plus bas, afin d'en recouvrir le bord par la lisière de ce dernier lé et de former ainsi une espèce d'ourlet de trois épaisseurs de toile que l'on fixe par une ligne de clous. Cela fait, on retourne le lé et on l'étend sur la volige pour le reprendre et le clouer avec le lé suivant de la manière qui vient d'être décrite.

502. Couvertures en carton goudronné. — On fait, depuis un certain temps, usage d'un genre de couverture fort économique et qui paraît très-bon, à en juger par l'extension qu'il a prise. Il consiste en feuilles de gros carton imprégné de goudron, qui se placent à recouvrement les unes sur les autres, soit sur un léger lattis à claire-voie, soit sur une volige clouée sur le lattis. Les feuilles de carton ont généralement $0^m,74$ de longueur sur $0^m,64$ de largeur. Les pièces du lattis en sapin sur lesquelles on les pose ont $0^m,06$ sur $0^m,03$ d'équarrissage et sont espacées de façon que chaque feuille de carton porte sur trois de ces pièces qui sont clouées sur les cours de pannes de la charpente. Les pièces sur lesquelles tombent les milieux des feuilles goudronnées sont entaillées de $0^m,02$ au droit des cours de pannes, de manière qu'étant posées sur trois lattes contiguës, chaque feuille présente un creux de $0^m,02$ dans son milieu et forme ainsi gouttière dans le sens de la pente du toit. Les feuilles sont fixées sur le lattis au moyen de petits clous piqués dans des rondelles de carton, qu'on place à distance de $0^m,05$ les unes des autres. Le recouvrement des feuilles, aussi bien dans le sens de la pente du toit que dans le sens latéral, est de $0^m,03$ à $0^m,04$.

L'emploi des cartons goudronnés sur volige est analogue au précédent, seulement les lignes de feuilles sont séparées les unes des autres par des tasseaux triangulaires en sapin cloués sur la volige dans le sens de la pente du toit, tasseaux sur lesquels les feuilles de carton sont pliées et clouées en recouvrement les unes des autres, ainsi qu'il est dit plus haut. Le recouvrement ainsi formé est lui-même ordinairement recouvert d'une bande de carton de $0^m,08$ à $0^m,10$ de largeur, qui s'étend depuis le faîte jusqu'à l'égout du toit, ce qui donne aux toitures faites de cette manière une grande ressemblance de construction avec les couvertures en zinc sur tringles et tasseaux dont nous parlerons plus loin (523).

Les couvertures en carton goudronné sont fort employées sur les bords du Rhin, pour les bâtiments de stations de chemins de fer. En Belgique, on en a fait d'assez nombreuses applications, dans les environs de Liège et de Verviers. L'emploi du carton goudronné permet de faire des charpentes extrêmement légères, et de donner peu d'inclinaison aux versants des toits ; ces circonstances, jointes au prix peu élevé des cartons, rendent ces sortes de toitures plus économiques que toutes celles qui ont été inventées jusqu'à ce jour.

TROISIÈME SECTION.

EMPLOI DES MATÉRIAUX MÉTALLIQUES.

ARTICLE PREMIER.

ART DU SERRURIER.

503. Préliminaire.—L'art du serrurier pourrait en quelque sorte se définir l'art du charpentier, du menuisier et du tourneur en fer ; car, non-seulement on entend par *ouvrages de serrurerie* tous les petits objets en fer qui servent à la fermeture des habitations, mais les constructions en métal les plus colossales, comme des combles, des portes d'écluse, des ponts, etc., etc. D'ailleurs, dans la serrurerie comme dans les arts qui ont pour objet le travail et la mise en œuvre des bois, le savoir de l'ouvrier s'exerce continuellement à assembler les unes aux autres, après les avoir façonnées, des pièces de fer de diverses formes et dimensions.

Les principes de la composition des charpentes que nous avons exposés au n° 378 sont exactement applicables aux systèmes de serrurerie. Seulement, comme le serrurier fait usage de deux substances (le fer malléable et la fonte) dont le degré de résistance est très-différent, il faut apporter beaucoup de soin à n'en faire usage que dans les meilleures conditions.

L'expérience a appris, comme on le verra dans la troisième partie, que la fonte résiste incomparablement mieux que le fer aux efforts de compression, tandis que le fer résiste beaucoup mieux que la fonte aux efforts d'extension. Il est donc important, quand on compose un ouvrage de serrurerie un peu compliqué, comme une ferme de comble, de pont, etc., de bien se rendre compte de la manière dont les pièces sont sollicitées par les forces qui agissent sur le système, et employer le fer ou la fonte en conséquence. C'est en agissant ainsi que l'on peut aspirer à une véritable perfection.

La fonte, comme on le sait, se coule sous toutes les formes imaginables ; le fer se forge et se soude de manière à prendre, sous le marteau, les formes les plus compliquées. On pourrait donc, à la rigueur, composer tous les objets de serrurerie d'un seul jet, ou sans employer d'autre moyen d'assemblage que la soudure ; mais, pour cela, il faudrait posséder des appareils suffisants pour produire d'un seul coup l'énorme quantité de fonte nécessaire dans certains cas, et suffisamment puissants dans d'autres pour remuer, forger et transporter des pièces d'un poids aussi considérable que celles qui sortent ordinairement par morceaux des grands ateliers de serrurerie, et c'est ce que l'industrie humaine n'a pas encore inventé. Cette seule circonstance suffit pour expliquer pourquoi, malgré les propriétés de la matière, le serrurier est obligé d'avoir recours, dans la plupart des cas, à des méthodes d'assemblage tout aussi compliquées et plus variées encore que celles du charpentier. D'un autre côté, la nécessité de combiner souvent entre elles des pièces de fer et des pièces de fonte, de

donner à certaines parties des formes qui, pour être obtenues commodément, exigent qu'elles soient momentanément isolées, rend encore indispensable le recours aux assemblages dans un grand nombre de cas, alors même que les objets ne sont ni assez volumineux, ni assez pesants pour ne pouvoir être coulés d'un seul jet ou maniés aisément.

Il n'entre pas dans notre cadre d'indiquer comment on moule la fonte, ni comment on forge le fer. Ces opérations ont été décrites dans tous leurs détails et avec l'indication de toutes les précautions dont elles doivent être entourées dans le Cours de métallurgie.

Mais nous donnerons quelques indications sur les divers modes d'assemblage des pièces de métal, parce que l'ingénieur est obligé souvent d'y avoir recours dans les projets qu'il élabore et qu'il ne peut d'ailleurs les coordonner convenablement sans en avoir une connaissance approfondie.

ASSEMBLAGES EMPLOYÉS EN SERRURERIE.

504. Tous les assemblages de la charpenterie se retrouvent dans la serrurerie ; les pièces de fer qui se rencontrent ou se croisent peuvent, comme les pièces de bois, être assemblées à tenons et mortaises, simples ou doubles, avec ou sans embrèvement, en queue d'hironde, par entailles, etc.; celles qui s'assemblent bout à bout sont réunies par des entures analogues à celles qui ont été décrites; enfin les pièces de métal peuvent être jumellées et moisées comme les pièces de bois et au moyen d'assemblages qui ont la plus grande analogie avec ceux précédemment indiqués.

Cependant, à raison des propriétés de la matière qui permet de renfler les pièces sur certains points, de les courber et de les plier aisément sous des angles quelconques sans diminuer leur force, ces assemblages offrent souvent des modifications que nous allons tâcher de faire comprendre.

1° Dans un grand nombre de cas, les assemblages à tenons et mortaises et leurs dérivés sont remplacés par des assemblages à plat-joint. La pièce assemblée présente alors des lèvres ou des retours d'angle de diverses formes qui s'appliquent exactement sur la face de l'autre pièce et qui sont traversées par des goupilles rivées ou par des boulons.

2° Presque toujours au point ou deux pièces s'assemblent, on ménage sur l'une et l'autre pièce des renflements tels qu'elles offrent, en cet endroit, autant de force que partout ailleurs, malgré les entailles et les trous de goupilles ou de boulons.

3° On profite parfois de la propriété du fer de se refouler à froid, pour consolider certains assemblages. Ainsi l'assemblage à mortaise et tenon passant est souvent maintenu par un épatement ou une rivure *a* (*fig.* 715), obtenu par le martelage à froid, et qui maintient le tenon dans sa mortaise mieux parfois qu'une clavette ou une cheville. Les chevilles elles-mêmes, quand on en emploie, sont souvent armées d'une tête ou d'un arrêt d'un côté, et on les refoule de l'autre à coups de marteau, après les avoir chassées dans leur logement. La tête et la rivure peuvent être apparentes sur les faces de la pièce ou être noyées dans son épaisseur.

4° Les tenons et les mortaises, de même que quelques autres assemblages, au lieu d'offrir une section rectangulaire comme dans les pièces de charpente, ont souvent une section circulaire qui permet d'obtenir plus de précision. Dans ce cas, si l'une des pièces est sollicitée à tourner sur l'autre, on creuse sur la face du tenon et sur celle de la mortaise une cannelure demi-circulaire, que l'on superpose lors de la mise en joint, et dans le canal circulaire, ainsi formé, on chasse une goupille *a* qui produit l'effet désiré. La *fig.* 721 représente l'assemblage d'une poulie avec son axe, où l'on a eu recours à ce moyen.

5° Non-seulement le fer se tourne aisément, mais on peut aussi le fileter avec la plus grande facilité; de là l'emploi, dans des cas très-nombreux, de l'assemblage à vis et écrou. Ainsi, l'assemblage ordinaire à tenon et mortaise est souvent remplacé par un assemblage de cette espèce : tantôt l'écrou est percé dans la pièce elle-même qui reçoit le tenon transformé en vis, tantôt le tenon rectangulaire ou cylindrique est *passant* et terminé par un bout fileté, sur lequel se serre un écrou. L'assemblage à vis et écrou se retrouve encore dans les *entures* et dans un très-grand nombre d'autres cas: c'est un des plus usités et des plus solides.

6° On évite souvent les assemblages d'angle en employant des coudes d'un seul morceau, dans les branches duquel s'assemblent de l'une ou de l'autre manière les pièces qui en forment prolongement. Quand on doit y avoir recours, on fait usage de de l'assemblage à tenon et mortaise simple ou maintenu par une rivure, ou bien de l'assemblage à vis et écrou, qui est le plus solide. Les assemblages d'angle employés en charpenterie sont rarement usités en serrurerie, sauf pour des objets légers : ils ne seraient point assez solides dans bien des cas.

Nous avons représenté dans les *fig.* 714 à 769 un grand nombre d'assemblages divers où l'on rencontrera à chaque pas les dispositions qui viennent d'être indiquées. On ne saurait trop s'en pénétrer et s'exercer sur leur emploi, si l'on veut acquérir quelque habileté dans la composition des objets de serrurerie. Nous nous bornerons d'ailleurs à en donner ici la légende ; l'inspection des figures suppléera aux explications.

505. Assemblages de deux pièces, dont l'une rencontre l'autre à angle droit en un point quelconque de sa longueur. — Fig. 714. Assemblage à tenon et mortaise ordinaire.

Fig. 715. Assemblage avec renforts et rivure.

Fig. 716. Assemblage à tenon passant avec clef et renforts.

Fig. 717, 718, 719, 720. Assemblages à vis et écrous. (Les assemblages représentés par les *fig.* 718 et 719 sont vus coupés suivant le plan des axes.)

Fig. 721. Assemblage à tenon circulaire et goupille.

Fig. 722, 723 et 724. Assemblages à plat-joint, maintenus par des boulonnets.

Fig. 725, 726 et 727. Assemblages à enfourchement. Tous ces assemblages peuvent être maintenus par des chevilles ou bien par boulons.

Fig. 728 et 729. Assemblages à douille.

Fig. 730. Assemblages à enfourchement et en queue d'hironde.

Fig. 731. Assemblage en queue d'hironde de deux pièces de fonte. Tous ces assemblages s'appliqueraient également bien à des pièces qui se rencontreraient sous un angle quelconque.

Fig. 732. Assemblage à embrèvement de deux pièces qui se rencontrent sous un angle fort aigu. Cet assemblage est représenté fortifié par une frette; il pourrait l'être par un boulon ou de tout autre manière.

506. Assemblage d'angle. — Fig. 733. Assemblages à tenon et mortaise avec rivure et renfort.

Fig. 734. Assemblage à vis et écrous.

Fig. 735 à 738. Assemblages à plats-joints réunis par des boulons ou des rivets.

Fig. 739, 740 et 741. Assemblages divers au moyen de coudes ou de fers d'angle.

507. Assemblages des pièces qui se croisent. — Fig. 742. Assemblage par entaille simple.

Fig. 743. Assemblage par entaille double. A pièces assemblées, B pièces désassemblées.

Fig. 744. Assemblage à vis et écrou.

Fig. 745. Autre assemblage du même genre.

Fig. 746, *pl.* XXVII. Assemblage de deux pièces de dimensions très-différentes: d'une plaque de fonte, par exemple, et d'un tirant en fer.

Fig. 747. Assemblage au moyen d'une croix à enfourchement ou manchon. On a ndiqué sur chacune des branches de la croix un mode d'assemblage différent, qui pourrait être rendu commun à toutes.

508. Entures. *Fig.* 748 et 749. Entures à plat-joint. *Fig* 750 et 751. — Entures à enfourchement ou en *moufle*. *Fig.* 752 à 759. Assemblages divers à trait de Jupiter. } Ces assemblages son souvent désignés de sous le nom *pistolets*.

Fig. 760. Assemblage à vis et écrous.

Fig. 761. Assemblage à oreille simple et à vis.

Fig. 762. Assemblage à oreille double.

Fig. 763. Assemblage à double vis filetées en sens contraire.

Fig. 764. Assemblages à double écrou, fileté en sens contraire. Ces deux derniers assemblages sont employés pour réunir les diverses pièces d'un tirant qu'il s'agit de tendre ou de bander fortement.

Fig. 765. Assemblage à collier.

Fig. 766. Assemblage à manchon.

Fig. 767. Assemblages divers à coussinet, usités autrefois dans la construction de chemins de fer. On emploie aujourd'hui partout le joint coupé carrément, souvent consolidé par de doubles plaques en fer posées de part et d'autre du rail et fixées par des boulons. Ces plaques portent le nom d'*éclisses*.

Fig. 768. Assemblage à rivets, employé pour réunir les plaques de tôle.

509. Pièces jumellées. — L'emploi des pièces jumellées est beaucoup moins usité en serrurerie qu'en charpenterie, parce que le fer et la fonte ayant une force de résistance bien supérieure à celle du bois, il est rare que l'on ne puisse couler ou forger d'un seul jet les pièces mêmes qui sont exposées aux plus grands efforts. Si l'on avait

cependant besoin d'y recourir, on pourrait imiter les combinaisons employées pour les pièces de bois, en y apportant les modifications dépendant de la nature de la matière. Nous donnons (*fig.* 769), comme exemple, l'assemblage de deux pièces de fonte, destinées à la construction d'un fort balancier de machine à vapeur. Les deux moitiés du balancier porteraient à leurs faces intérieures des ressauts et des renfoncements qui s'emboiteraient les uns dans les autres, et le tout serait serré par de forts boulons convenablement distribués.

510. Pièces moisées. — Les moises se disposent exactement en serrurerie comme en charpenterie, à quelques légères modifications près, qui se doivent comprendre après ce qui a été dit plus haut.

Nous avons évité de reproduire, dans les exemples qui précèdent, un grand nombre d'assemblages employés en charpenterie, et qui n'en sont pas moins usités pour cela en serrurerie, quoique plus rarement pourtant que ceux que nous avons représentés : par exemple, tous les dérivés des assemblages à tenon et mortaise, en queue d'hironde, par entaille, etc. Cette observation tiendra lieu d'une répétition qui eût pu être fastidieuse.

511. Observations. — En général, lorsqu'on doit assembler deux pièces, il faut commencer par se rendre exactement compte de la direction et de la grandeur des efforts qui tendent à les désunir, et employer le moyen de réunion qui offre le plus de résistance à cette désunion. Il faut que le système ait au moins autant de résistance dans ces points d'assemblages que partout ailleurs. L'étude de la résistance des matériaux fournira des moyens d'appréciation assez exacts à cet égard. On doit d'ailleurs adopter toujours les dispositions les plus simples dans chaque cas spécial, et lorsqu'on est obligé d'avoir recours à des complications d'endents ou de ressauts de tout genre, il faut s'assurer si chacun de ces endents ou de ces ressauts est en particulier susceptible de résister suffisamment à la part d'effort qui lui est répartie ; sans cela, l'assemblage pourrait bientôt se détraquer par morceaux, malgré tout le soin qu'on aurait apporté à son exécution.

Nous croyons inutile de faire observer que les assemblages de serrurerie, aussi bien que ceux de charpenterie, ne sont solides qu'à la condition d'être exécutés avec une grande précision. Les ingénieurs chargés de la construction de grands travaux de de serrurerie ne sauraient donc apporter trop de soin à la vérification de cette partie importante.

512. Levage des grandes charpentes. — Assez souvent les grandes charpentes en métal, comme celles en bois, se montent à plat sur le sol, ou sur un plancher, à l'endroit où elles doivent être posées. On les redresse ensuite par un quart de conversion, et on les élève toutes montées, au moyen de bigues, de chèvres ou d'autres machines de ce genre. D'autres fois on est obligé de les assembler sur des échafaudages très-compliqués à la place même qu'elles doivent occuper. Ces diverses opérations dépendent trop d'une foule de circonstances locales pour qu'on puisse en dire davantage d'une manière générale. L'intelligence de l'ingénieur et ses connaissances en mécanique doivent suppléer au vague que comporte naturellement un tel sujet.

513. Principaux outils. — Les principaux outils de serrurier sont :

1° Pour forger le fer et l'acier :

L'*enclume* (*fig.* 770), masse de fer sur laquelle on forge les pièces.

La masse de l'enclume est recouverte d'une forte table d'acier bien soudée et bien dressée. L'enclume repose solidement sur un billot bien enfoui, inébranlable. Il y a des enclumes massives et carrées : d'autres sont façonnées en console ; d'autres se terminent par une pointe ronde ou carrée que l'on nomme *bigorne*. Les enclumes ordinaires pèsent de 250 à 300 kilogrammes.

La *bigorne* (*fig.* 771). C'est une petite enclume terminée par deux pointes allongées, dont l'une est ordinairement carrée et l'autre ronde. Au lieu d'être simplement posée sur un billot, la bigorne y est fixée comme un ciseau dans son manche, au moyen d'une *soie*. Les bigornes pèsent de 100 à 150 kilogrammes. On nomme *bigorneau* une très-petite bigorne que l'on fixe sur un établi, ou que l'on saisit entre les mâchoires d'un étau.

Des *tenailles*, de formes très-variées, pour saisir le fer pendant qu'il est chaud, et pour le manier aussi commodément que possible. En général, une tenaille est formée de deux leviers du premier genre, réunis par une rivure, de manière à ce que les deux bras soient de grandeurs très-différentes.

Des *marteaux*, présentant ordinairement une *tête* d'un côté et une *panne* de l'autre. La panne peut être parallèle ou perpendiculaire au manche ; dans le premier cas, le marteau est dit *à traverse*, dans le second, *à panne*. Quelquefois la panne est remplacée par une tête ; le marteau est dit alors à *tête*. Les marteaux à forger pèsent de 2 à 9 kilogrammes.

Des *chasses* et des *étampes*. On appelle *chasses* (*fig.* 772, 773, 774, 775 et 776) des espèces de marteaux à tête, terminés d'un côté par une plaque d'acier soudée, parfaitement polie. Tantôt cette plaque est tout à fait plane et à vives arêtes (*fig.* 772), et tantôt elle offre une courbure concave ou convexe (*fig.* 773 à 776). Ces instruments servent à donner une forme plus exacte qu'on ne pourrait l'obtenir avec les marteaux ordinaires, à certains creux ou saillies. Le bout de la chasse se pose sur l'objet, et l'autre reçoit les coups de masse. Les *étampes* ne diffèrent des chasses qu'en ce qu'elles ne sont pas emmanchées.

Des *mandrins*. Ce sont des pièces de fer de diverses formes, rondes, carrées, ou de toute autre section, sur lesquelles on forge les pièces creuses. La section du mandrin est la même que celle du creux de la pièce.

2° Pour percer le fer et l'acier :

Des *poinçons*, tiges de fer acérées, de diverses formes, qui servent à percer *à chaud*. Ces poinçons sont quelquefois emmanchés comme celui représenté (*fig.* 777).

Des *forets* (*fig.* 778). Ce sont des tiges en acier, terminées par une pointe conique d'un côté et par un tranchant, trempé dur, de l'autre, qui servent à percer, *à froid*, des trous de petite dimension. Elles sont emmanchées suivant l'axe d'une bobine en bois, appelée la *boîte*, à laquelle on communique un mouvement de rotation très-vif par le moyen d'un archet *b*, dont la courroie fait un ou deux tours sur la bobine.

L'instrument est complété par un plastron *a*, appelé *conscience*, que l'ouvrier place sur sa poitrine, et avec lequel il pousse fortement contre le foret, tandis que de la main droite il le fait vivement tourner en imprimant à l'archet un mouvement de va-et-vient.

Des *machines à forer* (*fig.* 779). Ces machines consistent en un fort vilebrequin en fer, sur lequel s'emmanchent des forets de diverses grandeurs, et que l'on place, pour le faire agir, sous une espèce de forte potence en fer, munie d'une vis de pression que l'on tourne au fur et à mesure du percement du trou. Cette potence est quelquefois simple et placée sur un établi, comme on l'a représenté dans la figure ; d'autres fois, elle est double et terminée inférieurement par des griffes qui lui permettent d'embrasser l'objet à forer, ou les mâchoires de l'étau dans lequel il est saisi. Ces machines servent à percer la fonte aussi bien que le fer et l'acier.

3° Pour couper le fer et l'acier :

Des *tranches* (*fig.* 780). Ce sont des espèces de marteaux tranchants, sur lesquels on frappe avec une masse. Le *tranchet* (*fig.* 781) est un petit prisme triangulaire en acier, servant au même usage, et qui se place dans un trou pratiqué dans la table de l'enclume. Dans ce cas, l'opération est inverse de la précédente ; on frappe sur la pièce à couper, après l'avoir posée sur le taillant du tranchet.

Des *cisailles* (*fig.* 782). Grands ciseaux très-solides qui servent principalement à découper la tôle.

Des *burins*. Espèces de ciseaux en fer aciéré, dont le tranchant est trempé dur et qui servent à couper la fonte aussi bien que le fer. Il y en a d'un grand nombre d'espèces.

4° Pour polir le fer, l'acier et la fonte :

Des *limes* de diverses formes et dimensions. Il y en a de rectangulaires et de carrées, de rondes ou en *queue de rat*, de demi-rondes, de triangulaires ou *tiers-points*. On en distingue de *rudes*, de *bâtardes* et de *douces*. Les premières servent à dégrossir, et les dernières à donner le fini. Les objets à limer sont ordinairement saisis dans les mâchoires d'un fort étau fixé contre un établi.

5° Pour tourner le fer, on emploie un tour à pointes ou un tour en l'air, semblables en tout à ceux décrits précédemment (481 et 482), mais construit d'une manière plus solide.

6° Pour *tarauder* et *fileter* le fer, on fait usage de *filières* et *tarauds*. Les filières consistent généralement en une plaque d'acier, fortement trempée, percée d'écrous de divers pas et diamètres et terminée par des leviers ou tourne-à-gauche, sur lesquels on agit pour faire mordre l'instrument. Quelquefois la filière offre la disposition représentée (*fig.* 783). Deux mâchoires en acier filetées et fortement trempées sont maintenues, à coulisse, dans un châssis en fer, armé de leviers. Ces mâchoires peuvent être rapprochées l'une de l'autre par une vis de pression, de manière à former des écrous de divers diamètres. Les filières de cette espèce sont désignées sous le nom de *filières anglaises*. Les tarauds sont des cylindres en acier, dans lesquels on a creusé des pas de vis correspondant à ceux des écrous des filières. On les fait agir par l'intermédiaire d'un tourne-à-gauche qu'on engage dans la partie carrée par laquelle ils sont terminés, à l'opposite de celle qui est ronde et filetée (*fig.* 784).

Dans les grands ateliers, une partie des opérations pour lesquelles ces outils sont

nécessaires, s'exécutent au moyen de machines assez compliquées. Nous ne pourrions décrire, même sommairement, ces machines, sans outre-passer les bornes de notre cadre. Qu'il nous suffise de savoir qu'aujourd'hui l'on peut, au moyen de ces machines, raboter, polir, tourner, couper, scier, aléser, percer le fer, la fonte et l'acier, mieux peut-être que les bois les plus fins et les plus précieux. On pourra s'en convaincre, en passant quelques heures dans les merveilleux ateliers de Seraing, ou en considérant ces belles machines locomotives, dont toutes les pièces, polies comme la surface d'un miroir, sont ajustées avec une véritable perfection mathématique.

ARTICLE II.

ART DU PLOMBIER, DU FERBLANTIER, DE L'OUVRIER EN CUIVRE ET EN ZINC, ETC.

514. Travaux qui sont de leur ressort. — Nous n'avons que peu de chose à dire sur ces différents arts industriels, leurs principales opérations ayant été décrites *in extenso* dans le *Cours de chimie appliquée*. Nous donnerons seulement quelques explications sur divers travaux qui exigent leur concours dans la construction des édifices.

Le plombier fabrique et fournit principalement des tuyaux de conduite de divers diamètres, des corps de pompe et autres objets du même genre.

Le ferblantier exécute des tuyaux de descente et des chéneaux de gouttière.

L'ouvrier en cuivre fournit aussi des tuyaux de conduite, des corps de pompe, et en outre toutes les pièces de serrurerie qui entrent dans la construction des intérieurs des magasins à poudre et de quelques autres bâtiments soumis à certaines émanations qui attaqueraient trop promptement le fer.

L'ouvrier en zinc fournit les mêmes objets que l'ouvrier en cuivre, à la différence de matière près.

Les pièces moulées en cuivre ou en zinc sont rarement assez volumineuses pour devoir être composées de plusieurs morceaux. Ordinairement elles sont coulées d'un seul jet, puis limées, polies, alésées ou percées suivant le besoin. Lorsqu'elles sont formées de plusieurs pièces, on a recours aux assemblages usités dans la serrurerie.

Tous les autres objets, quel que soit le métal employé à leur confection, sont ordinairement formés de lames plus ou moins épaisses, contournées en cylindre circulaire, ou autrement, et dont les extrémités sont réunies par des soudures.

Le contournement des lames s'opère ordinairement à froid avec la plus grande facilité, vu leur peu d'épaisseur et la malléabilité de la matière, sur des enclumes ou des bigornes de forme convenable, et par le moyen de marteaux de bois ou de fer à panne arrondie et parfaitement polie. Le zinc seul, métal très-aigre, demande parfois à être plié à chaud.

515. Soudures. — Les soudures se font avec les alliages de plomb et d'étain que

nous avons indiqués dans la première partie. L'attention de l'ingénieur doit surtout se porter sur cette partie des ouvrages en métal, car c'est ordinairement par là qu'ils périssent ou qu'ils donnent lieu à des réparations fréquentes et coûteuses.

L'exécution d'une soudure exige les précautions suivantes: Il faut d'abord que les extrémités des feuilles de métal soient coupées avec la plus grande netteté et de manière à se juxtaposer parfaitement sur toute leur longueur; et, en second lieu, que les surfaces sur lesquelles doit s'appliquer la soudure, soient parfaitement décapées. La moindre trace d'oxydation suffit pour empêcher la soudure de prendre. A cet effet, aussitôt qu'une portion de la surface est décapée, on l'enduit d'un corps gras (1).

Pendant qu'on prépare ainsi les lames, on fait chauffer les fers à souder dans un feu de charbon de bois. Ces fers ont diverses formes qui leur permettent d'atteindre les pièces à souder dans les diverses positions; mais en général ils sont formés d'une masse de fer ayant la forme d'un prisme ou d'une pyramide quadrangulaire (*fig.* 785), terminée par une queue qu'on engage dans un manchon en bois de bouleau, au moment même de s'en servir. Lorsque ces fers sont suffisamment chauds, on les retire du feu, on les décape à la lime, puis appliquant dessus le lingot de soudure dont on veut faire usage, on en détermine la fusion, et on transporte la soudure goutte à goutte sur le joint qu'il s'agit de former. Là on l'étend en couche très-mince au moyen du fer, en ayant soin de frotter assez fortement et assez longtemps, pour l'incorporer en quelque sorte avec le métal sur lequel on l'applique. Cette partie de l'opération est la plus importante; le reste consiste à augmenter successivement l'épaisseur de cette couche de soudure en en ajoutant de nouvelles jusqu'à former, dans certains cas, un bourrelet en forme de dos d'âne, et dont on égalise les surfaces avec les mêmes instruments.

COUVERTURES MÉTALLIQUES.

516. Les travaux que nous venons de décrire ne sont pas les seuls du ressort des ouvriers chargés d'appliquer, aux constructions, les matières métalliques; il en est d'autres et de très-importants, qui sont également de leur compétence. Nous voulons parler des couvertures métalliques.

517. Espèces diverses de couvertures en métal. — Les couvertures en métal se font avec des feuilles très-minces de plomb, de cuivre, de zinc, de tôle plombée ou de fer-blanc. Le fer-blanc n'est que fort rarement employé dans nos contrées, où il ne résiste pas à l'oxydation, mais on en fait un grand usage dans les climats plus septentrionaux, où il se conserve bien à l'air. On voit en Prusse, en Pologne et en Russie un grand nombre de dômes et de clochers couverts en fer-blanc très-éclatant, malgré une longue exposition à l'air.

---

(1) Les plombiers emploient ordinairement le suif; les ferblantiers et les ouvriers en cuivre, la colophane. On remplace souvent le décapage des objets en zinc en frottant d'abord les parties à souder avec du sel ammoniac, puis en les humectant avec de l'acide chlorhydrique, et en oudant pendant que les pièces sont encore humides.

La tôle se trouve, à plus forte raison, dans le même cas : elle ne peut résister au corrodage de la rouille, que moyennant un peinturage à l'huile parfaitement entretenu. En Russie, où le fer-blanc résiste si bien, et où l'on emploie aussi beaucoup la tôle peinte, on estime que la peinture doit être renouvelée tous les dix ans. A Liège, où quelques essais de ce genre ont été tentés, on compte que ce renouvellement doit être fait toutes les trois années. La tôle plombée, c'est-à-dire recouverte d'une mince pellicule de plomb, est fabriquée et employée depuis quelque temps en Belgique, elle paraît propre à former des toitures économiques et durables.

Le cuivre n'est aussi que fort rarement employé en Belgique à cause de sa cherté ; le plomb et le zinc sont en définitive à peu près les seuls métaux qu'on emploie de cette manière.

Le plomb est particulièrement réservé à la couverture des terrasses ou des combles tout à fait plats ; on l'emploie alors en lames étirées au cylindre qu'on soude les unes aux autres et qu'on assemble sur un lattis jointif. Le zinc peut s'employer aussi de la même manière, mais son emploi est pourtant préférable sur des combles dont les versants sont suffisamment inclinés pour qu'on puisse assembler les feuilles à *dilatation libre*. Ce dernier mode d'assemblage offre un très-grand avantage sur le précédent.

518. Assemblage à dilatation libre. — Ses avantages. — En effet, considérons une très-grande surface recouverte d'une lame de plomb ou de zinc d'une seule pièce ou formée de plusieurs morceaux réunis par des soudures ; voici ce qui se passera. Lorsque le soleil viendra à darder ses rayons sur une telle surface, le métal augmentera de dimension en tous sens, mais ne pouvant glisser librement sur le lattis, soit en vertu du frottement, soit à cause des clous ou autres moyens d'attache qui l'y fixent, il sera obligé de se rider plus ou moins. Quand, au contraire, la température viendra à baisser, les dimensions de la lame métallique diminueront, et les rides disparaîtront pour se reformer à la première augmentation sensible de température. Or on conçoit qu'un pareil jeu, fréquemment renouvelé, a bientôt déterminé dans le métal des fissures qui donnent accès aux eaux pluviales.

Le même inconvénient n'aurait certainement pas lieu, si la couverture métallique était composée de lames fixées en un point seulement et posant librement et recouvrement les unes sur les autres, à la manière des ardoises ou des tuiles. Mais les lames minces de métal dont on se sert, étant loin d'avoir une rigidité comparable à celle des ardoises, et leur recouvrement devant être beaucoup moindre, elles seraient bientôt soulevées, pliées et tordues par le vent si l'on ne prenait la précaution de les attacher les unes aux autres par des assemblages que nous allons faire connaître.

519. Divers modes adoptés. — Il y a trois manières principales d'assembler les feuilles de zinc à dilatation libre.

On les désigne sous les noms de :

Assemblage à *agrafures simples* :

— à *agrafures doubles* :

— sur *tringles* ou *tasseaux*.

520. Assemblage à agrafures simples. — Nous avons représenté (*fig.* 786) l'assemblage à agrafures simples. Chaque feuille se termine sur ses bords parallèles aux chevrons du toit par deux *boudins* ou *enroulements en spirale a* et *b*, tournés comme on le voit dans la *fig.* 787, et au moyen desquels les feuilles s'agrafent les unes aux autres. Ces boudins doivent avoir au moins $0^m,015$ de diamètre.

La couverture se fait de la manière suivante. On commence à placer vers l'une des extrémités du pan de toit, et tout contre l'égout, une première feuille dans la position A (*fig.* 786). Cette feuille est fixée contre le lattis au moyen de cinq à six clous en zinc à tête plate et, en outre, au moyen d'une ou plusieurs mains *m* (*fig.* 787 et 788) qu'on multiplie selon le degré de fixité qu'on veut donner à la couverture. En général, il est convenable d'en mettre au moins une par mètre courant de boudin. On leur donne ordinairement $0^m,08$ à $0^m,10$ de largeur sur 0^m12 à 13 de longueur développée ; on les fait en zinc fort et on les attache au lattis avec quatre bons clous au moins. Cela fait, on pose une deuxième feuille dans le prolongement de la première, en ayant soin de faire pénétrer ses enroulements en spirale dans ceux de la première, jusqu'à ce qu'elle la recouvre d'une certaine quantité. Ce recouvrement varie avec l'inclinaison du toit ; on le fait d'autant moindre que la pente est plus roide ; il est de $0^m,10$ à $0^m,11$ pour un toit dont l'inclinaison est égale à 2 de base pour 1 de hauteur. Cette seconde feuille est attachée à la volige, de la même manière que la première. Les autres se posent ensuite exactement de même. On forme ainsi une première bande parallèle à la pente du toit et de largeur uniforme. A côté de cette première bande on en place une seconde dont les feuilles sont arrangées et fixées comme on vient de l'expliquer, mais on a soin, de plus, d'engager les uns dans les autres les enroulements contigus et de faire correspondre les milieux des feuilles de la deuxième bande aux joints de celles de la première. On peut continuer indéfiniment de la même façon. On doit avoir soin de disposer les feuilles de telle sorte que le dos des enroulements de recouvrements soit tourné du côté des vents dominants.

521. Inconvénients et avantages de ce premier système. — On reproche à ce premier système de rendre difficile la reconnaissance des fuites qui se manifestent le long des boudins, par suite des malfaçons ou d'accidents, et d'obliger à démonter souvent une grande partie de la toiture pour porter remède à la moindre déchirure ; mais il a pour lui son extrême simplicité et une économie de métal assez marquée.

522. Assemblages à agrafures doubles. — La *fig.* 789 représente un autre mode d'assemblage. Les feuilles sont garnies latéralement de deux relèvements courbes (*fig.* 790 et 791) qui se juxtaposent lors de la mise en place, et qu'on recouvre par un chapeau ou boudin dit *couvre-joint à coulisses*. Les lames et les *couvre-joints* se posent d'ailleurs, comme dans le cas précédent, à recouvrement les uns sur les autres; les lames sont fixées au lattis par des clous et des mains dont la forme est représentée (*fig.* 792). L'assemblage de toutes ces pièces sur le toit se fait d'une manière analogue à celle qui vient d'être décrite.

On a cru, par cette disposition, remédier aux inconvénients du système précédent, puisqu'il suffit, pour visiter les feuilles d'une toiture, d'enlever les couvre-joints ;

mais l'expérience a démontré que ce démontage était lui-même très-embarrassant et très-coûteux et qu'ainsi l'avantage, s'il en a, était très-minime.

523. Assemblage sur tringles ou tasseaux. — La *fig.* 793 représente un troisième mode d'assemblage aujourd'hui fort employé. Les feuilles sont recourbées latéralement, comme dans le mode précédent, mais suivant un angle un peu obtus. Toutefois, au lieu d'être juxtaposées comme tout à l'heure, elles sont séparées par une tringle en bois de $0^m,035$ d'équarrissage en chêne bien sec, ou en bon sapin, clouée sur le lattis du toit dans le sens parallèle aux chevrons. Un couvre-joint, ou chapeau, est fixé sur cette tringle au moyen de vis à bois, dont la tête est recouverte par une goutte de soudure ou par une petite calotte de métal soudée. Le chapeau est recourbé latéralement, comme l'indique la *fig.* 794, et vient presser légèrement les feuilles posées sur le toit, afin de les empêcher d'être soulevées par le vent. Il dispense ainsi de l'emploi des mains, nécessaires dans les cas précédents. La *fig.* 795 représente une autre disposition du même genre, qui paraît meilleure, mais qui est un peu plus coûteuse.

524. Moyens accessoires d'attache. — Les précautions qui viennent d'être indiquées pour retenir les feuilles de métal sur volige sont encore parfois insuffisantes ; et lorsque les bâtiments sont dans des positions peu abritées et soumis à l'action de vents violents, on doit encore les compléter par des agrafes en métal disposées de diverses manières.

La *fig.* 796 présente en *a* une agrafe soudée sur la face supérieure de chaque feuille, à l'endroit où elle reçoit le pied de celle qui lui succède.

En *b* l'on voit une autre agrafe du même genre, mais soudée au-dessous des feuilles et qui sert à les attacher à la volige du toit au moyen de petites entailles pratiquées aux points convenables.

Ces deux modes d'attache sont quelquefois employés en même temps.

On emploie encore des agrafes comme celles représentées (*fig.* 797 et 798) et quelques autres ; mais les précédentes sont d'un meilleur emploi. Quelle que soit d'ailleurs la disposition employée, il faut que ces agrafes soient soudées de manière à ne pas gêner le jeu des dilatations et des contractions, sans cela, il en pourrait résulter des déchirures fâcheuses.

On ne peut au surplus prendre trop de précautions pour soustraire les couvertures métalliques à l'action des coups de vent, et toutes leurs parties doivent être arrangées de manière qu'ils n'aient prise sur aucun point. On doit, à cet effet, soigner tout particulièrement les égouts, les noues, les faîtes et les arêtiers, qu'il est bon de faire avec des lames d'une épaisseur un peu plus forte que le restant de la couverture. On doit y employer du zinc n° 16, tandis que le n° 14 est ordinairement suffisant pour les lames de la couverture.

Nous avons indiqué (*fig.* 799 à 802) quelques dispositions employées pour fixer le pied des feuilles de rive ou d'égout.

La *fig.* 803 donne l'indication de l'arrangement des feuilles dans une noue, et les *fig.* 804, 805 et 806 offrent diverses dispositions employées pour la couverture des faîtes et des arêtiers. Ces dispositions n'étant, pour ainsi dire, que la reproduction de celles qui ont été précédemment expliquées, les figures les feront suffisamment com-

prendre. Les intersections des plaques de faîte et d'arêtiers avec les saillies ou boudins transversaux de la couverture des pans de toit doivent être taillées avec la plus grande justesse et être soudées avec le plus grand soin. On prend en outre la précaution de recouvrir l'ensemble des soudures en ces points par une calotte *étampée*, de forme convenable, et soudée elle-même aux lames sous-jacentes. Le recouvrement des lames faîtières et arêtières sur les feuilles des pans doit être au moins égal à celui des feuilles les unes sur les autres. Ces lames peuvent être fixées sur la charpente soit au moyen de clous à tête plate, couverts par une goutte de soudure, soit par des mains doubles, semblables à celles représentées en *a* (*fig.* 804 et 807),

525. Coupe-larmes. — L'action du vent, jointe à l'action capillaire, ferait souvent remonter l'eau entre les feuilles au point de venir mouiller la volige. Pour parer à cet inconvénient, on emploie quelquefois la disposition en *coupe-larmes*, qui se trouve représentée sur *fig.* 799, 800, 801, et 808. Chaque feuille est repliée d'une petite quantité à ses extrémités, de manière à ce que les surfaces de joint soient un peu éloignées l'une de l'autre. Cette disposition, tout en ayant l'avantage d'annihiler les effets de la capillarité, paraît donner plus de prise à l'action du vent, et exige conséquemment qu'on multiplie les mains et autres moyens d'attache.

526. Observations. — Quel que soit le mode de construction adopté, les feuilles de couverture sont posées et fixées sur un lattis semblable à celui des toits en ardoises, c'est-à-dire, fait en voliges de sapin ou de bois blanc d'au moins $0^m,015$ d'épaisseur, et qui, pour bien faire, ne doivent pas avoir plus de $0^m,12$ à $0^m,15$ de largeur. Lorsqu'elles sont plus larges, elles se tourmentent et faussent souvent les boudins et les feuilles, ce qui est une cause active de détérioration. On fait quelquefois le lattis à claire-voie, mais cela a le grave inconvénient d'offrir des places où le zinc est en porte-à-faux et finit par s'affaisser et se gercer par l'effet des dilatations. Cette disposition doit être évitée dans les constructions soignées, seulement on peut ménager un très-petit intervalle entre les voliges, afin de leur laisser le jeu nécessaire et de les empêcher de se cambrer par l'effet des variations de l'état hygrométrique de l'atmosphère.

On a fait usage, à Paris, de véritables tuiles ou ardoises en zinc, dont les formes sont indiquées (*fig.* 809 et 810). Les unes (*fig.* 809) sont planes, mais munies de rebords cylindriques *a*, *b*, de coupe-larmes *c*, *d*, et d'une agrafe *f*. Les autres (*fig.* 810) sont cannelées et armées en dessous et latéralement d'agrafes *a*, qui les empêchent de se soulever et de se séparer. Les unes et les autres portent des trous, ou des oreilles percées de trous, pour les fixer sur le lattis, dont la forme est telle qu'on puisse les accrocher aux clous et les décrocher avec la plus grande facilité.

Les couvertures exécutées au moyen de petites feuilles de cette espèce n'offrent pas des avantages bien constatés sur les couvertures à grandes feuilles, et elles ont l'inconvénient d'être, en général, plus chères.

Le premier système à grandes feuilles et à simple enroulement est celui qui coûte le moins, et il est d'un fort bon usage lorsqu'on y a apporté tous les soins désirables. On n'en a pas employé d'autres dans un grand nombre d'édifices de Bruxelles et des autres villes de la Belgique, où l'on a fait usage de couvertures en zinc, et l'on n'a pas lieu de s'en plaindre.

527. Moyen imaginé par les Anglais pour augmenter la rigidité des feuilles de métal.— Les Anglais ont imaginé, il y a quelques années, un moyen très-simple pour donner aux feuilles minces de métal une très-grande rigidité. Ce moyen consiste à les gaufrer. Ils ont fait ainsi des toitures en tôle gaufrée, dans lesquelles ils ont supprimé non-seulement le lattis, mais le chevronnage du toit. Les feuilles de tôle gaufrée sont clouées ou agrafées, par leur extrémité supérieure, à des cours de pannes horizontaux, et sont placées en recouvrement les unes sur les autres, à la manière des pannes ; les gaufrures laissent en outre une grande liberté de jeu à la dilatation latérale. Nous avons représenté (*fig.* 811) un fragment de toiture de cette espèce. Les lames de tôle gaufrée sont représentées fixées chacune par 4 clous aux cours de pannes. Pour empêcher qu'elles ne puissent être soulevées par le vent, on a placé au bas de chaque feuille un crochet *b*, fixé par un rivet au pied et au-dessous de chaque lame.

On a fait, avec des tôles de cette espèce, des toitures cintrées de 12 à 15 mètres de portée sans aucune pièce de charpente intérieure. Ces toitures, que l'on voit notamment aux docks de Londres et à la gare d'arrivée du chemin de fer de Blackwall à Londres, ne pourraient être mieux comparées qu'à un fragment d'une immense chaudière. Les feuilles sont assemblées les unes aux autres à recouvrement et au moyen de rivets. Elles sont trempées à chaud dans un bain de goudron ou d'huile de baleine pour les rendre plus résistantes à l'action de la rouille ; elles sont en outre couvertes à l'intérieur et à l'extérieur de trois ou quatre couches de peinture à l'huile, qu'on entretient avec soin.

Ce procédé pourrait être appliqué, sans aucun doute, aux feuilles de zinc de grande dimension, comme on l'a déjà fait à celles de petite surface, et nous sommes surpris qu'on ne l'ait pas encore essayé. Les feuilles de zinc offriraient sur les lames de tôle l'immense avantage de dispenser de l'entretien fort coûteux de la peinture (1).

On conçoit du reste qu'il n'y a pas le moindre inconvénient à assembler fixement les lames les unes aux autres quand on donne à l'ensemble la forme d'un couvercle cintré et isolé. Les variations de longueur ne sont plus contrariées comme quand les lames sont posées sur une volige. Il en résulte seulement des variations imperceptibles dans la courbure du couvercle, qui ne peuvent plus avoir les mêmes inconvénients.

APPENDICE A LA DEUXIÈME PARTIE.

ART DU PEINTRE EN BATIMENTS.

528. Préliminaires. Les murs, les boiseries et les ferrures qui entrent dans la composition d'un édifice, sont souvent peints et quelquefois vernis. Cette opération a pour

(1) Cette observation était faite en 1847. Le gaufrage en grand des feuilles de zinc a été effectué depuis, on s'en est bien trouvé.

objet de les soustraire à l'action destructive de l'atmosphère ou de leur donner un aspect plus agréable à l'œil.

Dans ce dernier cas, l'opération rentre dans le domaine du décorateur, art qui exige non-seulement la connaissance parfaite des couleurs et des procédés d'emploi, mais encore des connaissances artistiques qui ne sont pas de notre domaine.

Nous nous proposons, dans ce qui va suivre, de donner quelques explications sur la composition des peintures les plus généralement employées dans le premier cas, ainsi que sur les précautions qu'il faut observer en les appliquant.

Les couleurs qu'on emploie à la peinture des bâtiments dans un intérêt de conservation sont généralement les couleurs *à l'huile* et *en détrempe* ; on fait usage, dans la même vue, du *goudron* et des *vernis*.

529. Goudronnage. — Le goudron, quoique spécialement réservé à l'enduit des bois de charpente exposés aux intempéries de l'air, tels que ceux des palissades, des ponts, des estacades, etc., s'applique également bien sur les murs exposés aux pluies. On l'étend bouillant au moyen d'une brosse, par couches minces, qu'on tâche de faire pénétrer, autant qu'on le peut, dans toutes les fentes du bois, de la maçonnerie ou du crépi. Ordinairement on applique ainsi trois couches l'une sur l'autre, attendant que la première soit sèche avant de passer à l'application de la seconde, et ainsi de suite pour les autres. Autant que possible on ne doit employer à ce genre de peinture que le *goudron minéral*; le goudron végétal est assez soluble dans l'eau pour être rapidement entraîné par les pluies.

Il faut environ un tiers de litre de goudron pour peindre en trois couches un mètre carré de bois, qui a déjà été groudonné, et un demi-litre pour couvrir une égale superficie de bois neuf.

Lorsque le goudronnage s'exécute sur des parois en planches ou en charpente, qu'on veut rendre tout à fait *étanches*, c'est-à-dire en état de refuser tout passage aux infiltrations, après avoir étendu la première couche de goudron, ainsi qu'on vient de le dire, on procède au *calfatage* et au *brayage*. Le *calfatage* consiste à introduire de l'étoupe goudronnée dans tous les joints et dans toutes les fentes du bois, et à l'y tasser fortement au moyen d'un ciseau plat, semblable à ceux qui servent à la taille des pierres, mais non tranchant. On ne cesse l'opération que lorsque la fente refuse de recevoir l'étoupe sous l'action d'une percussion assez vive.

Le *brayage* consiste à enduire tous les joints et les fentes calfatées avec du *brai* liquéfié par la chaleur. Le *brai* est un bitume privé de la plus grande partie des huiles essentielles qui le tiennent naturellement à l'état liquide. Il est noir et solide à la température ordinaire, mais il se ramollit et se liquéfie même tout à fait à une température peu élevée. On l'étend, comme le goudron, avec une brosse un peu rude.

530. Peinture à l'huile. — Les couleurs les plus généralement employées pour a peinture à l'huile sont :

Le blanc,
Le noir,
Le gris plus ou moins foncé.

Le jaune plus ou moins foncé,
Le bleu plus ou moins foncé,
Le vert plus ou moins foncé,
Le rouge plus ou moins foncé.

Ces couleurs s'obtiennent en incorporant dans de l'huile de lin, de noix ou d'œillette, diverses substances réduites en poudre impalpable.

Voici celles des substances qu'on emploie le plus souvent.

531. Couleurs blanches. — 1° La *craie blanche*, sous-carbonate de chaux purifié par une trituration prolongée et des lotions répétées. Elle se vend en Belgique sous formes de petits pains cylindriques et sous le nom de *petit blanc*. C'est une couleur fort grossière, qu'on n'emploie jamais aux constructions soignées, mais que les entrepreneurs cherchent souvent à mélanger avec les blancs de plomb dont on doit faire exclusivement usage comme étant les plus solides.

2° La *céruse* ou *blanc de plomb*, le *blanc de Krems*, le *blanc d'écailles*, etc. Ce sont des carbonates de plomb plus ou moins purs et mélangés de craie blanche ou de sulfate de baryte (substance blanche et très-pesante). Ces mélanges ont assez souvent l'inconvénient de faire jaunir la couleur en très-peu de temps, à cause des oxydes de fer qu'elles contiennent presque toujours. Toutefois, le sulfate de baryte, lorsqu'il est très-pur, donne à la céruse une propriété précieuse (l'opacité), qui fait qu'on en introduit ordinairement de très-fortes proportions dans le mélange.

Le *blanc d'écailles* est le carbonate de plomb pur. Quoique ce soit sans contredit le meilleur, il est peu employé par le peintre en bâtiments, parce qu'il *couvre* peu, c'est-à-dire qu'il n'a pas l'opacité des autres blancs, et qu'il en faut conséquemment une plus grande quantité pour couvrir une surface donnée. On lui préfère presque toujours, pour les peintures soignées de l'intérieur, le *blanc de Krems* fabriqué avec du plomb très-pur, dans lesquels il entre une assez forte quantité de sulfate de baryte très-pur, qui procure à la couleur l'opacité qui lui manque. A l'extérieur on fait usage de *céruse*. On en distingue de trois qualités dans le commerce, d'après la finesse de leur grain, la pureté et la quantité de matières étrangères qu'elles contiennent. La céruse de Hollande contient jusqu'à 3 pour un de sulfate de baryte.

La *céruse* se vend ordinairement en petits pains coniques pesant environ 1 kilogramme.

Le *blanc de Krems* se débite en pain ayant la forme d'un tronc de pyramide très-aplati et pesant moyennement un demi-kilogramme. Enfin le *blanc d'écailles* se vend en écailles plus ou moins grandes et épaisses, comme son nom l'indique.

Le degré de pureté de ces diverses matières peut aisément se reconnaître au moyen d'un essai chimique, qui devient très-compliqué lorsqu'on veut avoir des données positives. Il est plus simple et plus commode, pour la pratique, de faire bien broyer avec une même espèce d'huile les diverses qualités de blancs que l'on veut comparer, de les étendre ensuite en bandes régulières sur un carreau de vitre et de voir ce qu'elles deviennent après un certain temps d'exposition à l'air.

Les meilleures qualités sont celles qui jaunissent le moins. Ce mode d'essai peut

être appliqué à toutes les couleurs. Les plus mauvaises qualités sont celles qui s'altèrent le plus sous l'action de la lumière.

3° Le *blanc de zinc* ou *blanc d'argent*. Ce blanc, dont l'usage se répand de plus en plus et qui n'a pas, comme les blancs de plomb, l'inconvénient d'être très-vénéneux, est de l'oxyde de zinc plus ou moins pur. Ce blanc jaunit moins que des précédents, mais il est plus léger.

532. Couleurs noires. — Les couleurs noires les plus employées sont :

1° Le *noir de fumée* ;

2° Le *noir d'ivoire*.

Ce sont des charbons très-divisés, produits par la combustion de certaines substances végétales ou animales. Le *noir de fumée* est ordinairement le produit de la combustion de houille très-grasse et fuligineuse opérée dans un courant d'air très-vif. Le *noir d'ivoire* est le produit de la distillation, en vases clos, de tournures d'ivoire, soumises ensuite à une trituration plus ou moins prolongée.

Le noir d'ivoire est plus solide, mais aussi beaucoup plus cher que le noir de fumée. On en réserve l'emploi pour les peintures fines.

Les *gris* sont obtenus par des mélanges différemment dosés de *noir* et de *blanc*.

533. Couleurs jaunes. — Un grand nombre de substances minérales et végétales fournissent des couleurs jaunes ; mais le peintre en bâtiments n'emploie que celles fournies par des matières minérales.

Celles dont il fait le plus communément usage sont :

1° L'*ocre jaune* ou *jaune de mars*. On appelle *ocres*, en général, des argiles colorées en jaune plus ou moins foncé par l'hydrate d'oxyde de fer, et d'ailleurs suffisamment fines. Les ocres sont ternes, opaques, friables, douces au tact et savonneuses. Elles happent à la langue et exhalent, quand on les humecte, une odeur argileuse très-forte. Celles qui sont de bonne qualité sont grasses et se broient aisément, tandis que celles qui sont sèches ou sablonneuses se broient très-difficilement et sont beaucoup moins estimées. L'ocre jaune supporte très-bien le mélange avec le blanc, de manière à fournir des *teintes jaunes* plus ou moins foncées. Elle se vend dans le commerce en briques irrégulières ou en poudre.

2° Les *jaunes de chrome*. Ces jaunes sont des chromates de potasse ou de plomb ; on en trouve d'un jaune-serin très-vif, et d'un jaune orangé très-riche de ton. Ces couleurs sont employées beaucoup plus rarement que la précédente dans la peinture en bâtiment. Elles sont plus chères et beaucoup moins solides. Mélangées avec le blanc, elles changent très-rapidement.

534. Couleur bleue. — La seule substance que le peintre en bâtiments emploie pour produire la couleur bleue, est le *bleu de Prusse* (cyanure double de fer protocyanuré et de fer sesquicyanuré). C'est de tous les bleus celui qui a le plus d'intensité et qui foisonne le plus. Il suffit d'en ajouter 1 gramme à 90 grammes de blanc de céruse pour obtenir la teinte bleue de ciel. Le bleu de Prusse, lorsqu'il a été broyé avec de l'huile, demande à être employé de suite. Lorsqu'on tarde quelque temps à le mettre en œuvre, il s'épaissit, devient visqueux et très-difficile à étendre. Cette couleur est

complétement détruite par les eaux salpêtrées qui suintent quelquefois des murs ; mais dans toutes les autres circonstances elle est généralement solide. Le bleu de Prusse s'emploie presque toujours mélangé avec le blanc. Ce mélange est assez solide, mais il verdit avec le temps. Le bleu de Prusse, mélangé avec les jaunes, donne des verts plus ou moins intenses. Ceux produits par le mélange avec les jaunes de chrome sont magnifiques mais peu solides.

Le bleu de Prusse se trouve dans le commerce en petits pains cubiques : on recherche celui qui présente, étant sous cette forme, un aspect velouté et une belle teinte violette.

535. Couleurs vertes. — Le commerce fournit un grand nombre de verts. Les plus employés sont :

1. Le *verdet* et le *vert-de-gris*, sous-acétates de cuivre. Cette couleur est peu solide ; elle ne souffre pas le mélange avec le blanc. Le *verdet* se trouve dans le commerce en cristaux rhomboïdaux réguliers et d'un fort beau vert foncé, tirant sur le noir. Le *vert-de-gris* se vend en pains pesant de 58 à 98 hectogrammes.

2. La *terre verte*. On en distingue de deux espèces : la *terre verte de Vérone*, qui n'est employée que par les artistes et les décorateurs, et la *terre verte de Chypre*, dont font parfois usage les peintres en bâtiments. C'est une substance terreuse d'un vert sale, se délayant assez difficilement dans l'eau.

536. Couleurs rouges. — Les couleurs rouges les plus employées sont :

1° Le *minium*. C'est présumablement, d'après M. Dumas, un mélange ou un composé de peroxyde et de protoxyde de plomb ; il est d'un rouge éclatant et orangé. On en fait un très-grand usage dans la peinture en bâtiments ; on l'emploie toujours sans mélange avec d'autres couleurs.

Le minium est souvent falsifié dans le commerce par de la poudre de brique ou du colcothar, autre couleur rouge dont nous allons parler ; mais il est facile de constater ces falsifications : on étend du minium sur une plaque de tôle et on le chauffe au rouge. S'il est pur, il devient d'une couleur jaune homogène. S'il reste au contraire piqué de rouge, c'est une preuve de la présence de substances étrangères (1).

2° Le *rouge d'Angleterre* ou *colcothar*. C'est une espèce d'ocre rouge, c'est-à-dire une argile fine rougie par la présence d'une certaine dose de peroxyde de fer. Cette couleur est solide et très-foisonnante. Elle est fort employée. Elle est d'un rouge sombre.

On recherche le colcothar d'un rouge homogène ; on doit refuser celui dans lequel on rencontre des points noirs, qui est de qualité inférieure. L'ocre jaune, soumise à une torréfaction convenable, se transforme en ocre rouge ; mais sa nuance est moins foncée que celle du colcothar, qui se prépare en Angleterre par des procédés qui sont peut-être encore un secret. L'ocre rouge couvre moins que le rouge d'Angleterre, mais elle est aussi solide.

---

(1) Chauffé au rouge, le minium se transforme en effet en litharge (protoxyde de plomb) qui est jaune. La brique et le colcothar conservent leur couleur primitive.

537. Compositions des teintes. — Le petit nombre de couleurs que nous venons de mentionner suffisent pour produire un très-grand nombre de teintes par leur mélange en diverses proportions. Nous avons déjà indiqué celles produites par le mélange du blanc et du noir, du jaune et du bleu, etc.

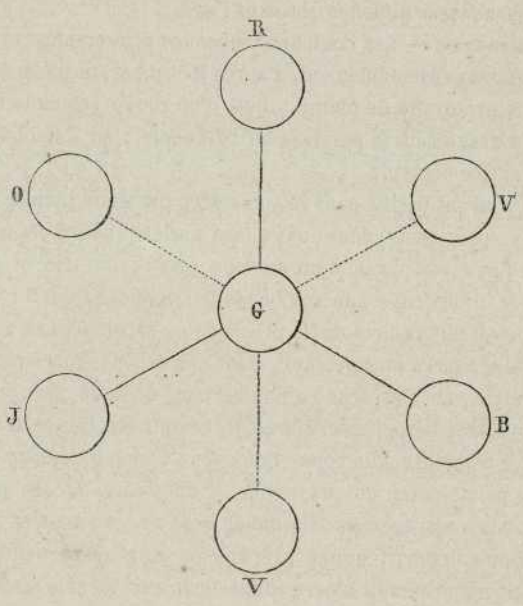
Une pointe de rouge, ajoutée au gris, leur procure des tons chauds qu'ils n'ont pas naturellement. Des mélanges de jaune, de bleu et de rouge donnent encore des *gris* de diverses nuances : le jaune mélangé au rouge donne l'orange ; on obtient le violet en mélangeant le rouge au bleu, etc.

En général, le principe de la composition des teintes repose sur cette remarque : qu'il n'y a dans le spectre solaire que *trois* couleurs simples :

Le rouge,
Le jaune,
Le bleu,

lesquelles, combinées ensemble, produisent toujours le *gris* de diverses nuances, et qui, combinées deux à deux, produisent l'*orangé*, le *vert*, et le *violet*, dont la nuance se rapproche de la couleur simple qui prédomine, et d'autant plus que les proportions sont plus inégales.

La figure ci-dessous rendra cela sensible, et servira à le graver dans l'esprit.



A l'extrémité des lignes pleines GR, GJ, GB, nous avons peint dans un petit cercle l'une des trois couleurs simples. A l'extrémité des trois lignes pointillées GO, GV, et GV', tracées dans le prolongement des premières, nous avons peint de la même manière la teinte résultant de la combinaison des deux couleurs voisines.

Le mélange d'une teinte avec une des deux couleurs donnerait une nouvelle teinte plus rapprochée de la couleur, de sorte qu'on peut passer ainsi par une succession de teintes d'une manière insensible du bleu au rouge, du rouge au jaune, et du jaune au bleu.

En mélangeant la couleur et la teinte opposées, on produit toujours du gris, parce que le mélange, de quelque manière qu'on l'opère, réalise toujours la fusion des trois couleurs. Il en serait encore de même si l'on mélangeait deux teintes.

Ces observations font voir qu'on n'obtient jamais de teintes bien nettes et bien vives que par la combinaison de deux couleurs. Le mélange d'une troisième couleur ternit toujours la teinte. Elles font voir en outre comment on doit s'y prendre pour obtenir sans tâtonnement un gris déterminé. Si la nuance est trop verdâtre, on y ajoute du rouge ; si elle est trop rougeâtre, on y ajoute du vert ; si elle est trop violâtre, on y ajoute du jaune ; si elle est trop jaunâtre, on y ajoute du violet. En un mot, on neutralise l'influence de la teinte ou de la couleur qui y prédomine, en ajoutant dans le mélange la couleur ou la teinte opposée.

Le blanc et le noir ne sont, à proprement parler, que des couleurs auxiliaires. Le mélange de la première aux couleurs ou aux teintes les éclaircit ; celui de la seconde, au contraire, les assombrit.

Ces simples indications suffiront toujours pour l'objet que nous avons en vue. Nous croyons inutile de nous arrêter davantage.

Le mélange des couleurs et des teintes ne se fait, dans tous les cas, que lorsqu'elles ont été broyées et détrempées.

538. Huiles. — Nous avons dit plus haut que, pour être employées à la peinture, les matières colorantes que nous avons énumérées sont intimement mélangées avec diverses espèces d'huiles. Les plus communément employées sont :

L'huile de lin,
L'huile de noix,
L'huile d'œillette ou de pavot.

La première est extraite, par la compression, de la semence du lin ordinaire ; la seconde, du fruit du noyer ; et la troisième, des semences de diverses espèces de pavots.

L'*huile de lin* est employée pour toutes les grosses peintures. Elle est d'un jaune verdâtre, et exhale une odeur qui la fait aisément reconnaître. Elle très-siccative, mais on peut augmenter considérablement cette propriété en la faisant bouillir pendant un certain temps avec de la *litharge*. Elle prend alors le nom de *huile de lin cuite*, *huile de lin lithargirée*. L'huile de lin, préparée de cette manière, est d'une couleur brun rougeâtre assez foncée.

Les *huiles de noix*, d'*œillette* ou de *pavot*, ne s'emploient que pour les peintures fines. Lorsqu'elles ont été convenablement préparées, elles sont presque incolores. Elles sont à peu près aussi siccatives que l'huile de lin, et, comme elle, elles peuvent l'être rendues davantage par leur cuisson avec la litharge.

539. Broiement et détrempe des couleurs. — L'incorporation des matières colo-

rantes à l'huile, ou leur *broiement*, est une opération d'où dépendent beaucoup la bonté et la beauté du produit fabriqué.

Le plus souvent cette opération s'effectue à bras d'homme. On étend sur une dalle de marbre parfaitement polie une certaine quantité de couleur réduite en poudre et gâchée avec la quantité d'huile nécessaire pour la réduire en pâte assez consistante. Puis on la broie pendant un temps plus ou moins long sous la pression d'une *molette* en marbre, sur laquelle l'ouvrier appuie avec force en la manœuvrant. Certaines couleurs se broient aisément : ce sont notamment les blancs, les jaunes et les rouges ; les autres offrent un peu plus de difficulté.

Le broiement des couleurs s'effectue quelquefois à la mécanique : on se sert, à cet effet, de meules horizontales parfaitement planes et polies, tournant l'une sur l'autre de la même façon que celles à moudre le grain. La couleur, grossièrement gâchée avec la quantité d'huile nécessaire, est jetée dans une trémie attachée à la meule mobile, et sort broyée par le joint de séparation des deux meules.

Les couleurs broyées sont placées dans des vases en grès vernissé jusqu'au moment de l'emploi : lorsqu'on n'en fait pas immédiatement usage, on les recouvre d'une couche d'eau, afin de les soustraire au contact de l'air et de les empêcher de s'épaissir. Cette eau doit être renouvelée chaque fois qu'elle commence à se corrompre.

C'est au moment de servir des couleurs qu'on les *détrempe*, c'est-à-dire, qu'on y ajoute la quantité d'huile nécessaire pour leur donner le degré de liquidité qu'on désire. C'est dans cet état qu'on les mélange pour former les teintes quand c'est nécessaire.

540. Siccatifs. — Les couleurs claires, sauf celles à base de zinc, sont en général assez siccatives pour qu'il soit inutile d'y ajouter d'autres ingrédients que l'huile de lin ordinaire dans laquelle elles ont été incorporées. Mais les couleurs sombres, et le *noir* notamment, ne sécheraient que fort lentement si l'on agissait de la même manière. Non-seulement il convient d'employer, pour leur fabrication, de l'huile de lin cuite ou lithargirée, mais encore d'ajouter un siccatif *au moment de leur emploi*.

Les siccatifs les plus communément employés sont :

La *litharge* broyée comme la couleur elle-même, et l'*essence de térébenthine*.

Le commerce fournit deux espèces de litharge : la *litharge d'or* et la *litharge d'argent*. La première a une couleur jaune tirant sur le rouge, et se vend en pains ; la seconde est d'un jaune pâle, et se débite en paillettes. Elles sont aussi bonnes l'une que l'autre.

L'*huile* ou *l'essence de térébenthine* est une liqueur incolore et d'une odeur très-caractéristique, qui s'extrait par la distillation de la résine liquide qu'on obtient par incision du pin maritime.

Plus la proportion du siccatif est forte, et plus rapidement la dessiccation a lieu ; mais souvent les couleurs dans lesquelles on a introduit un siccatif adhèrent moins bien que les autres, aux corps sur lesquels on les applique ; elles s'écaillent souvent au bout de peu de temps. On doit donc être avare de ce moyen, auquel on ne doit recourir que pour les couleurs très-lentes à sécher, ou lorsqu'on a des motifs tout particuliers pour hâter la dessiccation.

Pour les couleurs sombres, il suffit d'ajouter à l'huile de lin ordinaire 3 décagrammes de litharge par kilogramme de couleur broyée.

Deux décilitres d'essence de térébenthine, ajoutés par kilogramme de couleur noire broyée à l'huile de lin, la rendent déjà assez siccative.

En général, on n'ajoute pas de siccatif aux couleurs dont un des principes constituants est le plomb ; et dans tous les cas, cet ingrédient ne doit s'ajouter qu'au moment même de l'emploi, parce que les couleurs ne tarderaient pas à s'épaissir et à filer sous la brosse.

541. Brosses. — Les couleurs composées ainsi que nous venons de le dire s'étendent avec des brosses de soie de porc ou de sanglier, de diverses grosseurs.

On appelle *brosses à quartier*, celles qui comprennent de 214 à 275 grammes de soie ;

Brosses à main, celles de 153 à 184 grammes ;

Brosses d'apprêt ou *taupettes*, celles de 61 à 125 grammes ;

Brosses d'un pouce, celles de moins de 30 grammes.

542. Mise en couleur. — L'opération de la mise en couleur s'effectue de la manière suivante :

A. *Sur les murs.* On commence par *abreuver*, c'est-à-dire par étendre sur l'enduit une ou deux couches d'huile de lin pure, de manière à l'imbiber aussi profondément que possible. On ajoute assez souvent à l'huile une certaine dose de minium qui la rend très-siccative, et qui forme une véritable couleur rouge, mais très-claire. Quand ces couches d'huile pure ou au minium sont suffisamment sèches, on en étend une ou deux autres au blanc de céruse ou de zinc, et finalement on recouvre ces dernières de couches de couleur de la nuance voulue. Celles-ci s'étendent en plus ou moins grand nombre, suivant le degré de brillant et d'uniformité que l'on veut obtenir.

Les couches de blanc qu'on applique sur la couche d'huile de lin pure ou au minium, portent le nom d'*impression*. Les couches de couleur nuancée sont désignées sous celui de peinture.

Les peintures à l'huile sur mur les plus simples comprennent au moins :

Une couche d'huile,
Une couche d'impression,
Et deux couches de peinture.

B. *Sur les bois.* On étend d'abord une première couche d'huile ou d'impression très-claire, puis on procède au masticage des joints. Cette opération consiste à remplir bien exactement, avec du mastic de vitrier, si la couleur est d'une teinte sombre, et avec du mastic de céruse lorsque la teinte est claire, tous les trous, les fentes et les gerçures du bois. On y fiche le mastic à l'aide d'une spatule ou d'une lame de couteau flexible. A cette opération succèdent une ou deux couches d'impression, et enfin un nombre suffisant de couches de peinture pour obtenir l'effet voulu.

Lorsque l'on peint du bois de sapin coupé de nœuds, on doit avoir soin de laver ces nœuds avec de l'essence de térébenthine pure ou même de l'acide azotique faible, avant de passer la première couche d'huile ou d'impression. Sans cette précaution, la résine qui en suinte assez souvent *pousse* et tache la couleur qu'on applique ensuite.

C. *Sur les ferrures.* On étend d'abord une couche de beau minium qui adhère plus fortement au fer que les autres couleurs ; puis, quand elle est sèche, on passe une ou deux couches de couleur noire ou de la nuance que l'on veut avoir.

543. Précautions à observer. — Voici maintenant les précautions les plus importantes qu'il faut observer relativement à la peinture à l'huile :

1° On ne doit préparer à la fois que la quantité de couleur strictement nécessaire pour l'ouvrage qu'on a l'intention d'entreprendre, afin qu'elles soient d'un emploi aussi facile, d'une égale transparence et d'un même éclat dans tout l'ouvrage, car elles sont toujours plus vives et plus belles lorsqu'elles sont fraîches.

2° Toute couleur à l'huile pure ou à l'huile coupée d'essence ou mélangée avec un autre siccatif, ne doit jamais *filer* au bout de la brosse.

3° Il faut avoir soin de remuer de temps en temps la couleur avant d'en prendre avec la brosse, afin qu'elle soit toujours également liquide et du même *ton* ; autrement les matières se précipitant au fond du pot, le dessus s'éclaircit et le fond devient épais. Lorsque, malgré cette précaution, on reconnaît que le fond s'épaissit, on y ajoute un un peu d'huile.

4° Il faut que les coups de brosse soient tous donnés uniformément, et autant que possible parallèlement les uns aux autres.

5° Il faut éviter de travailler avec trop de couleur sur la brosse et d'engorger les moulures.

6° Il faut se garder d'appliquer une seconde couche avant que la précédente soit parfaitement sèche. On s'assure qu'une couche est sèche lorsqu'en y appliquant légèrement le dos de la main elle n'y adhère en aucune façon.

7° Il faut éviter autant que possible que les objets récemment peints soient exposés à l'ardeur du soleil, parce que la couleur est sujette à *bouillonner*, c'est-à-dire à se couvrir d'une multitude de grosses ampoules qui nuisent à sa durée et à son aspect Lorsqu'il est impossible de faire autrement, il convient d'employer des couleurs peu délayées dans l'huile, mélangée d'un peu d'essence.

8° Quand on peint sur les murs, des boiseries ou des ferrures qui ont déjà été peintes, il faut avoir soin de gratter toute la couleur gercée ou soufflée avant d'étendre la nouvelle. On facilite cette opération, sur les boiseries et les ferrures, en se servant d'un réchaud cylindrique, ouvert sur le devant, que l'on promène devant la partie qu'on veut gratter. La couleur se boursoufle, et s'enlève alors très-facilement au moyen d'un racloir, de forme triangulaire, coupant sur les trois côtés. Toutes les vieilles surfaces peintes, en général, doivent être lavées à l'eau de savon et avec une brosse rude avant d'être en bon état de recevoir une nouvelle peinture.

9° Quand on doit peindre des ferrures rouillées, il faut avoir soin de les dégarnir de toute leur rouille avant d'étendre la première couche de minium.

10° Quand on doit peindre sur des murs humides et salpêtrés, on commence par enlever l'enduit de plâtre ou de mortier qui les recouvre, et l'on en applique de nouveau bien fait avec de bonnes substances hydrauliques. Après cela, on étend avec une large brosse un certain nombre de couches de l'une ou de l'autre des préparations suivantes, imaginées par MM. Darcet et Thénard, et dont les bons effets sont constatés.

Première préparation. Une partie de *cire* fondue dans trois parties d'*huile de lin* cuite avec un *dixième de litharge*.

Deuxième préparation. Deux à trois parties de résine ordinaire fondues dans une partie d'huile de lin, cuite avec un dixième de litharge.

Ces préparations sont connues sous le nom d'*enduits hydrofuges*.

La première, qui coûte assez cher, est ordinairement réservée pour les murs destinées à recevoir des peintures fines ; l'autre s'emploie dans les cas ordinaires.

L'une et l'autre s'étendent à chaud à la température d'environ 100° sur le mur chauffé successivement et très-fortement à l'aide d'un grand réchaud semblable à celui décrit précédemment. Dès que la première couche est absorbée par l'enduit, on en applique une deuxième, et l'on continue jusqu'à ce qu'il refuse d'en absorber. On peut alors passer sur cette préparation la première couche d'impression à la céruse.

11° Si l'objet a été badigeonné ou peint à la colle, il faut enlever soigneusement tout le badigeon ou l'ancienne peinture avant d'étendre la première couche d'huile ou d'impression.

544. Données d'expérience. — La quantité de couleur nécessaire pour couvrir un mètre carré de superficie, varie non-seulement avec la nature de la couleur, mais encore avec l'état de la surface sur laquelle on l'étend.

On peut estimer moyennement que, sur une surface parfaitement abreuvée, on peut étendre trois couches d'impression à la céruse ou de couleur grise pâle avec 36 à 40 décagrammes de couleur.

Il suffit dans le même cas de 20 à 25 décagrammes de couleur noire pour la même quantité d'ouvrage.

545. Embu. — Lorsqu'on repasse avec la brosse chargée de couleur sur une couche ou une partie de couche qui n'est pas parfaitement sèche, l'huile de la couleur est absorbée, et la couleur reste mate, grenue et fait *tache*. Cette particularité est connue des peintres sous le nom d'*embu*. Elle oblige quelquefois à repasser une nouvelle couche tout entière ou à couvrir la peinture d'un *vernis*.

546. Vernis. — Les vernis s'emploient, de même que la peinture à l'huile, pour préserver certains objets du contact de l'atmosphère, et en outre pour donner aux couleurs un brillant qu'elles ne possèdent pas naturellement.

Les vernis sont des liquides plus ou moins colorés, plus ou moins visqueux, résultant de la dissolution d'une résine ou d'une gomme *résine* dans divers véhicules, dont la nature peut varier suivant la consistance qu'on veut donner à ces compositions et l'usage auquel on les destine. Après l'application, le véhicule s'évapore, et la résine reste étendue sur le corps en couche mince et transparente.

547. Propriétés que doivent posséder les vernis. — Les vernis doivent, en général, jouir des propriétés suivantes :

1° Après la dessiccation, ils doivent rester brillants, sans aspect gras ni terne, et en un mot donner à la surface vernissée le même brillant que si elle était mouillée ou recouverte d'un verre.

2° Ils doivent adhérer fortement à la surface des corps, et par suite ne pas s'écailler.

3° Ils doivent conserver ces qualités pendant de longues années, sans se colorer ni perdre de leur éclat.

4° Leur dessiccation doit être aussi rapide que possible, sans que la dureté de la pellicule résineuse en soit diminuée.

548. Espèces diverses de vernis. — On fait usage, en peinture, de trois espèces de vernis : les *vernis gras*, les *vernis à l'alcool* ou *à l'esprit-de-vin* et les *vernis à l'essence*.

549. Vernis gras. — Les premiers sont le résultat de la dissolution d'une résine dans une huile volatile. Ces vernis s'emploient pour les ouvrages exposés à l'air du dehors, ou pour recouvrir des peintures d'une couleur sombre. Les meilleures résines pour la composition de cette sorte de vernis sont le *succin* et le *copal*. Le véhicule est l'huile de lin cuite. Les compositions des vernis sont pourtant rarement aussi simples ; on y fait entrer souvent, indépendamment de ces matières, de la *sandaraque*, du *mastic*, de la *térébenthine*, etc.

Nous donnons comme exemple les compositions suivantes, renvoyant pour le surplus au cours de chimie appliquée.

1. *Vernis gras pour les bois.*

Huile de lin.	75	décagrammes.
Succin.	50	—
Litharge en poudre	16	—
Céruse en poudre.	16	—
Minium en poudre.	92	—

On fait bouillir l'huile de lin dans un vase de cuivre rouge non étamé et l'on y tient suspendus, dans un petit sac, la litharge, la céruse et le minium, en faisant attention qu'il ne touche pas le fond du vase. On continue la cuisson jusqu'à ce que l'huile prenne une teinte brun foncé. Alors on retire le petit sac ; on jette dans l'huile une gousse d'ail, et l'on continue la cuisson, renouvelant cette gousse sept ou huit fois. Le succin ne s'ajoute à l'huile qu'après avoir été fondu à part sur un feu violent avec 61 grammes d'huile de lin. On mélange ensuite l'huile et le succin préparés comme il a été dit et on les laisse bouillir ensemble pendant deux ou trois minutes ; après quoi on filtre et l'on conserve la liqueur dans des bouteilles soigneusement fermées.

Ce vernis, bien appliqué, résiste à l'action de l'eau bouillante.

2. *Vernis gras pour les peintres.*

Sandaraque.	120	grammes.
Mastic.	30	—
Térébenthine de Venise. . . .	6	—
Huile de lin cuite.	750	—
Essence de térébenthine. . .	90	—

Mêlez le tout dans un matras et chauffez au bain-marie. Filtrez et exposez pendant deux jours au soleil. L'huile de lin peut être remplacée par l'huile d'œillette.

3. *Vernis de copal.*

Copal fondu.	600 grammes
Mastic.	18 —
Oliban	30 —

Pilez ensemble, mettez dans un matras avec 23 grammes d'huile d'aspic et maintenez pendant quelque temps au bain de sable jusqu'à dissolution.

Ajoutez :

Huile de lin.	1 kilogramme.

Exposez encore pendant vingt-quatre heures au bain de sable chaud.

Les vernis gras peuvent être colorés, en rouge, en jaune, en noir, ou différemment par l'addition de divers ingrédients. On les distingue aisément des autres parce qu'ils sont plus visqueux et n'exhalent pas, ou qu'à un bien moindre degré, l'odeur de l'alcool ou de l'essence de térébenthine qui les fait immédiatement reconnaître.

550. Vernis à l'alcool. — Les vernis *à l'alcool* sont ceux qu'on emploie le plus fréquemment. Ils sont le résultat de la dissolution d'une ou de plusieurs résines dans l'alcool.

Nous donnons, comme exemple de leur composition, les deux suivantes :

1. *Vernis pour les boiseries, les ferrures, les grilles, les rampes d'escaliers, etc.*

Sandaraque.	18 à 19 décagrammes.
Laque plate.	6 —
Poix résine.	12 à 13 —
Térébenthine claire. . . .	12 à 13 —
Alcool.	97 à 98 —
Verre pilé.	12 à 13 —

2. *Vernis pour recouvrir les objets en laiton.*

Faites digérer dans l'alcool :

Curcuma	24 parties.
Safran.	5 —

Filtrez et faites digérer avec cette teinture au bain-marie :

Gomme gutte.	24 parties.
Élémi.	90 —
Sandragon.	30 —
Alcool.	500 —

551. Vernis à l'essence. — Les vernis *à l'essence* sont composés d'une ou plusieurs résines incorporées dans l'essence de térébenthine. On en fait peu d'usage dans la peinture en bâtiments à cause de l'odeur forte et pénétrante qu'ils répandent et de leur lenteur à sécher.

Nous nous bornons à donner les deux compositions suivantes, qu'il peut être utile de connaître, parce qu'on est quelquefois dans le cas de les employer.

1. *Vernis noir pour la tôle.*

Colophane.	60 parties.

On fond dans un vase et on ajoute :

Succin . . . . . 90 parties.

On fond, on laisse refroidir et on ajoute :

Essence de térébenthine . . . 45 parties.
Vernis de peintre . . . . . 45 —

On passe au linge ; si le vernis est trop épais, on le délaye à l'essence. On l'emploie sur les objets en tôle, les poêles, etc. Avant la dernière couche qui doit donner le lustre, on frotte la pièce avec un oignon coupé par le milieu.

2. *Vernis pour le fer.*

Colophane fondue. . . . . 120 parties.
Sandaraque . . . . . 180 —
Gomme laque. . . . . 60 —
Essence de térébenthine. . 120 —

On maintient ce mélange en digestion jusqu'à dissolution et l'on ajoute :

Alcool rectifié. . . . . 180 parties.

On filtre et on garde. Il est très-bon contre la rouille.

552. Application des vernis. — Les vernis s'appliquent, soit à nu sur les corps que l'on veut recouvrir, soit sur une peinture dont on les a couverts préalablement et dont on veut augmenter le brillant et l'intensité. Dans tous les cas, ils doivent être totalement *blancs* ou transparents, ou bien offrir une légère nuance de la couleur du corps ou de la peinture que l'on veut vernisser.

553. Précautions à observer. — L'application des vernis exige les précautions suivantes :

1° On doit opérer dans un endroit très-net, et autant que possible à l'abri de la poussière.

2° Le vernis doit être renfermé dans des vases bien frais et bien bouchés : on n'en extrait à la fois que la quantité strictement nécessaire à l'opération dont on a à s'occuper.

3° On ne doit prendre que peu de vernis à la fois sur la brosse pour l'étendre à grands traits régulièrement et rapidement. Il faut éviter de revenir sur les parties déjà couvertes et en même temps de laisser des endroits non vernis qui formeraient tache.

4° Il faut étendre le vernis en couches minces et régulièrement épaisses. Cette épaisseur ne doit pas dépasser celle d'une feuille de papier. Si l'on n'est pas satisfait du résultat, on peut passer une seconde couche et plusieurs autres de suite, mais en attendant que l'une soit parfaitement sèche avant de passer à l'application de la suivante.

5° Si le vernis est trop épais et ne s'étend pas bien, il faut l'éclaircir, s'il est à l'alcool, en y mettant un peu d'alcool rectifié, et s'il est à l'huile en ajoutant de l'essence de térébenthine.

6° Les vernissages doivent en général se faire à une chaleur modérée.

7° Lorsque le vernis s'applique immédiatement sur des boiseries, leur surface doit au préalable avoir avoir été parfaitement polie par un frottage à la *pierre ponce*, au *papier de verre* (1), à la *prêle* (2) ou à la *peau de chien de mer*. On polit quelquefois de même les peintures qui doivent être vernies. Lorsqu'on veut procéder de cette manière, on a soin de délayer les couleurs dans un peu plus d'essence que de coutume, afin de hâter leur dessiccation.

8° Si le vernis appliqué devient terne, inégal, si l'on n'en espère pas un bon effet, le moyen le plus facile et le plus prompt d'y remédier, c'est de l'enlever et de tout recommencer. On court souvent risque de le gâter davantage en s'obstinant à vouloir le raccommoder. Le vernis frais s'enlève facilement avec de l'esprit-de-vin lorsqu'il est à l'alcool, et avec de l'essence quand il est à l'huile.

554. Peinture en détrempe ou à la colle. — Au lieu d'incorporer les couleurs dans l'huile pour les étendre sur les murs, les boiseries, etc., on les délaye quelquefois dans une dissolution plus ou moins concentrée de colle-forte ou d'autre matière gélatineuse. La peinture exécutée avec des couleurs ainsi préparées porte le nom de *peinture en détrempe* ou *à la colle*. Le badigeon dont nous avons déjà parlé est une véritable peinture en détrempe.

Les couleurs que nous avons décrites (530 à 536) s'emploient aussi bien en détrempe qu'à l'huile, et, quoique d'une moindre durée, elles se conservent pourtant assez longtemps lorsqu'elles sont bien préparées, bien appliquées et à l'abri de la pluie. Ordinairement on estime qu'il faut un mélange de $\frac{1}{4}$ de colle de bonne qualité et de $\frac{3}{4}$ de couleur broyée à l'eau pour former une bonne détrempe. On reconnaît du reste que la détrempe contient suffisamment de colle quand la couleur *file* au bout de la brosse lorsqu'on la retire du pot. La proportion de colle est fort importante à observer pour les ouvrages que l'on veut soigner, car lorsqu'elle est trop forte, la peinture est sujette à s'écailler, et, dans le cas contraire, à s'enlever sous le frottement le plus léger.

Les couleurs se broient à l'eau de la même façon qu'à l'huile, mais l'opération est généralement beaucoup plus facile et plus rapide.

La colle se dissout dans l'eau bouillante et s'ajoute liquide à la couleur.

La peinture en détrempe s'effectue d'une manière qui ressemble beaucoup à la peinture à l'huile. On commence ordinairement par étendre une ou plusieurs couches de colle chaude sur la surface que l'on veut couvrir (cette opération, qui a pour but de mieux fixer la couleur, porte le nom *d'encollage*; elle remplace *l'abreuvage* dans la peinture à l'huile); après cela on étend une ou plusieurs couches *d'impression* qu'on

---

(1) On appelle *papier de verre* un papier fort sur lequel est collé du verre pilé et passé dans un tamis plus ou moins fin.

(2) Les prêles ou queues de cheval (*equisetum*), sont des espèces de joncs barbus qui croissent dans les lieux marécageux. La prêle la plus estimée pour les polissages est la variété connue des botanistes sous le nom d'*equisetum palustre* (prêle des marais).

applique encore tièdes, et enfin on leur superpose celle de *couleur* ou de *peinture*.

On compte qu'il faut en moyenne 125 grammes de couleur pour peindre une superficie d'un mètre carré.

La détrempe est quelquefois polie à la pierre ponce comme la peinture à l'huile, puis recouverte d'un vernis. On parvient à exécuter de cette manière des peintures très-belles et très-solides, surtout pour les intérieurs. La peinture connue sous le nom de *chipolin* est une peinture formée d'un grand nombre de couches de détrempe poncées avec le plus grand soin, et recouverte de deux ou trois couches de beau vernis à l'alcool.

555. Peinture à la bière. — On fait actuellement un très-grand usage pour peindre les boiseries d'une espèce de peinture à laquelle on a donné le nom de *peinture à la bière*. Voici comment elle s'exécute. On commence par étendre sur le bois deux ou trois couches de bonne couleur d'impression à l'huile de la nuance voulue. Lorsqu'elles sont parfaitement sèches, on repeint dessus avec de la couleur broyée à l'eau et détrempée dans la bière, et aussitôt que cette dernière est sèche, on la recouvre de deux ou trois couches de vernis à l'alcool. Cette espèce de peinture est surtout employée par les décorateurs pour imiter le chêne, l'acajou et d'autres espèces de bois fins. Pour le chêne, les couches d'impression se font avec de la couleur jaune composée d'ocre et de blanc de céruse. On imite par-dessus les veines du bois, en se servant de *terre de Sienne naturelle* et de *terre de Cassel* (1) broyées à l'eau et détrempées dans la bière.

556. Dorure. — On distingue un grand nombre de procédés de dorure. Nous ne dirons un mot que de la *dorure à l'huile* et de la *dorure au feu*, parce qu'on doit quelquefois y avoir recours pour certaines parties des constructions civiles et militaires. La dorure à l'huile s'emploie pour dorer divers objets de serrurerie, comme les flèches qui garnissent le sommet des barreaux des grilles, les girouettes qui surmontent les toits, etc.

Voici comment elle s'exécute :

Après avoir bien nettoyé et décapé le fer par un lavage à l'acide azotique faible, on y étend une couche d'un *mordant* appelé *or-couleur*, qui n'est rien autre chose que de l'huile de lin ou d'œillette, rendue très-siccative et très-gluante par son mélange avec de la litharge, de la céruse, et une longue exposition à l'air. Lorsque l'or-couleur est suffisamment sec pour aspirer et retenir l'or, on l'étend en feuilles, soit entières, soit coupées par morceaux, suivant le besoin, en se servant, pour les prendre, de coton bien doux et bien cardé, ou simplement du couteau qui a servi à les découper.

A mesure que l'or est posé, on passe dessus un gros pinceau de poils très-doux ou une patte de lièvre pour l'attacher et comme l'incorporer avec l'or-couleur. Ensuite, au moyen du même pinceau ou d'un autre plus petit, on le *ramande*, c'est-à-dire, qu'on

(1) Ce sont des ocres légèrement bitumineuses qui donnent des jaunes brunâtres transparents, tandis que les jaunes d'ocres ordinaires sont opaques.

répare les cassures ou gerçures qui se sont faites aux feuilles, avec d'autres petits morceaux de feuilles d'or qu'on applique de la même manière.

Cette dorure est très-solide quand elle est exécutée avec soin; elle résiste très-bien aux pluies et reste longtemps brillante si l'on a pris garde d'employer de l'or en feuilles très-pur. Les entrepreneurs cherchent parfois à lui substituer le cuivre ou des alliages qui se ternissent très-vite; il faut apporter une très-grande surveillance à cet égard quand on tient à avoir un ouvrage bien fait.

L'or en feuilles se vend en petits livrets de 24 feuilles : il est d'une ténuité excessive. L'or, comme on sait, est tout à fait inattaquable par les acides azotique et sulfurique; c'est un moyen de le reconnaître aisément et de découvrir la fraude.

La *dorure au feu* ne s'emploie guère dans les bâtiments que pour dorer les pointes de *paratonnerres*, afin de les mettre ainsi à l'abri de l'oxydation.

Ce genre de dorure est encore beaucoup plus solide que le précédent.

Voici comment on y procède :

On fait d'abord un amalgame d'or plus ou moins riche, c'est-à-dire qu'on fait dissoudre une certaine quantité d'or en poudre ou en feuilles dans du mercure.

On couvre avec cet amalgame la pièce de métal parfaitement polie et décapée, et on la met ensuite au four. Le mercure s'évapore, et l'or reste en s'incrustant dans les pores du métal dilaté. Lorsque l'évaporation du mercure est totalement terminée, on retire la pièce du four et on la jette dans l'eau seconde (eau acidulée). Elle prend alors la couleur du buis, ce qui a fait donner à l'opération le nom de *premier buis*. Si ce buis laisse apercevoir des parties non couvertes, on couvre de nouveau la pièce d'amalgame, et l'on répète les opérations précédentes. Elle vient ainsi au *second buis*. On peut dorer à autant de buis qu'on le veut, et charger ainsi la pièce d'une couche d'or aussi épaisse qu'on le désire; mais il est pourtant rare qu'une pièce soit à trois buis. Deux suffisent pour une très-bonne dorure, et ordinairement, au lieu de donner un second buis, on se borne à *ramander* le premier, c'est-à-dire à recharger seulement les endroits où l'or manque.

Lorsqu'on reconnaît que la couche est suffisamment épaisse et bien uniforme, on donne le brillant à l'or en le frottant fortement avec un brunissoir d'ivoire, d'agate, d'acier, d'hématite.

La dorure au feu, qui est très-pernicieuse pour la santé des ouvriers, est actuellement remplacée par la dorure galvanique.

557. Bronzure. — On donne quelquefois aux ferrures, et aussi à quelques boiseries, l'aspect du bronze.

L'opération par laquelle on y procède est fort simple.

On commence à peindre l'objet en vert sombre, rehaussant de couleur plus claire et plus jaunâtre les angles, les saillies et toutes les parties les plus exposées à être frottées. Quand la couleur commence à sécher, on frotte sur ces mêmes parties, avec une patte de lièvre, du *bronze en poudre* qui s'y incorpore et se fixe quand la peinture sèche.

Le *bronze en poudre* ou *bronzé des peintres* est la substance que les chimistes ont

appelée *or musif* et qui paraît être un bisulfure d'étain. On le trouve dans le commerce sous forme de poudre écailleuse, présentant en masse l'aspect du bronze pulvérisé.

558. Silicatisation. — Pour empêcher les murs en pierres plus ou moins gélives de se détériorer, on fait usage depuis quelques années d'un procédé connu sous le nom de *silicatisation*, qui consiste à seringuer vivement les surfaces exposées avec une solution de verre soluble (silicate de potasse ou de soude). L'expérience n'a pas encore entièrement prononcé sur la valeur de ce procédé de conservation, qui est fort vanté toutefois par quelques constructeurs.

TROISIÈME PARTIE

THÉORIE DES CONSTRUCTIONS.

PRÉLIMINAIRE.

559. Le constructeur qui veut satisfaire à la fois aux conditions de solidité et d'économie, doit s'astreindre à donner à toutes les parties de ses ouvrages des dimensions convenables, c'est-à-dire, qui ne soient ni trop faibles ni trop fortes.

La théorie a cherché à jeter quelque lumière sur cet objet important ; mais, il faut le reconnaître, malgré des recherches nombreuses et savantes, la plupart des constructeurs ne suivent encore, en cela, que l'espèce d'instinct que donne une longue pratique. Beaucoup même rejettent avec le plus complet dédain toutes les indications théoriques.

Tout en accordant que la théorie, sans des connaissances pratiques suffisamment étendues, peut faire commettre des erreurs et même des erreurs graves, nous ne saurions admettre que ses indications soient aussi inutiles que bien des gens le croient sans peut-être la comprendre. Nous pensons, au contraire, que, jointe à l'expérience, la théorie ne peut que faire progresser la science des constructions et éclairer des questions entourées d'obscurité, même par les praticiens les plus consommés.

C'est dans cette conviction que nous n'avons pas craint de donner quelque étendue à cette partie du Cours, et nous ne redoutons pas d'en être blâmé de ceux qui nous suivront avec attention.

Les théories, relatives aux constructions, qui ont le plus exercé le savoir des géomètres, ont pour but de déterminer :

1° Les sections transversales des parties élémentaires des édifices ou des matériaux de construction, pour leur donner une résistance capable de supporter indéfiniment, et sans changer sensiblement de forme, les charges ou les efforts auxquels ils peuvent être soumis. Les connaissances que l'on possède actuellement à cet égard constituent la théorie de la *résistance des solides* ou *des matériaux*.

2° L'épaisseur des murs en général, mais particulièrement celle des murs soumis à la poussée des terres. Les recherches, quant à ce dernier cas, ont donné naissance à la théorie de la *poussée des terres et de l'équilibre des murs de terrasse et de revêtement.*

3° L'épaisseur des voûtes et leurs pied-droits ce qui constitue la *théorie de l'équilibre des voûtes.*

Nous allons tâcher de présenter, dans ce qui suit, un résumé aussi complet que possible de ce que l'on sait aujourd'hui à ce sujet. Si nous élaguons de notre exposition certaines choses qui nous paraissent en réalité plus curieuses qu'utiles à notre point de vue, par contre, nous prendrons soin de donner aux points importants plus de développements que ne l'ont fait la plupart des savants auxquels nous emprunterons les éléments de notre travail.

PREMIÈRE SECTION

THÉORIE DE LA RÉSISTANCE DES SOLIDES

PRINCIPES GÉNÉRAUX.

560. La théorie de la résistance des solides repose sur les faits suivants :

1° Les matériaux de construction peuvent êtres soumis à une force qui tend :

1. A les *étendre* ou à augmenter leur dimension dans le sens de la direction de la force ;

2. A les *comprimer*, c'est-à-dire, à réduire leur dimension dans le sens de la direction de la force ;

3. A les *fléchir* ou à les courber perpendiculairement à leur longueur ;

4. A les *tordre*, c'est-à-dire à changer la position de leurs diverses parties les unes par rapport aux autres ;

5. A les *déchirer* ou à les *disjoindre*, c'est-à-dire à les fractionner en deux parties glissant l'une sur l'autre.

2° Tous les corps de la nature sont plus ou moins *élastiques* ; c'est-à-dire que si on les soumet à des efforts de compression, d'extension, de flexion, de torsion ou de disjonction, ils cèdent d'une certaine quantité, mais reviennent à leur forme première aussitôt que l'action de la force cesse.

Toutefois, ce phénomène n'a lieu d'une manière complète que pour autant que l'effort n'a pas dépassé une certaine limite.

3° Lorsque cette limite a été outre-passée, la matière cède, en général, sous un effort moindre que lorsqu'elle jouissait de toute son élasticité, et elle ne revient plus qu'en partie sur elle-même. On la dit *énervée*.

4° Il arrive finalement que si l'effort est poussé encore plus loin, les particules de la matière se séparent violemment et il y a fracture ou *rupture*.

Il ne faut généralement qu'un effort très-petit pour passer du joint d'*énervement* à celui de *rupture*.

5° Dans les constructions, il est de la plus haute importance, non-seulement de ne pas exposer les matériaux à des efforts capables d'en déterminer la rupture instantanée,

mais il faut, de plus, que ces effets, quelle qu'en soit la durée, soient incapables de les énerver, à un degré quelconque. La détermination des plus grands efforts auxquels les matériaux de construction peuvent être exposés sans danger est une des questions des plus importantes de l'art de bâtir ; mais elle est, comme nous allons le montrer, hérissée de difficultés qui rendent la solution rigoureuse tout à fait impossible, quoique à la première vue on soit tenté d'en juger autrement.

Il semblerait, en effet, que puisque les matériaux de construction conservent toute leur force tant que leur élasticité n'est pas altérée, il ne peut y avoir d'inconvénient à les charger jusqu'un peu en deçà du point où ils cessent de jouir de cette élasticité tout entière, point qu'on peut aisément déterminer par expérience. Mais il faut remarquer :

1° Que ces matériaux sont employés à des états de pureté et d'homogénéité extrêmement variables, ce qui empêchera toujours de déterminer la limite de leur élasticité d'une manière générale applicable dans toutes les circonstances ;

2° Qu'ils sont souvent soumis à des forces purement accidentelles ou qu'il est très-difficile d'apprécier avec quelque exactitude ;

3° Enfin qu'ils sont exposés, sous diverses influences, à s'altérer plus ou moins et à perdre ainsi de leur force ou élasticité primitive.

Ces considérations doivent faire sentir la nécessité de se tenir encore fort éloigné de la limite qui semble naturellement indiquée. On verra plus loin quelles sont les données que l'expérience fournit à cet égard.

I. — CORPS SOUMIS A L'EXTENSION.

561. Principe fondamental. — On admet généralement, comme un premier fait d'expérience, qu'un solide prismatique, tiré dans le sens de sa longueur, subit un allongement directement proportionnel à sa longueur, à la force de traction, et en raison inverse de sa section transversale et de sa résistance élastique, de sorte que si l'on désigne par

α l'allongement total ;

λ la longueur ;

Ω la section transversale ;

Q l'effort de traction ;

E le coefficient, ou module d'élasticité, c'est-à-dire la force nécessaire pour allonger un prisme dont la section transversale = 1 mètre carré, d'une quantité égale à à la longueur de ce prisme (1) ;

i l'allongement proportionnel ou par mètre de longueur.

On aura :

$$\alpha = \frac{Q\lambda}{E\Omega},$$

(1) Cette force est purement fictive pour la plupart des corps qui sont loin de pouvoir se prêter à de tels allongements, mais c'est un terme de comparaison très-commode pour les calculs.

$$i = \frac{\alpha}{l} = \frac{Q}{E\Omega} \quad \text{(A)}$$

Conséquence. — Si l'on connaissait l'allongement *maximum* par mètre que l'on peut faire subir sans danger, d'une manière permanente, à un prisme de matière et de dimensions données, la détermination de la charge qu'on peut lui faire supporter de la même manière se ferait sans difficulté.

En effet, appelant :

I l'allongement proportionnel limite ;

Q' la charge à laquelle le solide peut être soumis sans danger,

On tirerait de l'équation (A) :

$$Q' = IE\Omega \quad \text{(B)}$$

mais, jusqu'à présent, on n'a aucune indication précise à cet égard ; la pratique a seulement admis qu'il serait dangereux de charger les matériaux au delà d'une certaine fraction du poids qui en détermine la rupture instantanée.

562. Ce qu'on appelle coefficient de rupture et limite des charges permanentes. — On appelle *coefficient de rupture* le poids exprimé en kilogrammes, capable de rompre par extension un prisme dont la section transversale est égale à 1 mètre carré, et on le désigne par R.

On nomme *limite des charges permanentes ou des efforts permanents* le poids exprimé en kilogrammes, dont on peut charger sans danger un prisme ayant 1 mètre carré de section transversale ; on la désigne par R'

Ordinairement R' est pris égal au dixième, au septième, au cinquième ou au quart tout au plus de R, selon que les substances que l'on emploie sont plus ou moins susceptibles de s'altérer par l'action du temps et des intempéries, ou de renfermer des défauts cachés.

Par exemple, l'expérience donne :

Pour le bois, $R = 7{,}000{,}000$ kil., ou fait $R' = \frac{1}{7} R = 1{,}000{,}000$ kil. ;

Pour la fonte, $R = 13{,}000{,}000$ kil., ou fait $R' = \frac{R}{4} = 3{,}250{,}000$ kil., etc.

D'après cela on a, en général, pour exprimer la charge capable de rompre un solide de section Ω :

$$Q = R\Omega ;$$

et pour celle que l'on peut lui faire supporter sans danger d'une manière permanente :

$$Q' = R'\Omega.$$

Cette charge représente d'ailleurs un allongement proportionnel égal à $\frac{R'}{E}$ (1).

---

(1) Mettant la valeur $Q' = R'\Omega$ dans l'équation (B) on trouve en effet :

$$I = \frac{R'}{E}.$$

II. — CORPS SOUMIS A LA COMPRESSION.

563. En admettant, ainsi qu'on le fait généralement, que les lois qui régissent la compression des corps sont les mêmes que celles auxquelles leur extension est soumise, on peut raisonner exactement de la même manière que précédemment.

Désignant par R_1 et R'_1, le coefficient de rupture et la limite de la charge permanente, on a pour déterminer la charge de rupture d'un corps de section Ω :

$$Q = R_1 \Omega$$
$$\text{et } Q' = R'_1 \Omega.$$

Pour exprimer le poids dont on peut le charger sans danger :

$$I_1 = \frac{R'_1}{E} \quad (1)$$

exprimera le raccourcissement proportionnel correspondant.

On doit toutefois observer que pour qu'on puisse considérer le corps comme uniquement soumis à un effort de compression, il faut que le rapport entre sa longueur et sa plus petite dimension transversale ne dépasse pas une certaine limite ; sans cela le corps fléchit latéralement et se brise par flexion. Cette limite dépend de la nature même du corps.

III. — CORPS SOUMIS A LA FLEXION.

564. Lorsque le corps est soumis à un effort de flexion, la question peut être ramenée aux deux cas précédents.

Considérons, par exemple, un solide prismatique ABDC de section quelconque (*fig.* 812, pl. XVIII), terminé par une section DC normale à ses arêtes, encastré solidement par une de ses extrémités et chargé à l'autre bout d'un poids P.

565. Faits d'expérience. — L'expérience constate :

1° Que sous l'action du poids P, le solide prend une certaine courbure ;

2° Que la section CD reste normale aux arêtes du solide fléchi.

566. Conséquences. — Il résulte de ces deux faits :

1° Que les fibres moléculaires du corps situées vers la partie AC se sont allongées, tandis que celles situées vers BD se sont raccourcies ;

2° Qu'il doit exister à la séparation des fibres allongées et des fibres raccourcies une couche de fibres qui n'ont subi ni allongement ni raccourcissement.

---

(1) Il faudrait à la rigueur écrire $I_1 = \frac{R'_1}{E_1}$, mais on peut admettre, sans inconvénient pour la pratique, qu'en général $E = E_1$, c'est-à-dire que le poids capable d'allonger d'une certaine quantité un solide tiré dans le sens de sa longueur, est également capable de le raccourcir d'autant lorsqu'il est comprimé, bien entendu tant qu'on se tient dans la limite de l'élasticité naturelle du corps.

On pourrait aussi admettre, et c'était là l'hypothèse de Galilée et de quelques autres géomètres, que les fibres situées en BD ont conservé leur longueur primitive, tandis que toutes les autres ont subi des allongements plus ou moins considérables. Mais cette dernière hypothèse est évidemment moins conforme aux faits physiques que la première qui a prévalu depuis.

Quoi qu'il en soit, on a donné le nom *d'axe neutre* ou *d'axe des fibres invariables* à la couche fibreuse dont la longueur n'a pas varié par suite de la flexion.

367. Détermination des efforts intérieurs de tension et de compression. — Si l'on veut actuellement, en partant de ces considérations, déterminer la grandeur des tractions et des compressions, des allongements et des raccourcissements que subissent les fibres situées au-dessus et au-dessous de l'axe neutre, rien n'est plus simple ni plus aisé.

Considérons dans le solide ABDC deux sections infiniment voisines AB, TR. Avant la flexion elles étaient à égale distance sur toute leur étendue; après la flexion, elles concourent l'une vers l'autre, de manière que, prolongées, elles viennent se couper au point O, centre de courbure.

Si par le point m, intersection de l'axe neutre avec l'une des deux sections, l'on mène une parallèle à l'autre SU, on voit qu'une fibre quelconque kl, située à une distance v de l'axe neutre, aura subi, par la flexion, un allongement d'autant plus considérable que la distance v sera plus grande et la courbure du solide plus prononcée.

Désignons par a l'allongement ST de la fibre la plus éloignée de l'axe d'équilibre, au moment où elle va se rompre par extension, par ω sa section transversale, et admettons qu'en ce moment encore l'allongement est proportionnel à la tension exprimée par $R\omega$.

Nommons α l'allongement kl d'une fibre quelconque située à la distance v de l'axe d'équilibre, dans le même moment; t, la tension de cette fibre. Faisons encore la distance $m'T = z$, on aura visiblement:

$$R\omega : t = a : \alpha = z : v$$

$$t = \frac{v}{z} R\omega.$$

Soit actuellement $monp$ le contour de la section transversale du solide; si l'on prend pour axe des abscisses de cette courbe la droite mU, intersection de la tranche des fibres invariables, et pour axe des ordonnées la droite mV perpendiculaire à la précédente, on aura, en appelant respectivement u et v les abscisses et les ordonnées, $\omega = du\,dv$ et :

$$t = \frac{v}{z} R\,du\,dv.$$

On trouverait, au moyen de raisonnements tout à fait semblables, que la compression à laquelle est soumise une fibre quelconque $k'l'$, située en dessous de l'axe

neutre, au moment où la fibre la plus éloignée de cet axe va s'écraser est exprimée par :

$$t = \frac{v'}{z'} R_1 \, du \, dv'$$

568. Équation d'équilibre. — Pour rétablir entre les forces intérieures estimées ainsi qu'on vient de le montrer, et la force P, des relations d'équilibre d'où l'on puisse tirer les dimensions de la section transversale, quand P sera connu ou réciproquement, il faudra :

1° Rechercher quelle est la section transversale par rapport à laquelle P agit avec le plus grand bras de levier ;

2° Considérer cette section et l'axe neutre comme un levier doublement coudé AB $n\beta$, dont la branche An est soumise à tous les efforts t provenant de la résistance à l'extension des fibres situées au-dessus de l'axe neutre ; la branche nB aux efforts t provenant de la résistance à la compression des fibres situées en dessous, et la branche $n\beta$ à l'action du poids P.

Considérant que les forces t et t' agissent en sens contraire de P, on aura, en appelant $\mu + \mu'$ la somme de leurs moments, en désignant par l la longueur du solide (1), et en remarquant que le plus grand moment de P est Pl,

$$Pl = \mu + \mu'.$$

Pour exprimer μ et μ' nommons :

a la plus grande valeur de u ou de l'abscisse du contour de la section transversale du solide ;

$b = f(u)$ l'ordonnée de la portion de ce contour située au-dessus de la tranche des fibres invariables ;

$b' = f'(u)$ l'ordonnée de la portion de ce contour située au-dessous de cette même tranche, on aura :

$$\mu = \int tv = \frac{R}{z} \int_0^a du \int_0^{b = f(u)} dv . v^2 .$$

$$\mu' = \int t'v' = \frac{R'}{z'} \int_0^a du \int_0^{b' = f'(u)} dv' . v'^2 ;$$

d'où :

$$(A). \quad Pl = \frac{R}{z} \int_0^a du \int_0^{b = f(u)} dv . v^2 + \frac{R_1}{z'} \int_0^a du \int_0^{b' = f'(u)} dv' . v'^2 = \sigma.$$

569. Ce qu'on appelle moment de rupture. — Le second membre de cette équation est ce qu'on nomme *moment de résistance à la rupture* ou *moment de rupture*, nous le désignerons dorénavant par α.

---

(1) Pour opérer rigoureusement, il faudrait prendre non pas la longueur du solide, mais la projection horizontale de la courbe qu'il forme au moment de la rupture. La manière d'opérer que nous indiquons est néanmoins suffisamment exacte pour la solution des questions pratiques.

L'on voit que la valeur de ce moment dépend, non-seulement de la nature du solide et de sa section transversale, mais encore de la position de l'axe neutre.

Comme cette dernière donnée ne pourrait être acquise que par des expériences délicates, on est obligé, pour obtenir au moins des évaluations approximatives, de recourir à une hypothèse qui, quoique inexacte, n'influe pourtant pas sensiblement sur les résultats.

Cette hypothèse consiste à supposer que l'axe neutre passe par le centre de gravité de la section transversale, ce qui aurait réellement lieu si R_1 ne différait pas de R.

Au moyen de cette supposition, l'expression de σ qui devient :

$$2\frac{R}{z}\int_0^a du\int_0^{b=f(u)} dv.v^2\ ,$$

quand le solide est symétrique par rapport à l'axe neutre, se calcule sans difficulté pour la plupart des sections communément employées dans les constructions.

570. Valeurs du moment de rupture pour les sections le plus fréquemment employées. — Nous avons représenté ces sections dans les *fig.* 813 à 830, et nous donnons dans le tableau ci-contre les expressions de σ qui leur sont relatives.

TABLEAU DES FORMULES

EXPRIMANT LE MOMENT DE LA RÉSISTANCE A LA RUPTURE PAR FLEXION DES SECTIONS TRANSVERSALES DES SOLIDES LE PLUS USITÉES.

FIGURE DE LA SECTION TRANSVERSALE.	NOTATIONS.	VALEUR DE z DISTANCE DE L'AXE NEUTRE au point LE PLUS ÉLOIGNÉ DE LA SECTION	EXPRESSIONS DU MOMENT DE RUPTURE $= \sigma$.
Rectangle droit, *fig.* 813, pl. XXVIII	Largeur $= a$ Hauteur $= b$	$z = \frac{1}{2} b$	$\sigma = R \frac{ab^2}{6}$.
Rectangle oblique, *fig.* 814. . . .	Largeur $= a$ Hauteur $= b$ Angle du côté b avec l'axe neutre $= \varphi$	$z = \frac{1}{2}(b \sin\varphi + a\cos\varphi)$	$\sigma = R \frac{ab}{6} \cdot \frac{b^2\sin^2\varphi + a^2\cos^2\varphi}{b\sin\varphi + a\cos\varphi}$.
Idem la diagonale étant verticale.	»	$z = \frac{1}{2}\sqrt{a^2+b^2}$	$\sigma = R \frac{ab}{6} \cdot \frac{b^4 + a^4}{(b^2+a^2)^{3/2}}$.
Carré droit, *fig.* 815	Côté $= a$	$z = \frac{1}{2} a$	$\sigma = R \frac{a^3}{6}$.
Carré oblique, *fig.* 816.	Angle du côté avec l'axe neutre $= \varphi$	$z = \frac{a}{2}(\sin\varphi + \cos\varphi)$	$\sigma = R \frac{a^3}{6} \cdot \frac{1}{\sin\varphi + \cos\varphi}$.
Idem la diagonale étant verticale.	»	$z = \frac{a}{2}\sqrt{2}$	$\sigma = \frac{Ra^3}{6\sqrt{2}}$.
Cercle, *fig.* 817	Rayon $= r$	$z = r$	$\sigma = \frac{R\pi r^3}{4}$
Tuyau circulaire, *fig.* 818	Rayon du cercle extérieur $= r$ Rayon du cercle intérieur $= r'$	$z = r$	$\sigma = \frac{R\pi}{4} \cdot \frac{r^4 - r'^4}{r}$.
Tuyau carré droit, *fig.* 819	Côté extérieur $= a$ Côté intérieur $= a'$	$z = \frac{1}{2} a$	$\sigma = \frac{R}{6} \cdot \frac{a^4 - a'^4}{a}$.
Idem la diagonale étant verticale.	»	$z = \frac{a}{2}\sqrt{2}$	$\sigma = \frac{R}{6} \cdot \frac{a^4 - a'^4}{a\sqrt{2}}$.
Tuyau rectangulaire droit, *fig.* 820.	Côtés extérieurs $= a, b$ Côtés intérieurs $= a', b'$	$z = \frac{1}{2} b$	$\sigma = \frac{R}{6} \cdot \frac{ab^3 - a'b'^3}{b}$.
Tuyau rectangulaire droit, la diagonale étant verticale.	»	$z = \frac{1}{2}\sqrt{a^2+b^2}$	$\sigma = \frac{R}{6} \cdot \frac{b^2(ab^3 - a'b'^3) + a^2(a^3b - a'^3b')}{(b^2+a^2)^{5/2}}$.
Croix ordinaire, *fig.* 821	Longueur AB des branches $= b$ Épaisseur id. $= a$	$z = \frac{1}{2} b$.	$\sigma = \frac{R}{6} \cdot \frac{b^3a + ba^3 - a^4}{b}$.
Croix de Bourgogne simple, *fig.* 822	Longueur AB des branches $= b$ Épaisseur id. $= a$	$z = \frac{b+a}{2\sqrt{2}}$	$\sigma = \frac{R}{6} \cdot \frac{b\sqrt{2}(b^3a + a^3b - a^4)}{b+a}$.
Croix ordinaire renforcée, *fig.* 823	Longueur AB des branches $= b$ Épaisseur id. $= a$ Côté du carré de renfort $= c$	$z = \frac{1}{2} b$.	$\sigma = \frac{R}{6} \cdot \frac{c^4 + a(b^3 - c^3) + a^3(b-c)}{b}$.
Croix de Bourgogne renforcée *fig.* 824	Longueur AB des branches $= b$ Épaisseur id. $= a$ Côté du carré de renfort $= c$	$z = \frac{b+a}{2\sqrt{2}}$	$\sigma = \frac{R}{6} \cdot \frac{\sqrt{2}[c^4 + a(b^3 - c^3) + a^3(b-c)]}{b+a}$.
Té simple, *fig.* 825	Hauteur totale AB $= b$ Largeur totale CD $= a$ Épaisseur de la tête CE $= c$ Épaisseur de la côte FG $= d$ Distance de l'axe neutre à la face supérieure $z' = \frac{1}{2}\frac{ac^2 - dc^2 + db^2}{ac - dc + db}$	$z = b - z'$.	$\sigma = \frac{R}{3} \frac{az'^3 - (a-d)(z'-c)^3 + d(b-z')^3}{b - z'}$.
Té double, *fig.* 826	Hauteur totale AB $= b$ Largeur de la tête CD $= a$ Épaisseur id. CE $= c$ Largeur du pied FG $= a'$ Épaisseur id. FH $= c'$ Épaisseur de la côte $= d$ Distance de l'axe neutre à la face supérieure $z' = \frac{1}{2}\frac{ab^2 + sd^2 - s'd^2}{ab + sd - s'd} z'' = b - z'$ $s = a - c,\ s' = a' - c'$	$z = z'' = b - z'$.	$\sigma = \frac{R}{3} \frac{az'^3 - a'z''^3 - s(z'-d)^3 - s'(z''-d)^3}{b - z'}$.

FIGURE DE LA SECTION TRANSVERSALE.	NOTATIONS.	VALEUR DE z DISTANCE DE L'AXE NEUTRE au point LE PLUS ÉLOIGNÉ DE LA SECTION	EXPRESSIONS DU MOMENT DE RUPTURE $= \sigma$.
Té double symétrique, *fig.* 827	Hauteur totale AB $= b$ Largeur totale CD $= a$ Épais. de la tête et du pied CE $= c$ Épaisseur de la côte $= d$	$z = \frac{1}{2} b$.	$\sigma = \frac{R}{6} \frac{ab^3 - 2c(b-d)^2}{b}$.
Pi, *fig.* 828	Hauteur totale AB $= b$ Largeur totale BC $= a$ Hauteur du vide A′B′ $= b'$ Largeur du vide B′C′ $= a'$ Distance de l'extrémité inférieure des branches à l'axe neutre $= z' = \frac{1}{2} \frac{ab^2 - a'b'^2}{ab - a'b'}$	$z = z'$	$\sigma = \frac{R}{3} \frac{z'^3(a-a') + a(b-z')^3 - a'(b'-z')^3}{z'}$.
Ellipse, *fig.* 829	Demi-grand axe vertical $= b$ Demi-petit axe horizontal $= a$ $\pi =$ rapport de la circonférence au diamètre	$z = b$.	$\sigma = \frac{R}{4} . \pi ab^2$.
Tuyau elliptique, *fig.* 830	Demi-grand axe vertical extérieur $= b$ Demi-grand axe vertical extérieur $= b'$ Demi-petit axe horizontal extérieur $= a$ Demi-petit axe horiz. intér. $= a'$	$z = b$.	$\sigma = \frac{R}{4} \frac{\pi(ab^3 - a'b'^3)}{b}$.

Quelques exemples suffiront pour indiquer la marche des calculs au moyen desquels on obtient ces valeurs.

Rectangle droit. — Pour une section rectangulaire dont la hauteur = b et la largeur = a (*fig.* 813), on a :

$$z = \frac{1}{2}\,b.\,f(u) = \frac{1}{2}\,b.\,a = a.$$

$$\sigma = \frac{2R}{\frac{1}{2}\,b}\int_0^a du \int_0^{\frac{1}{2}b} dv\, v^2.$$

$$= \frac{2R}{\frac{1}{2}\,b}\,a\,\frac{(\frac{1}{2}\,b)^3}{3} = \frac{R\,a\,b^2}{6}.$$

Carré droit. — Pour une section carrée (*fig.* 815), b = a et l'on aurait :

$$\sigma = \frac{Ra^3}{6}.$$

Cercle. — Pour une section circulaire (*fig.* 817), dans laquelle le rayon r = z, on a :

$$a = 2r\,.\,f(u) = \sqrt{r^2 - (r-u)^2}$$

$$\sigma = \frac{2R}{r}\int_0^{2r} du \int_0^{\sqrt{r^2-(r-u)^2}} dv\, v^2$$

$$= \frac{2R}{3r}\int_0^{2r} du \left(\sqrt{r^2-(r-u)^2}\right)^3;$$

mais

$$\sqrt{r^2-(r-u)^2} = r\sin x\,.\,r - u = r\cos x$$
$$du = r\sin x\,dx.$$

Donc

$$\sigma = \frac{2R}{3r}\int_0^{\pi} r^4 \sin^4 x\,dx \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(A)}$$

$$\int \sin^4 x\,dx = \frac{\sin^4 x}{32} - \frac{\sin^2 x}{4} + \frac{3}{8}\,x.$$

Les limites de cette intégrale étant o et π, on obtient finalement :

$$\sigma = \frac{R\pi r^3}{4}.$$

Tuyau rectangulaire. — Pour un tuyau rectangulaire droit (*fig.* 819), on aurait, en désignant par b et a, la hauteur et longueur extérieure, b' et a' la hauteur et la largeur du vide intérieur,

$$\sigma = \frac{2R}{\frac{1}{2}\,b}\left(\frac{ab^3}{24} - \frac{a'b'^3}{24}\right) = \frac{R}{6}\,.\,\frac{ab^3 - a'b'^3}{b}.$$

Tuyau circulaire. — Pour un tuyau circulaire (*fig.* 818) dont les rayons extérieur et intérieur seraient respectivement représentés par r et r', l'on aura :

$$\sigma = \frac{2R}{r}\,.\,\frac{\pi r^4 - \pi r'^4}{8} = \frac{R\pi}{4}\,\frac{r^4 - r'^4}{r}.$$

Rectangle oblique. — Lorsque les lignes qui forment le contour de la section transversale sont obliques par rapport à la tranche des fibres invariables, ou lorsque le contour de cette section n'est pas symétrique par rapport à l'axe neutre, la détermination du moment de rupture offre un peu plus de difficulté. L'exemple suivant suffira pour indiquer la marche à suivre en pareil cas.

Soit à déterminer l'expression du moment de résistance à la rupture d'une poutre de section rectangulaire dont les grands côtés font avec l'axe neutre l'angle φ (*fig.* 831).

Faisons AB = b, BC = a, BG = z, CH = ζ.

Le moment de rupture du trapèze DBCE sera évidemment égal au moment de rupture du grand triangle DBF, diminué de celui du petit triangle ECF; et d'un autre côté, les moments de ces deux triangles seront respectivement égaux au quart de ceux des rectangles ayant DF, EF pour base, et BG, CH pour hauteur.

D'après cela, le moment du trapèze DBCE pourra s'exprimer par :

$$\frac{R}{12z}\left(DF\times z^3-EF\times\zeta^3\right)=\frac{R}{6z}\left(\frac{DF}{2}\times z\times z^2-\frac{EF}{2}\times\zeta\times\zeta^2\right),$$

ou bien en désignant par S et S' les surfaces $\frac{DF}{2}\times z$ et $\frac{EF}{2}\times\zeta$ du grand et du petit triangle :

$$\frac{R}{6z}\left(Sz^2-S'\zeta^2\right)\ldots\ldots\ldots

$$= \frac{R}{6\left(\frac{b}{2}\sin\varphi + \frac{a}{2}\cos\varphi\right)}\left(S - S'\right)\frac{1}{2}\left(b^2\sin^2\varphi + a^2\cos^2\varphi\right)\ldots\ldots \text{(c)}$$

Remarquant, d'un autre côté, que $S - S' = \frac{ab}{2}$ il vient en doublant l'expression (c),

$$\sigma = \frac{R\,ab}{6}\cdot\frac{b^2\sin^2\varphi + a^2\cos^2\varphi}{b\sin\varphi + a\cos\varphi}.$$

Observation. — Du reste l'on aura remarqué que le moment de rupture mis en suite de l'hypothèse admise, quant à l'emplacement de l'axe neutre, sous la forme:

$$\frac{R}{z}\left(\int_0^a du\int_0^{f(u)} dv v^2 + \int_0^a du\int_0^{f'(u)} dv' v'^2\right),$$

n'est rien autre chose que le moment d'inertie de la section transversale multiplié par $\frac{R}{z}$, abstraction faite de la densité qui est supposée uniforme.

571. Usage des moments de rupture. — Les diverses expressions de σ serviront à calculer la charge capable de *rompre* un solide dont les dimensions transversales sont connues, ou réciproquement. Elles serviront également à déterminer le poids dont on peut le charger sans danger d'une manière permanente lorsque sa section transversale sera donnée, ou bien sa section transversale quand la charge permanente sera fixée à l'avance. Il n'y aura, pour ce dernier cas, qu'à remplacer le coefficient de rupture R par R'_1, ou par R', dans les formules du tableau inséré au n° 570, en prenant en général celui de ces deux derniers dont la valeur est la plus petite (1).

---

(1) Navier (*Résumé des leçons sur l'application de la mécanique à l'établissement des constructions*) et après lui, Ardant (*Études théoriques et expérimentales sur les charpentes à grande portée*) prennent, dans ce même cas, pour limite des charges permanentes, un certain coefficient R', déduit d'un autre coefficient R, dont la valeur a été obtenue par la rupture des solides au moyen de la flexion. Ces coefficients ne concordent alors, le plus souvent et pour des raisons que je ferai connaître plus tard, ni avec ceux qui conviennent aux solides tirés dans le sens de leur longueur ni avec ceux qui conviennent aux mêmes solides comprimés dans le même sens; ils en diffèrent même quelquefois très-notablement. Néanmoins, malgré cette anomalie, ces savants ne craignent pas d'en faire usage pour des cas où tout en se combinant avec des forces de flexion, les forces d'extension et de compression directes peuvent jouer cependant le rôle le plus important (notamment Navier, nos 406 et 420, et Ardant, nos 28 à 33, appendice). Il me paraît qu'en procédant ainsi, l'on peut être conduit à des erreurs graves et compromettantes pour la solidité dans certains cas. Je vais le montrer par des exemples : Soit à déterminer au moyen de la formule d'Ardant (n° 28) la traction permanente qu'on peut faire subir dans le sens de son axe à un prisme de fonte d'un mètre de longueur, et de $0^m,10$ de côté encastré horizontalement par un bout et portant à l'autre un poids de 500 kilogr.; faisant usage du coefficient R' d'Ardant et Navier $= 7{,}500{,}000$ kilogr., on trouve pour la traction exprimée par Q :

$$Q = 75{,}000^k - 30{,}000^k = 45{,}000^k.$$

Tandis qu'en ne tenant pas compte des forces de flexion, auquel cas on doit faire, suivant Navier et Ardant lui-même, $R' = 3{,}250{,}000$ au plus, on trouverait seulement :

$$Q = 32{,}500^k.$$

Ainsi, 1° qu'il s'agisse de déterminer la charge P que peut porter sans danger et indéfiniment une poutre de chêne de section rectangulaire connue ab et de longueur l encastrée par une extrémité, et chargée à l'extrémité libre : on prendra dans le tableau au n° 570 la valeur de $\sigma = \frac{Ra\,b^2}{6}$, on cherchera dans celui qui termine cette section les valeurs de R' et de R'_1 relatives au chêne, et remarquant que R'_1 est plus petit que R', on posera pour résoudre la question proposée :

$$Pl = \frac{R'_1\,ab^2}{6},$$

d'où l'on tirera :

$$P = \frac{R'_1\,ab^2}{6l},$$

2° Veut-on connaître le diamètre (d) qu'il faut donner à un cylindre circulaire de fonte encastré et chargé de la même manière que la poutre en chêne, pour supporter un poids donné P, sans danger et d'une manière permanente : on prendra dans le tableau du n° 570 $\sigma = \frac{R\,\pi\,r^3}{6}$; on cherchera les valeurs R' et R'_1 relatives à la fonte dans le tableau qui termine cette section, et remarquant cette fois que R' est plus petit que R_1, on posera :

$$Pl = \frac{R'\,\pi\,r^3}{4},$$

d'où l'on tirera :

$$r = \sqrt[3]{\frac{4Pl}{R'\pi}} \qquad d = 2r = 2\sqrt[3]{\frac{4Pl}{R'\pi}},$$

Mon appréciation donnerait

$$Q = 32{,}500^k - 30{,}000^k = 2{,}500^k.$$

Supposons encore une pièce de fonte de $0^m{,}10$ d'équarrissage, longue de 2 mètres, encastrée par un bout et sollicitée à son extrémité libre par une force perpendiculaire à son axe = 100 kil. et par une force comprimante X parallèle à l'axe. On trouve pour la valeur de cette force X, en faisant usage des coefficients de Navier et d'Ardant :

$$X = 75{,}000^k - 12{,}000^k = 63{,}000^k.$$

Si l'on ne tenait pas compte de la force infléchissante, le coefficient ne pourrait être pris égal qu'à 4,000,000 kil. (le côté de l'équarrissage étant compris vingt fois dans la longueur), et l'on aurait seulement :

$$X = 40{,}000^k;$$

mon appréciation donnerait :

$$X = 32{,}500^k - 12{,}000^k = 20{,}500^k,$$

et je pense que, comme la précédente, elle est beaucoup plus voisine de la vérité en même temps que bien moins sujette à caution.

En tout état de cause, le procédé de Navier me paraît introduire dans les formules une ambiguïté qui laisse du doute dans l'esprit.

La marche que je propose évite ces inconvénients, autant qu'il est possible de le faire, sans introduire de nouvelles complications dans les calculs. Elle est conforme d'ailleurs à ce qui se fait en pratique dans tous les cas qui offrent quelque incertitude. Il sera toujours facile de distinguer ceux où il faudrait y faire exception.

572. Détermination de la flèche de courbure. — Lorsque des matériaux de construction sont soumis à des efforts de flexion, il est encore une autre question dont la solution est fort intéressante : c'est celle de savoir le changement de forme qu'ils subissent sous l'action des forces infléchissantes, et notamment la grandeur de la flèche de courbure.

Pour parvenir à cette solution, il n'y a qu'à exprimer le moment des résistances moléculaires du corps, en fonction du rayon de courbure du solide fléchi, et du coefficient d'élasticité.

En désignant, dans la fig. 812, kl par α, mn par ds, mO par ρ (rayon de courbure), ml par v, et remarquant que $\frac{kl}{mn} = \frac{\alpha}{ds} = i$ (allongement proportionnel ou par mètre), les triangles semblables mkl, nmO donnent :

$$\frac{kl}{mn} = \frac{ml}{mo} \text{ ou } \frac{\alpha}{ds} = i = \frac{v}{\rho}.$$

D'un autre côté l'on a, d'après le n° 561 (équation A),

$$i = \frac{q}{E\omega}.$$

On tire de ces deux équations, pour la tension q de la fibre kl correspondante à l'allongement proportionnel i,

$$q = \frac{v}{\rho} E\omega,$$

ou, en exprimant ω comme précédemment (567),

$$q = \frac{v}{\rho} E\, du\, dv.$$

Le moment de cette force par rapport à l'axe neutre est :

$$\frac{E}{\rho} du\, dv\, v^2,$$

et la somme des moments des réactions moléculaires dues à la résistance des fibres situées au-dessus de l'axe neutre :

$$\frac{E}{\rho} \int_0^a du \int_0^{f(u)} dv\, v^2.$$

L'on trouverait de même pour la somme des réactions dues à la résistance à la compression des fibres situées au-dessous de l'axe neutre :

$$\frac{E}{\rho} \int_0^a du \int_0^{f'(u)} dv' v'^2,$$

en se servant des mêmes notations qu'au n° 658.

La somme de toutes les résistances moléculaires qui agissent en sens contraire du poids P est donc :

$$\frac{E}{\rho} \left(\int_0^a du \int^{f(u)} dv\, v^2 + \int_0^a du \int_0^{f'(u)} dv' v'^2 \right).$$

573. Ce qu'on appelle moment de flexion. — Cette expression est désignée sous le nom de *moment de la résistance à la flexion* ou *moment de flexion ;* on la représente par $\frac{\varepsilon}{\rho}$.

ε a comme σ une valeur particulière, qui dépend non-seulement de la nature du solide et de sa section transversale, mais encore de la position que l'on assigne à l'axe neutre.

Or, en admettant, comme nous l'avons fait, que le coefficient d'élasticité E a la même valeur pour le corps comprimé que pour le corps tiré dans le sens de la longueur, on peut déterminer la position de cet axe, en remarquant que l'équilibre exige que la somme des forces moléculaires qui agissent au-dessus et au-dessous de l'axe neutre soit nulle ; on doit donc avoir :

$$\int_0^a du \int_0^f dvv = \int_0^a du \int_0^{f'(u)} dv'v',$$

condition qui indique que cet axe passe par le centre de gravité de la section transversale, comme on l'a admis, par hypothèse, pour le point où la rupture va avoir lieu (1).

574. Valeurs de ε pour les sections les plus employées. — Les valeurs particulières de ε se déterminent facilement en remarquant que la double intégrale définie

$$\int_0^a du \int_0^{f(u)} dvv^2 + \int_0^a du \int_0^{f(u)} dv'v'^2$$

est la même que celle qui entre dans l'expression du momemt de rupture, ce qui permettra de passer de ce dernier moment à celui de flexion, en posant :

$$\varepsilon : \sigma = E : \frac{R}{z},$$

d'où

$$\varepsilon = \frac{Ez\sigma}{R};$$

c'est-à-dire qu'il suffira de multiplier le moment de rupture par le coefficient d'élasticité E et par la distance de la fibre la plus éloignée de l'axe neutre z, et à le diviser par R, pour avoir ε.

Ainsi l'on a trouvé précédemment pour un prisme à base rectangulaire :

$$\sigma = R\frac{ab^2}{6};$$

---

(1) L'hypothèse que l'on rappelle ici s'éloignerait souvent beaucoup de la vérité et pourrait induire en erreur si l'on considérait l'état d'équilibre des corps au moment de la rupture ; mais comme, en construction, les charges permanentes sont bien loin de produire un pareil effet et même d'altérer l'élasticité de la matière, il est visible qu'elle ne peut, comme on l'a dit, influer sensiblement sur l'exactitude des formules de résistance qu'on a données au n° 567 lorsqu'on y remplace R par R' ou R'_1,

on aura :

$$\varepsilon = \frac{E}{R} \cdot \frac{b}{2} \cdot \frac{R\,ab^2}{6} = \frac{E\,ab^3}{12},$$

l'on a trouvé pour un solide de section circulaire, $\sigma = \frac{R\,\pi\,r^3}{4}$, l'on trouvera, en remarquant que $z = r$,

$$\varepsilon = \frac{E\pi r^4}{4},$$

et ainsi de suite.

Le tableau suivant donne, du reste, ces diverses valeurs de ε pour les figures considérées au tableau du n° 560.

TABLEAU DES VALEURS DE ε POUR LES SECTIONS TRANSVERSALES DES SOLIDES LES PLUS USITÉES.

FIGURE DE LA SECTION TRANSVERSALE.	NOTATIONS.	VALEURS DE ε.
Rectangle droit, *fig.* 813.	Largeur = a Hauteur = b	$\varepsilon = E\,\frac{ab^3}{12}$.
Rectangle oblique, *fig.* 814	Largeur = a Hauteur = b Angle du côté b avec l'axe neutre = φ	$\varepsilon = E\,\frac{ab}{12}\,(b^2 \sin^2\varphi + a^2\cos^2\varphi)$.
Idem la diagonale étant verticale	Id. id.	$\varepsilon = E\,\frac{ab}{12}\cdot\frac{b^4 + a^4}{b^2 + a^2}$.
Carré droit ou oblique, *fig.* 815 et 816 . . .	a = côté du carré	$\varepsilon = \frac{Ea^4}{12}$.
Cercle, *fig.* 817.	r = rayon du cercle	$\varepsilon = \frac{E\pi r^4}{4}$.
Tuyau circulaire, *fig.* 818.	r = rayon extérieur r′ = rayon intérieur	$\varepsilon = \frac{E\pi}{4}\cdot(r^4 - r'^4)$.
Tuyau carré droit ou oblique, *fig.* 819. . .	a = côté extérieur a′ = côté intérieur	$\varepsilon = \frac{E}{12}\,(a^4 - a'^4)$.
Tuyau rectangulaire droit, *fig.* 820.	a, b côtés extérieurs a′, b′ côtés intérieurs	$\varepsilon = \frac{E}{12}\,(ab^3 - a'b'^3)$.
Idem la diagonale étant verticale	Id.	$\varepsilon = \frac{E}{12}\cdot\frac{b^2(ab^3 - a'b'^3) + a^2(a^3b - a'^3b')}{a^2 + a^2}$.
Croix ordinaire et de Bourgogne simple, *fig.* 821 et 822.	b = longueur AB des branches a = épaisseur id.	$\varepsilon = \frac{E}{12}\,(b^3a + ba^3 - a^4)$.
Croix ordinaire et de Bourgogne renforcée. *fig.* 823 et 824.	b = longueur AB des branches a = épaisseur id. c = côté du carré de renfort	$\varepsilon = \frac{E}{12}[\,c^4 + a\,(b^3 - c^3) + a^3(b - c)]$.
Té simple, *fig.* 825.	b = hauteur totale AB a = largeur totale CD c = épaisseur de la tête CE d = épaisseur de la cote FG $z = \frac{1}{2}\,\frac{ac^2 - dc^2 + db^2}{ac - dc + db}$ = distance de l'axe neutre à la face supérieure	$\varepsilon = \frac{E}{3}[az'^3 - (a-d)(z'-c)^3 - d(b-z')^3]$
Té double, *fig.* 826	b = hauteur totale AB a = largeur de la tête CD c = l'épaisseur id. CE a′ = largeur du pied FG c′ = épaisseur id. FH d = épaisseur de la cote $z' = \frac{1}{2}\,\frac{ab^2 + sd^2 - s'\,d^2}{ab + sd - s'd}$ = distance de l'axe neutre à la face supérieure $z'' = b - z'$ $s = a - cs' = a' - c'$	$\varepsilon = \frac{E}{3}[az'^3 - a'\,z''^3 - s\,(z'-d)^3 - s'\,(z-d)^3]$.

FIGURE DE LA SECTION TRANSVERSALE.	NOTATIONS.	VALEUR DE ε.
Té double symétrique, *fig.* 827.....	b = hauteur totale AB a = largeur totale CD. c = épaisseur de la tête et du pied d = épaisseur de la cote	$\varepsilon = \frac{E}{12}[ab^3 - 2c(b-d)^3]$.
Pi, *fig.* 828.....	b = hauteur totale AB a = largeur totale BC b′ = hauteur du vide A′B′ a′ = largeur du vide B′C′ $z' = \frac{1}{2}\frac{ab^2 - a'b'^2}{ab - a'b'}$ = distance de l'extrémité inférieure des branches à l'axe neutre.	$\varepsilon = \frac{E}{3}[z'^3(a-a') + a(b-z')^3 - a'(b'-z')^3]$.
Ellipse, 829.....	b = demi-grand axe vertical a = demi-petit axe horizontal π = rapport de la circonférence au diamètre	$\varepsilon = \frac{E}{4}\pi ab^3$.
Tuyau elliptique, *fig.* 830.....	b = demi-grand axe vertical extérieur a = demi-petit axe horizontal intérieur b′ = demi-grand axe vertical extérieur a′ = demi-petit axe horizontal intérieur π = rapport de la circonférence au diamètre	$\varepsilon = \frac{E}{4}\pi(ab^3 - a'b'^3)$.

575. Équation d'équilibre. — Actuellement, si l'on considère encore un solide encastré horizontalement et fléchi par une force verticale P appliquée à son extrémité libre, l'on devra admettre qu'il y a équilibre entre l'action du poids P et les réactions moléculaires dans toute l'étendue du corps.

Ainsi, considérons une tranche infiniment petite *mn* (*fig.* 812) ; on pourra regarder la partie du solide située à droite de cette tranche comme courbée naturellement et inflexible et, pour que le poids P soit empêché de descendre, il faudra nécessairement que la somme des moments des réactions moléculaires pris par rapport à l'axe neutre dans la tranche *mn*, soit égale au moment du poids P par rapport au même axe.

Ce même raisonnement serait évidemment applicable à une tranche quelconque située entre le point d'encastrement et celui d'application de la charge, en regardant comme courbée naturellement et inflexible la partie située à gauche de cette tranche, ainsi que celle située à droite.

Le moment des réactions moléculaires est donc pour une tranche quelconque, et d'après ce qu'on a vu plus haut :

$$\frac{\varepsilon}{\rho}.$$

Désignons par :

x l'abscisse np (*fig.* 812) d'un point q de la courbe du solide, comptée sur l'horizontale nX ;

y l'ordonnée pq comptée sur la verticale nY ;

l la distance horizontale nB', qu'on peut prendre, dans les applications, égale à $n\beta$, à cause de la petitesse des flexions considérées ;

f l'ordonnée $B'\beta$ ou la *flèche de courbure*.

L'équation d'équilibre entre les réactions moléculaires et la force P sera :

$$\frac{\varepsilon}{\rho} = P\,(l - x);$$

ou en mettant pour ρ son expression différentielle,

$$\frac{\left(1 + \frac{dy^2}{dx^2}\right)^{\frac{3}{2}}}{\frac{d^2y}{dx^2}}$$

il vient :

$$\frac{\varepsilon\,\frac{d^2y}{dx^2}}{\left(1 + \frac{dy^2}{dx^2}\right)^{\frac{3}{2}}} = P\,(l - x).$$

D'après la remarque qu'on vient de faire, que dans les constructions ordinaires les flexions qu'on considère sont toujours très-petites, le carré de $\frac{dy}{dx}$ est une quantité insignifiante devant l'unité, et l'on peut poser tout simplement :

$$\varepsilon\,\frac{d^2y}{dx^2} = P\,(l - x).$$

Cette équation est celle de la courbe connue sous le nom d'*élastique*.

En intégrant une première fois et remarquant que pour $x = 0$, $\frac{dy}{dx} = 0$ et constante $= 0$, il vient :

$$\varepsilon \frac{dy}{dx} = P\left(lx - \frac{x^2}{2}\right).$$

Intégrant une seconde fois et remarquant que pour $x = 0$, $y = 0$, const. $= 0$, on a l'équation de la courbe en quantités finies :

$$y = \frac{P}{\varepsilon}\left(\frac{lx^2}{2} - \frac{x^3}{6}\right).$$

576. Expression de la flèche de courbure. — Faisant dans cette dernière équation $x = l$, on aura :

$$y = f = \frac{Pl^3}{3\varepsilon}.$$

Et s'il s'agit d'un solide de section rectangulaire,

$$f = \frac{4Pl}{Eab^3}.$$

La flèche de courbure est donc, dans ce cas, directement proportionnelle au poids qui la produit et au cube de la longueur du solide, et en raison inverse du coefficient d'élasticité, de la largeur de la section transversale et du cube de la hauteur de cette même section.

La méthode que nous venons d'exposer est générale ; elle se prête à la solution de tous les problèmes que peuvent présenter les corps soumis à des efforts de flexion, comme nous le montrerons plus loin par de nombreux exemples.

IV. — CORPS SOUMIS A LA TORSION.

577. Recherche de l'expression générale du moment de résistance à la rupture par torsion. — On peut apprécier la résistance d'un corps à des efforts de torsion par des considérations analogues aux précédentes.

Soit ABCD (*fig.* 832) un corps de section circulaire, solidement encastré en AB, et sollicité à son extrémité libre par une force P agissant tangentiellement à un cercle dont le centre serait sur l'axe même du solide.

Sous l'action de cette force, le corps se tordra, c'est-à-dire que toutes ses fibres moléculaires, préalablement parallèles à l'axe EF, prendront une position plus ou moins inclinée par rapport à cet axe.

Comme le cylindre ne varie pas de longueur par l'effet de la torsion, il en résulte que, pour atteindre ces nouvelles positions, les fibres auront dû subir des allongements qui, à leur tour, auront développé des tensions plus ou moins considérables.

Au moment où la rupture a lieu, chacune des fibres extérieures AD' supporte une tension égale à $R\omega$, ω étant l'aire de la section transversale de la fibre.

Remarquons actuellement que la tension $R\omega$ tend à ramener cette fibre dans sa position primitive, en développant une composante tangentielle au cercle agissant directement en sens contraire de P. Soit T la valeur de cette composante (1), rapportée à l'unité de surface, $T\omega$ exprimera la résistance de la fibre AD' à la torsion.

Comme il est visible, d'un autre côté, que plus la fibre que l'on considère est éloignée de l'axe EF, plus elle s'écartera de sa position première, plus, par conséquent, elle sera allongée, et plus enfin sa tension longitudinale et la résistance à la torsion qui en provient seront considérables, on pourra poser, en appelant r la distance qui sépare ces fibres les plus éloignées de l'axe EF, v la distance de la fibre considérée au même axe, et q sa tension :

$$T\omega : q = r : v$$

$$q = T\omega \frac{v}{r} ;$$

le moment de cette résistance est :

$$T\omega \frac{v^2}{r},$$

et la somme des moments des résistances dues à toutes les fibres de la section transversale :

$$\frac{T}{r} \int \omega v^2$$

L'intégrale générale $\frac{T}{r} \int \omega v^2$ est désignée sous le nom de *moment de résistance à la rupture par torsion*. Elle a une valeur qui dépend de la section transversale du solide et de la résistance à la torsion de chaque substance particulière.

578. Valeurs particulières de ce moment, et équation d'équilibre. Cylindre plein. — Cette intégrale s'obtient aisément dans le cas considéré, en remarquant que le raisonnement que l'on a fait à l'égard d'une fibre peut s'étendre à toute une couche cylindrique, située à la distance v de l'axe dont l'épaisseur sera dv et la surface $\omega = 2\pi v dv$, l'on pourra, d'après cela, remplacer l'intégrale $\frac{T}{r} \int \omega v^2$ par :

$$\frac{2T\pi}{r} \int_0^r v^3 dv = \frac{T\pi r^3}{2}.$$

Appelant L le bras de levier à l'extrémité duquel agit la force, l'équation d'équilibre sera :

$$PL = T.\frac{\pi r^3}{2}. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (A)$$

---

(1) Suivant Navier, R est lié à T par la relation suivante : $T = \frac{4}{5}R$. (*Leçons sur l'application de la mécanique aux constructions*, t. I, p. 109.)

Cylindre creux. — Si le cylindre était creux, l'intégrale devrait être prise entre les limites r' et r, r' étant le rayon de la partie vide, et l'on aurait :

$$PL = T\pi \frac{r^4 - r'^4}{2r} \quad \text{(B)}$$

Prisme rectangulaire. — Considérons encore un solide de section rectangulaire (*fig.* 833) dont les côtés sont a et b ; l'on aura :

$$r = \frac{1}{2}\sqrt{a^2 + b^2},\ v^2 = x^2 + y^2,\ \omega = dx\,dy,$$

$$\text{et } \frac{T}{r}\int \omega v^2 = \frac{4T}{\frac{1}{2}\sqrt{a^2+b^2}} \iint dx\,dy\,(x^2 + y^2) = PL$$

$$= \frac{8T}{\sqrt{a^2+b^2}}\left(\int_0^{\frac{a}{2}} x^2 dx \int_0^{\frac{b}{2}} dy + \int_0^{\frac{a}{2}} dx \int_0^{\frac{b}{2}} y^2 dy\right).$$

Intégrant le premier terme par rapport à y et le deuxième par rapport à x, il vient :

$$\frac{8T}{\sqrt{a^2+b^2}}\left(\frac{b}{2}\int_0^{\frac{a}{2}} x^2 dx + \frac{a}{2}\int_0^{\frac{b}{2}} y^2 dy\right).$$

Intégrant de nouveau entre les limites indiquées,

$$\frac{8T}{\sqrt{a^2+b^2}}\left(\frac{b}{2}\cdot\frac{a^2}{24} + \frac{a}{2}\cdot\frac{b^3}{24}\right).$$

L'équation d'équilibre est :

$$PL = \frac{Ta^3b + b^3a}{6\sqrt{a^2+b^2}} = \frac{T}{6}\cdot\frac{ab\,(a^2+b^2)}{\sqrt{a^2+b^2}} \quad \text{(C)}$$

Prisme à base carrée. — Si la section était carrée, on aurait : a = b et

$$PL = \frac{Ta^3}{3\sqrt{2}} \quad \text{(D)}$$

Les formules (A), (B), (C), (D) serviront à calculer la section transversale des pièces, en y remplaçant T par T', c'est-à-dire par la plus grande valeur du plus grand effort de torsion auquel on juge prudent de soumettre les fibres les plus éloignées de l'axe du solide.

V. — CORPS SOUMIS A LA DISJONCTION.

579. — Lorsqu'un solide encastré est sollicité par une force P (*fig.* 834), agissant dans le plan même de l'encastrement, ou très-près de ce plan, elle ne tend plus comme précédemment à le comprimer, à l'étendre, à le fléchir ou à le tordre, mais bien à le déchirer suivant un plan situé dans le prolongement de la force P.

Cependant, dans ce cas encore, on peut concevoir que les fibres moléculaires du corps subissent un allongement, à la suite duquel il peut y avoir rupture s'il dé-

passe une certaine limite. Quoiqu'il soit difficile d'apprécier la grandeur de ces allongements sous l'action de charges données, et de déterminer les limites des charges ou des allongements permanents en fonction de R ou de E, on n'en conçoit pas moins que la résistance à la disjonction doit être proportionnelle, comme dans le cas d'extension directe, à l'aire de section transversale du corps.

Si l'on désigne par D un coefficient spécifique constant représentant la résistance du corps à la rupture opérée de cette manière, Ω l'aire de la section transversale, on aura pour exprimer la résistance du corps à la rupture par disjonction :

$$Q = D\Omega ;$$

et pour déterminer soit la charge permanente, quand Ω sera connu, soit Ω quand on se donnera la charge :

$$Q' = D'\Omega,$$

D' étant une fraction de D, déterminée par expérience.

Tels sont les points les plus intéressants à connaître, pour le constructeur, de la théorie de la résistance des matériaux. Il nous reste, pour en faire comprendre toute la portée, à appliquer ce qui précède aux cas les plus ordinaires de la pratique.

APPLICATIONS DE LA THÉORIE DE LA RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX A L'ÉTABLISSEMENT DES CONSTRUCTIONS.

I. — MATÉRIAUX SOUMIS A L'EXTENSION OU A LA COMPRESSION.

580. Question à résoudre. — Toutes les questions où l'on a à considérer la matière soumise à des efforts de compression ou d'extension directe, sont d'une solution excessivement simple.

Elles reviennent toutes à celles-ci :

1° *Étant donnée la charge que doit supporter le corps, déterminer la section transversale.*

2° *La section transversale étant donnée, déterminer le poids dont on peut charger le corps en toute sécurité.*

581. Formules à cet effet. — Ces questions se résolvent au moyen des formules :

$$Q' = R'\Omega \qquad Q' = R'_1\Omega$$

des n^os^ 562 et 563 ;

lesquelles deviennent :

POUR UN SOLIDE	SOUMIS	
	A L'EXTENSION.	A LA COMPRESSION.
De section rectangulaire dont a et b sont les côtés.....	$Q' = R'ab$ d'où $ab = \frac{Q'}{R'}$.	$Q' = R'_1 ab$ d'où $ab = \frac{Q'}{R'_1}$.
De section carrée dont a est le côté..	$Q' = R'a^2$ d'où $a = \sqrt{\frac{Q'}{R'}}$.	$Q' = R'_1 a^2$ d'où $a = \sqrt{\frac{Q'}{R'_1}}$.
De section circulaire dont d est le diamètre.....	$Q' = \frac{R'\pi d^2}{4}$ d'où $d = 1{,}13\sqrt{\frac{Q'}{R'}}$	$Q' = \frac{R'_1 \pi d^2}{4}$ d'où $d = 1{,}13\sqrt{\frac{Q'}{R'_1}}$.

Lorsque la section est rectangulaire, il faut nécessairement se donner a ou b ou bien une relation qui les lie. Faisant, par exemple, $b = na$, les formules donnent :

$$a = \sqrt{\frac{Q'}{nR'}} \quad \text{et} \quad a = \sqrt{\frac{Q'}{nR'_1}}.$$

582. Échelles propres à remplacer les formules. — Quoique les formules rapportées au numéro précédent ne soient pas bien longues à calculer, on pourra cependant se dispenser de ces calculs en construisant, par le procédé que nous allons indiquer, des échelles qui donneront immédiatement, au compas et avec assez d'exactitude pour les applications pratiques, la solution des questions proposées.

On aura pu remarquer que toutes ces formules sont de la forme :

$$y^2 = 2px,$$

c'est-à-dire de l'équation d'une parabole rapportée à deux axes rectangulaires et passant par l'origine des coordonnées, dans laquelle les ordonnées représenteraient le côté de l'équarrissage ou le diamètre des pièces, et les abscisses les charges correspondantes.

On pourrait donc, procédant, par exemple, sur la formule :

$$a^2 = \frac{Q'}{R'},$$

construire, en les rapportant à deux mêmes axes coordonnés, toutes les diverses paraboles qu'on obtiendrait en assignant à R' ses différentes valeurs dépendantes de la nature des matériaux de construction, et former ainsi une véritable échelle, qui comprendrait dans un petit espace la solution d'une infinité de problèmes.

Cette construction, quoique déjà fort simple en elle-même, peut cependant être encore simplifiée, tout en permettant de mettre ces échelles sous une forme plus commode.

Supposons que l'on ait construit la parabole représentée par l'équation :

$$a^2 = \frac{Q'}{100.000} \quad \text{(A)}$$

comme nous l'avons fait dans la fig. 835, c'est-à-dire qu'ayant tracé une droite indéfinie AB, on ait : 1° divisé cette droite en un certain nombre de centimètres, par exemple, représentant chacun une charge équivalente à un tonneau métrique ou 1,000 kilogrammes ; 2° qu'aux points de division on ait ensuite mené les perpendiculaires 1. 1. 2. 2. 3. 3... et qu'on ait porté sur ces perpendiculaires les grandeurs correspondantes des abscisses ou des équarrissages réduits à une échelle quelconque, au 1/10 par exemple ; 3° qu'on ait enfin projeté sur une droite A'Y' parallèle à AY toutes les ordonnées de la courbe correspondant à des charges de 1.2.3.4... n tonneaux métriques. Admettons ensuite qu'on ait à construire une seconde courbe représentée par l'équation :

$$a'^2 = \frac{Q'}{800.000} \quad \text{(B)}$$

Il est visible que, si l'on divise cette équation par l'équation (A), on obtiendra la relation suivante entre les ordonnées de cette nouvelle parabole et celles déjà connues de la première :

$$a' = a\sqrt{\frac{1}{8}}.$$

En général, on aura la relation :

$$a' = a\sqrt{\frac{R'}{R''}}$$

pour passer de la valeur des ordonnées de la première parabole, que nous appellerons *parabole module*, à celle d'une autre correspondante aux mêmes abscisses ou charges. Or cette relation n'est rien autre chose que l'équation d'une droite passant par l'origine de coordonnées rectangles, et faisant avec l'axe des X un angle dont la tangente a pour mesure $\sqrt{\frac{R'}{R''}}$ quantité que nous représenterons par K.

Si donc l'on mène par le point A', projection du centre des coordonnées de la parabole module, diverses droites A'Z... faisant avec l'axe A'Y' des angles dont la tangente soit égale aux diverses valeurs que peut prendre K, ces droites couperont les lignes indéfinies passant par les points I, II, III, IV, de manière que pour les diverses valeurs de a comptées sur A'Y' elles donneront la relation $a' = aK$. Comme ces valeurs de a, déterminées par la projection des abscisses de la parabole module, correspondent à des charges 1. 2. 3. 4... n tonneaux métriques, les autres correspondront aux mêmes charges, que l'on pourra écrire comme nous l'avons fait aux différents points de division susmentionnés.

On peut se dispenser de calculer les ordonnées de la parabole module soit en construisant graphiquement cette parabole par les méthodes connues, soit en se servant

de tables qui donnent les racines carrées de la suite des nombres 0,01, 0,02, 0,03, 0,04 qui se rapportent à des valeurs de Q égales à 1, 2, 3, 4. .. tonneaux métriques.

Nous donnons d'ailleurs comme exemple (*fig.* 836), une échelle construite d'après cette méthode, et qui pourra servir à résoudre les problèmes relatifs à l'extension et à la compression.

La grandeur des équarrissages se compte depuis la ligne supérieure, quand il s'agit d'extension, et depuis la ligne inférieure quand il s'agit de compression; jusqu'à la ligne inclinée qui porte l'indication de la matière soumise à ces efforts : elle est donnée réduite au 1/10.

Les chiffres marqués à côté du nom des matériaux indiquent combien de fois le côté de l'équarrissage est compris dans la longueur. Cette donnée a, comme on le verra par la suite, une influence très-marquée sur la valeur qu'on doit assigner à R'. Cette dernière valeur est d'ailleurs renseignée au-dessus de chacune des différentes lignes limites, ainsi que la valeur de K, qui a servi à en mesurer l'inclinaison.

Il suffira d'un exemple pour ne laisser aucun doute sur l'emploi de cette échelle.

On demande l'équarrissage à donner à une pièce de chêne fort, destinée à porter 4,000 kilogrammes, en supposant que sa longueur ne dépasse pas 24 fois le côté de l'équarrissage.

On cherche sur la ligne inférieure 4 tonneaux, puis on prend au compas la grandeur de l'ordonnée passant par le point trouvé et s'arrêtant à la ligne inclinée marquée *chêne et sapin forts* 24. Cette grandeur *décuplée* donnera l'équarrissage cherché, égal à $0^m,135$.

Si l'on demandait la même chose pour une pièce soumise à l'extension, on prendrait la longueur de l'ordonnée ou de l'équarrissage réduit au 1/10, à partir de la ligne supérieure jusqu'à la ligne inclinée de bas en haut, marquée *chêne ou sapin fort*. L'équarrissage serait égal à 0,065.

On pourrait construire des échelles semblables pour les corps de section circulaire ou de section rectangulaire ; mais on peut s'en exempter en remarquant que, pour des charges égales et pour les mêmes valeurs de R' ou de R'_1, on a les relations:

$$d = 1{,}13\, a.$$

$$a' = a\sqrt{\frac{1}{n}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

---

(1) La formule relative à la section carrée est en effet (571) $a = \sqrt{\frac{Q'}{R'}}$,

celle relative à la section circulaire est $d = 1{,}13\sqrt{\frac{Q'}{R'}}$,

et celle relative à la section rectangulaire $a' = \sqrt{\frac{Q'}{nR'}}$;

divisant la première de ces équations par chacune des deux autres, on a

dans lesquelles a désigne l'équarrissage trouvé au moyen de l'échelle précédente, d le diamètre correspondant, a' le petit côté du rectangle, et n' le rapport du grand au petit côté que l'on se donne à *priori*.

Ces relations peuvent se calculer très-rapidement ou se construire géométriquement.

Supposons, par exemple, qu'on demande quel doit être le diamètre d'une pièce de chêne fort de section circulaire, en supposant, comme ci-dessus, que ce diamètre ne sera pas compris plus de 24 fois dans la longueur et que la pièce sera chargée de 4,000 kilogrammes.

Ayant trouvé, comme on l'a montré tout à l'heure, que le côté de l'équarrissage d'une telle pièce, supposée de section carrée, est de $0^m,135$, on a, pour déterminer le diamètre cherché :

$$d = 1,13 \times 0,135 = 0,15 \text{ à peu près.}$$

Si cette même pièce devait être de section rectangulaire dans la proportion $n = 2$, on aurait pour le petit côté :

$$a' = 0,135 \sqrt{\frac{1}{2}} = 0,095 \text{ à peu près.}$$

Le grand côté serait égal à $2\,a' = 0,19$.

583. Formules propres à déterminer l'épaisseur à donner aux tuyaux de conduite et aux chaudières. — Les tuyaux de conduite des eaux ou des gaz, ainsi que les chaudières des machines à vapeur, sont soumis à des pressions intérieures, dirigées normalement aux parois, qui ont pour résultat de produire l'extension de la matière. L'épaisseur des parois de ces tuyaux se déterminerait donc en faisant usage de la formule $ab = \frac{Q'}{R'}$, dans laquelle a représenterait la longueur du tuyau, b l'épaisseur cherchée Q' la force d'extension exercée dans le sens de l'axe de la section transversale, et R' la limite de la charge permanente relative à la substance employée.

On pourra s'exempter de cette recherche en faisant usage des formules suivantes, rapportées dans *l'Aide-mémoire* d'Arthur Morin (1).

Désignant par d le diamètre intérieur du tuyau, e l'épaisseur du métal, n le nombre d'atmosphères équivalent à la pression sur chaque mètre carré (2), on a :

Pour les tuyaux en fonte . . . . . $e = 0,0007\ nd + 0,01$.
— en fer . . . . . $e = 0,0005\ nd + 0,003$.
— en plomb . . . . . $e = 0,005\ nd + 0,0045$.

$$\frac{a}{d} = \frac{1}{1,13} \quad d = 1,13\,a.$$

$$\frac{a}{a'} = \sqrt{\frac{n}{1}} \quad a' = a\sqrt{\frac{1}{n}}.$$

(1) *Aide-mémoire de mécanique pratique*, p. 261 (édition belge).

(2) 10,333 kilogrammes.

Pour les tuyaux en bois . . . . . $e = 0{,}833\ nd + 0{,}027$.
— en pierres naturelles. . . $e = 0{,}05\ nd$
— en pierres factices. . . . $e = 0{,}10\ nd$

Pour les chaudières de machines à vapeur en tôle de fer, on se sert de la formule suivante :

$$e = 0{,}018\ d\ (n - 1) + 0{,}003.$$

584. Application aux ponts suspendus.— Un pont suspendu (*fig.* 837) se compose de câbles ou de chaînes de fer AB, solidement amarrés dans le sol et portés sur des piliers élevés P en maçonnerie ou en métal. De distance en distance, des tiges verticales appelées *tiges de suspension* C, sont fixées à ces chaînes, et à leur extrémité sont attachées les traverses horizontales du tablier de pont D.

On voit, d'après ce dispositif, que les chaînes et les tiges de suspension sont uniquement soumises à des efforts d'extension, tandis que les piliers subissent des efforts de compression, et que c'est au moyen des formules du n° 571 qu'on doit déterminer leur section transversale.

585. Données. — Pour fixer les idées, supposons que le pont ait 100 mètres d'ouverture sur 5 mètres de largeur totale ; que les tiges de suspension soient de section circulaire et au nombre de 162, espacées régulièrement.

Supposons encore que les traverses du tablier aient 20/25 centimètres d'équarrissage, que le redoublement du pont ait en tout 15 centimètres d'épaisseur, et finalement que toute la charpente soit en chêne.

586. Détermination de la section des tiges de suspension. — On commencera par déterminer le diamètre de ces tiges de suspension ; et à l'effet d'estimer la charge qu'elles supportent, on supputera le poids du tablier et de tous ses accessoires : on augmentera ce poids des plus fortes charges qui peuvent accidentellement stationner sur le pont et en divisant la charge totale par le nombre des tiges, on aura le poids porté par chacune d'elles.

Dans le cas présent, on aura pour estimer le poids du tablier : 81 traverses longues de 5 mètres et d'un équarrissage de 20/25 centimètres, cubant . . . . . $20^{m3},25$
Le volume du tablier sera égal à $100 \times 5 \times 0{,}15$ 75, 00
Total . . . . $95^{m3},25$

La pesanteur spécifique du chêne étant de $0^k,905$, ce volume représentera un poids de. 86201, 25
Ajoutant à ce poids : 1° pour garde-corps, étriers, boulons, etc., environ 15000, 75
2° Pour les plus fortes charges éventuelles 200^k par mètre carré de tablier, soit pour 500^m 100000, 00
On aura pour la charge maximum . . . . . 201201^k, 00

D'après ce qui a été dit plus haut, le poids supporté par chaque tige est

$$\frac{201201^k}{162} = 1242 \text{ kilogrammes environ.}$$

Mettant cette valeur à la place de Q dans la formule du n° 571

$$d = 1{,}13\sqrt{\frac{Q}{R'}},$$

et à la place de R′ sa valeur déduite de l'expérience = 3000000^k, on obtient :

$$d = 1{,}13\sqrt{\frac{1242}{3000000}} = 0^m{,}023 \text{ environ.}$$

587. Détermination de la section des chaînes de suspension. — Pour déterminer la section des chaînes de suspension, il faut d'abord calculer la charge qu'elles ont à supporter et ensuite la tension qui en résulte. La charge se compose du poids des tiges de suspension, de celui du tablier du pont et de ses surcharges et enfin de celui des câbles eux-mêmes.

Pour calculer le poids des tiges, il faut d'abord en déterminer la longueur totale.

A cet effet, on se rappellera qu'on a démontré en mécanique que la courbe formée par une chaîne chargée de poids uniformément répartis, est une parabole; on en calculera les ordonnées au moyen de l'équation connue.

La somme de toutes ces ordonnées a pour expression :

$$s = \frac{4fl^2}{3d^2}\, n(n+1)(2n+1) \ldots\ldots\ldots (1)$$

lorsqu'il se trouve une ordonnée au point le plus bas de la courbe et

$$s = \frac{4fl^2}{3d^2}\, n(4n^2-1)$$

dans le cas contraire.

La première formule est celle dont on doit faire usage pour l'exemple proposé.

En y introduisant les valeurs fournies par les données de la question et en faisant $f = 10$ mètres, on trouve

$$s = \frac{4 \times 10 \times \overline{1{,}25}^2}{3 \times \overline{100}^2} \cdot 80\,(80+1)\,(2 \times 80 + 1) = 2173 \text{ mètres à peu près.}$$

Si le tablier est horizontal et passe par le point le plus bas de la courbe caténaire, cette longueur sera celle des tiges de suspension elles-mêmes, mais s'il en est situé encore à une certaine distance, il faudra, si le tablier est horizontal, ajouter autant de fois cette distance qu'il y a d'ordonnées, et si le tablier est lui-même de forme parabolique, ajouter encore à cette longueur, celle de toutes les ordonnées de cette dernière courbe.

---

(1) f = flèche du pont ou distance verticale du point le plus bas de la chaîne au-dessous du sommet du support.

l = distance d'une tige de suspension à l'autre.

n = nombre des subdivisions égales à l.

d = ouverture du pont.

Adoptons, pour l'exemple proposé, la première de ces deux dispositions, et supposons que le tablier passe à un mètre au-dessous du point le plus bas de la courbe, la longueur des deux lignes de tiges sera, d'après ce qu'on vient de dire :

$$2\ (2{,}173+81) = 4^{m},508.$$

Leur diamètre étant fixé à $0^{m},023$ (576), leur volume sera :

$$\frac{4508 \times 3,14 \times \overline{0,023}^{2}}{4} = 1^{m.3},88,$$

et leur poids, la pesanteur spécifique du fer étant $7^{k},788$,

$$7,788 \times 1,88 = 14^{k},751.$$

Ce poids ajouté à celui du pont donnera, pour la charge uniformément répartie sur les câbles, indépendamment de leur propre poids,

$$201201^{k} + 14^{k},751 = 215952 \text{ kilogrammes.}$$

Le poids des câbles dépendant de leur grosseur inconnue, on devra faire une hypothèse. Supposons-le égal à 35000 kilogrammes, la charge totale uniformément répartie sur chacun des câbles serait :

$$\frac{215952^{k} + 35000^{k}}{2} = 125476 \text{ kilogrammes.}$$

Maintenant, connaissant cette charge totale, il sera facile de déterminer la tension *maximum* et par suite l'aire de la section transversale de la chaîne.

La tension *maximun* d'une chaîne uniformément pesante est exprimée par :

$$T = \frac{P}{4}\sqrt{\frac{d^{2}}{4f^{2}} + 4}.$$

P représentant la charge totale, d et f ayant les mêmes significations que ci-dessus.

On aura donc ici :

$$T = \frac{125476}{4}\sqrt{\frac{\overline{100}^{2}}{4 \times \overline{10}^{2}} + 4} = 156845 \text{ kilogrammes.}$$

Mettant cette valeur à la place de Q dans la formule

$$Q = R'\,\Omega,$$

et assignant à R' une valeur $= 7000000$ kilogrammes,
on en tirera

$$\Omega = \frac{156845}{7000000} = 0^{m2},0236.$$

Quand on connaîtra la disposition générale de la chaîne, on trouvera aisément, soit le diamètre, soit les côtés de la section transversale des chaînons.

Supposons, par exemple, que la chaîne offre, comme au pont de Seraing, la dispo-

sition représentée en plan et en élévation par la figure 838, on aurait pour la section de chaque branche de chaînon :

$$\frac{0,0236}{32} = 0^{m2},0007.$$

Faisant l'épaisseur horizontale du chaînon $= 0^m,02$, son épaisseur verticale serait $= 0^m,036$.

588. Détermination de la section transversale des supports. — Reste maintenant à déterminer la section transversale des quatre piliers qui supportent les câbles et conséquemment tout le pont.

Pour déterminer la pression qu'ils ont à supporter, remarquons que dans ce genre de construction :

1° La tension *maximun* de la chaîne a lieu au point A, et qu'elle est dirigée suivant la tangente AT à la courbe en ce point ;

2° Que la tangente AT rencontre l'axe vertical de la parabole en un point T tel que l'on ait $BR = BS = f$;

3° Enfin que la chaîne d'amarrage ou de retenue AT′ est soumise à la tension *maximum* ,T et qu'elle fait ordinairement avec la verticale AX un angle $T'AX = XAT$.

Construisant le parallélogramme des forces, on a, en appelant Q la force verticale agissant au point A,

$$Q : T = AX : AT$$

$$= 4f : \sqrt{\frac{d^2}{4} + 4f^2},$$

d'où l'on tire :

$$Q = \frac{4fT}{\sqrt{\frac{d^2}{4} + 4f^2}}$$

ou en remplaçant T par sa valeur donnée plus haut et qui est

$$= \frac{P}{4}\sqrt{\frac{d^2}{4f^2} + 4}$$

il viendra : $$Q = P.$$

P ayant été trouvé précédemment égal à 125476 kilogrammes, on trouvera pour la section transversale du pilier :

$$\Omega = \frac{125476}{R'_1}.$$

Supposons le pilier en fonte, de section circulaire et dans des proportions telles que le diamètre soit compris 20 fois dans la hauteur, on fera : $R'_1 = 4000000^k$, et l'on trouvera ce $\Omega^m = 0^2,0013$ qu'on réaliserait, pour le cas présent, au moyen d'une colonne creuse en fonte de 50 centimètres de diamètre extérieur et de 2 centimètres d'épaisseur.

II. — MATÉRIAUX SOUMIS A LA FLEXION.

589. Questions à résoudre. — Les questions relatives aux matériaux soumis à la flexion sont les suivantes :

1° *Étant donnés les trois dimensions du solide, la charge qu'il supporte, ainsi que son mode de répartition et d'action, déterminer la flèche de courbure.*

2° *Étant donnés la longueur du solide, la charge qu'il supporte ainsi que son mode de répartition et d'action, déterminer sa section transversale.*

3° *Étant donnés les trois dimensions du solide, ainsi que le mode de répartition et d'action de la charge permanente, déterminer la grandeur de cette charge.*

590. Cas divers. — Les solides peuvent être :

1° Encastrés par une extrémité seulement ;

2° Posés sur deux appuis ;

3° Encastrés par une extrémité, l'autre posant sur un appui ;

4° Encastrés par les deux bouts à la fois.

Dans chacun de ces cas, la charge peut être en entier suspendue en un point, ou bien distribuée régulièrement ou irrégulièrement le long du solide ; elle peut agir perpendiculairement ou obliquement par rapport à son axe.

Traitons d'abord ces différents cas dans toute leur simplicité.

591. 1er Cas. — *Pièce encastrée à une extrémité chargée d'un poids* P *suspendu à l'autre bout.*

Cette question ayant été traitée au n° 564, nous nous bornons à rappeler ici les formules démontrées.

Soient :

P le poids qui détermine la flexion ;

l la longueur du solide entre son extrémité libre et le point d'encastrement ;

x l'abscisse d'un point quelconque situé sur la partie non encastrée ;

f la flèche de courbure ;

$\frac{\varepsilon}{\rho} = \varepsilon \frac{d^2y}{dx^2}$ le moment de flexion ;

σ le moment de rupture.

On a, pour arriver à la connaissance de la flèche de courbure, l'équation

$$\varepsilon \frac{d^2y}{dx^2} = \mathrm{P}\ (l - x),$$

et cette flèche est donnée par l'expression (565) :

$$f = \frac{\mathrm{P}l^3}{3\varepsilon} \ldots\ldots\ (\mathrm{A}).$$

Pour déterminer la section transversale, la charge étant connue, et réciproquement, on a (568) :

$$Pl = \sigma \ldots\ldots\ldots \text{(B)}.$$

Observations. — Dans ces formules, ε et σ doivent être remplacés par leur valeur dépendant de la section du solide, que l'on trouve dans les tableaux annexés aux nos 574 et 570, en substituant, dans la dernière, R' ou R'_1, à R, comme on l'a expliqué au n° 560. Cette observation est applicable à toutes les formules suivantes.

En remplaçant dans l'expression (A) P par sa valeur déduite de la formule (B) on a :

$$f = \frac{\sigma l^2}{3\varepsilon}.$$

Cette quantité exprime la flèche de courbure sous la charge permanente quand on y opère la substitution des valeurs de σ et de ε, ainsi qu'on vient de le dire.

592. 2e Cas. — *Pièce horizontale encastrée à une extrémité et chargée, sur toute sa longueur, de poids uniformément répartis.*

Appelant (*fig.* 839) l la longueur du solide, p la charge par unité de longueur, x et y l'abscisse et l'ordonnée d'un point quelconque m de la courbe du solide fléchi, on a :

$$\varepsilon \frac{d^2y}{dx} = p\,(l - x).\ \frac{1}{2}\,(l - x) \ldots\ldots\ldots \text{(A)}$$

$$= p\left(\frac{l^2}{2} - lx + \frac{x^2}{2}\right),$$

$$\varepsilon \frac{dy}{dx} = p\left(\frac{l^2x}{2} - \frac{lx^2}{2} + \frac{x^3}{6}\right),$$

$$\varepsilon\, y = p\left(\frac{l^2x^2}{4} - \frac{lx^3}{6} + \frac{x^4}{24}\right).$$

On n'a pas ajouté de constante à ces deux dernières équations, parce qu'on remarque, quant à la première, que pour $x = 0$, $\frac{dy}{dx} = 0$, $C = 0$; et quant à la seconde, que pour $x = 0$, $y = 0$, $C = 0$.

Faisant dans la dernière équation $x = l$, on a la plus grande ordonnée ou la flèche de courbure

$$f = \frac{pl^4}{8\varepsilon},$$

qui devient, quand on fait $pl = P$,

$$f = \frac{Pl^3}{8\varepsilon}.$$

On voit d'après cela que quand la charge, au lieu d'être en entier suspendue à l'extrémité libre, se trouve régulièrement répartie sur toute la longueur du solide, la flèche de courbure est égale aux $\frac{3}{8}$ seulement de ce qu'elle serait dans le premier cas.

Si dans l'équation (A) on fait $x = 0$, le second membre atteindra son maximum, et si l'on remplace $\varepsilon \frac{d^2y}{dx^2}$ par σ, qui n'en est qu'une valeur particulière sous une autre forme, on aura, pour déterminer la section transversale du solide, la charge étant donnée :

$$\frac{pl^2}{2} = \sigma;$$

ou bien, en faisant $pl = P$,

$$\frac{Pl}{2} = \sigma.$$

En comparant cette formule avec celle du numéro précédent, on voit qu'une pièce chargée uniformément sur toute sa longueur, peut porter le double de la charge qu'on pourrait suspendre à son extrémité non encastrée.

593. 3e cas. — *Pièce horizontale encastrée, chargée de poids uniformément répartis et de plus d'un poids P suspendu à son extrémité libre.*

On déduit immédiatement des formules précédentes (1) :

$$f = \frac{Pl^3}{3\varepsilon} + \frac{pl^4}{8\varepsilon},$$

$$Pl + \frac{pl^2}{2} = \sigma.$$

594. 4e cas. — *Pièce horizontale encastrée, chargée de poids uniformément répartis, mais tirés par une force P, agissant en sens contraire de la pesanteur* (*fig.* 840).

Il suffit, pour avoir les formules relatives à ce cas, de changer le signe d'une des forces par rapport à l'autre, et l'on obtient :

$$f = \pm \frac{Pl^3}{3\varepsilon} \mp \frac{pl^4}{8\varepsilon},$$

$$\pm Pl \mp \frac{Pl^2}{2} = \sigma.$$

595. 5e cas. — *Pièce horizontale encastrée chargée uniformément et sollicitée de plus par un poids placé à une distance a du plan d'encastrement.*

On peut admettre que le poids P à la distance a produit le même effet qu'un poids $P' = P\frac{a}{l}$ suspendu à l'extrémité de la pièce (2), on aura donc :

---

(1) Il est visible que soumise à l'effet de la charge uniformément répartie, la pièce prendrait une flèche de courbure égale à $\frac{pl^4}{8\varepsilon}$, et que si, dans cet état, on ajoute un poids à son extrémité libre, ce poids lui fera prendre une nouvelle courbure dont la flèche est exprimée par $\frac{Pl^3}{3\varepsilon}$. La flèche totale est par conséquent la somme de ces deux quantités.

(2) Ce raisonnement n'est pas rigoureusement exact. En effet, un poids $P\frac{a}{l}$ suspendu à l'ex-

$$f = \frac{Pal^2}{3\varepsilon} + \frac{pl^4}{8\varepsilon},$$

$$Pa + \frac{pl^2}{2} = \sigma.$$

Si le poids P agissait seul, on aurait simplement :

$$f = \frac{Pal^2}{3\varepsilon},$$

$$Pa = \sigma;$$

et enfin, si P était une force agissant en sens contraire des poids p.

$$f = \pm\frac{Pal^2}{3\varepsilon} \mp \frac{pl^4}{8\varepsilon}$$

$$\pm Pa \mp \frac{pl^2}{2} = \sigma.$$

596. 6e cas. — *Pièce encastrée horizontalement et chargée de poids quelconques diversement répartis.*

Si les poids ne sont pas bien différents l'un de l'autre, ni trop irrégulièrement répartis, on obtiendra une approximation suffisante pour la pratique, en faisant la somme des poids $P + P' + P''$, et en divisant cette somme par l, le quotient donnera la charge p par unité de longueur et l'on pourra faire usage des formules :

$$f = \frac{pl^4}{8\varepsilon} \qquad \frac{pl^2}{2} = \sigma.$$

qui deviendront respectivement,

$$f = \left(\frac{P + P' + P''}{l}\right)\frac{l^4}{8\varepsilon} = (P + P' + P'')\frac{l^3}{8\varepsilon},$$

$$\left(\frac{P + P' + P''}{l}\right)\frac{l^2}{2} = \left(\frac{P + P' + P''}{2}\right)l = \sigma.$$

Si le contraire avait lieu, les parties AB, BC, CD du solide pourraient présenter des courbures fort différentes, et il faudrait rechercher l'équation de ces diverses courbures rapportées aux axes rectangulaires AX, AY, en suivant la marche que nous allons indiquer.

Désignons (*fig.* 841) par

x, y les coordonnées d'un point m pris entre les points A et B,
x' y' » m' » B et C,
x'' y'' » m'' » C et D,

---

trémité libre de la pièce la courberait dans toute son étendue, tandis que le poids P placé en un point intermédiaire, ne la fléchit que jusqu'en ce point. Toute la partie du solide située au delà s'incline simplement suivant la direction de la tangente à la courbe au point d'application du poids. Toutefois, cette manière d'opérer conduit à une approximation suffisante pour la pratique, et ce serait perdre du temps inutilement, que de chercher à obtenir plus de rigueur au moyen d'une marche plus compliquée et qui, du reste, se conçoit aisément.

a la longueur AB,
b » AC,
c » AD,
P le poids appliqué en B,
p » C,
II » D.

La partie AB du solide est fléchie par l'action combinée des trois poids P, p, II agissant avec des bras de levier différents. L'équation de la courbe qui en résulte est :

$$\varepsilon \frac{d^2y}{dx^2} = \mathrm{P}\,(a-x) + p\,(b-x) + \mathrm{II}\,(c-x).$$

Intégrant une première fois et remarquant que pour $x = 0$, on a $\frac{dx}{dy} = 0$, il vient :

$$\text{(A)} \quad \ldots\ldots\ldots \quad \varepsilon \frac{dy}{dx} = \mathrm{P}\left(ax - \frac{x^2}{2}\right) + \mathrm{P}\left(bx - \frac{x^2}{2}\right) + \mathrm{II}\left(cx - \frac{x^2}{2}\right).$$

Une seconde intégration donne pour l'équation de la courbe :

$$\text{(B)} \quad \ldots\ldots\ldots \quad \varepsilon y = \mathrm{P}\left(\frac{ax^2}{2} - \frac{x^3}{6}\right) + p\left(\frac{bx^2}{2} - \frac{x^3}{6}\right) + \mathrm{II}\left(\frac{cx^2}{2} - \frac{x^3}{6}\right);$$

on n'ajoute pas de constante parce que pour $x = 0$ on a $y = 0$.

On aura la flèche de courbure au point B en faisant dans cette dernière équation $x = a$.

Il vient ainsi :

$$\text{(C)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \varepsilon y = \frac{\mathrm{P}a^3}{3} + p\left(\frac{ba^2}{2} - \frac{a^3}{6}\right) + \mathrm{II}\left(\frac{ca^2}{2} - \frac{a^3}{6}\right).$$

La partie BC est seulement fléchie par l'action des poids p et II. D'après cela, on aura pour déterminer l'équation de sa courbe :

$$\varepsilon \frac{d^2y'}{dx'^2} = p\,(b - x') + \mathrm{II}\,(c - x').$$

Intégrant une première fois, il vient :

$$\text{(D)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \varepsilon \frac{dy'}{dx'} = p\left(bx' - \frac{x'^2}{2}\right) + \mathrm{II}\left(cx' - \frac{x'^2}{2}\right) + \mathrm{C}.$$

Pour déterminer la constante C, il faut remarquer que les deux portions AB, BC du solide fléchi ont une tangente commune au point B, et que conséquemment les équations (A) et (D) doivent subsister en même temps quand on fait dans la première $x = a$ et dans la seconde $x' = a$.

Opérant ces substitutions, l'équation (A) donne d'abord :

$$\varepsilon \frac{dy}{dx} = \mathrm{P}\,\frac{a^2}{2} + p\left(ba - \frac{a^2}{2}\right) + \mathrm{II}\left(ca - \frac{a^2}{2}\right),$$

et l'équation (D)

$$\varepsilon \frac{dy}{dx} = p\left(ba - \frac{a^2}{2}\right) + \mathrm{II}\left(ca - \frac{a^2}{2}\right) + \mathrm{C}.$$

Retranchant ces deux équations l'une de l'autre, on en tire :

$$C = \frac{Pa^2}{2}.$$

Substituant dans l'équation (D), il vient :

$$(E) \ldots\ldots\ldots\ldots \varepsilon \frac{dy'}{dx'} = p\left(bx' - \frac{x'^2}{2}\right) + \Pi\left(cx' - \frac{x'^2}{2}\right) + \frac{Pa^2}{2}.$$

Intégrant une deuxième fois, on a :

$$(F) \ldots\ldots\ldots \varepsilon y' = p\left(\frac{bx^2}{2} - \frac{x'^3}{6}\right) + \Pi\left(\frac{cx'^2}{2} - \frac{x'^3}{6}\right) + \frac{Pa^2x}{2} + D.$$

Cette dernière équation reproduit la flèche de courbure donnée par l'équation (C) quand on y fait $x' = a$.

D'après cela, on a pour déterminer la constante D :

$$\frac{Pa^3}{3} + p\left(\frac{ba^2}{2} - \frac{a^3}{6}\right) + \Pi\left(\frac{ca^2}{2} - \frac{a^3}{6}\right) = p\left(\frac{ba^2}{2} - \frac{a^3}{6}\right) + \Pi\left(\frac{ca^2}{2} - \frac{a^3}{6}\right) + \frac{Pa^3}{2} + D;$$

d'où

$$D = -\frac{Pa^3}{6}.$$

Substituant cette valeur dans l'équation (F), on obtient pour l'équation de la courbe BC :

$$(G) \ldots\ldots\ldots \varepsilon y' = p\left(\frac{bx'^2}{2} - \frac{x'^3}{6}\right) + \Pi\left(\frac{cx'^2}{2} - \frac{x'^3}{6}\right) + P\left(\frac{a^2x}{2} - \frac{a^3}{6}\right).$$

En faisant cette dernière équation $x' = b$, on obtient pour l'ordonnée de la courbe au point C

$$(H) \ldots\ldots\ldots\ldots \varepsilon y' = p\frac{b^3}{3} + \Pi\left(\frac{cb^2}{2} - \frac{b^3}{6}\right) + P\left(\frac{a^2b}{2} - \frac{a^3}{6}\right).$$

Finalement la partie CD du solide est uniquement sollicitée par le poids Π ; l'équation d'équilibre est donc :

$$\varepsilon \frac{d^2y''}{dx''^2} = \Pi(c - x'').$$

Intégrant il vient :

$$(I) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \varepsilon \frac{dy''}{dx''} = \Pi\left(cx'' - \frac{x''^2}{2}\right) + E.$$

Faisant dans cette équation $x'' = b$, et dans l'équation (E) $x' = b$, on obtient une tangente commune aux courbes BC et CD.

La première donne

$$\varepsilon \frac{dy''}{dx''} = \Pi\left(cb - \frac{b^2}{2}\right) + E;$$

et la seconde :

$$\varepsilon \frac{dy''}{dx''} = \frac{pb^2}{2} + \Pi\left(cb - \frac{b^2}{2}\right) + \frac{Pa^2}{2}.$$

On en tire en les soustrayant l'une de l'autre

$$E = b\,\frac{p}{2} + \frac{Pa^2}{2}.$$

L'équation (I) devient, en y substituant cette valeur :

$$(K)\ldots\ldots\ldots\ldots \varepsilon\,\frac{dy''}{dx''} = \Pi\left(cx''2 - \frac{x''2}{2}\right) + p\,\frac{b^2}{2} + \frac{Pa^2}{2}.$$

Intégrant de nouveau, il vient :

$$(L)\ldots\ldots\ldots\ldots \varepsilon y'' = \Pi\left(\frac{cx''^2}{2} - \frac{x''^3}{6}\right) + \frac{pb^2x''}{2} + \frac{Pa^2x''}{2} + F.$$

On aura la valeur de cette dernière constante en faisant $x'' = b$. L'ordonnée correspondante à cette abscisse est la même que celle donnée par l'expression (H), et d'après cela on a :

$$\Pi\left(\frac{cb^2}{b^3} - \frac{b^3}{6}\right) + \frac{pb^3}{2} + \frac{Pa^2b}{2} + F = \frac{pb^3}{3} + \Pi\left(\frac{cb^2}{2} - \frac{b^3}{6}\right) + P\left(\frac{a^2b}{2} - \frac{a}{6}\right)$$

d'où :

$$F = -P\,\frac{a_3}{6} - p\,\frac{b^3}{6}.$$

Substituant cette valeur dans l'équation (L), elle devient :

$$(M)\ldots\ldots\ldots \varepsilon y'' = \Pi\left(\frac{cx''^2}{2} - \frac{x''^3}{6}\right) + p\left(\frac{b^2x''}{2} - \frac{b^3}{6}\right) + P\left(\frac{a^2x''}{2} - \frac{a^3}{6}\right)$$

Faisant $x = c$, on a pour l'expression de la flèche de courbure de l'extrémité du solide :

$$f = \frac{\Pi c^3}{3\varepsilon} + \frac{p}{\varepsilon}\left(\frac{b^2c}{2} - \frac{b^3}{6}\right) + \frac{P}{\varepsilon}\left(\frac{a^2c}{2} - \frac{a^3}{6}\right).$$

Cette formule se vérifie si l'on fait $a = b = c$, ce qui suppose les poids $P + p + \Pi$ concentrés à l'extrémité libre de la pièce ; on trouve :

$$f = (\Pi + p + P)\,\frac{c^3}{3_\varepsilon},$$

formule à laquelle on est arrivé directement au n° 575.

Quant à la rupture, il est visible qu'elle se ferait dans ce cas, comme dans les précédents, dans le plan même de l'encastrement, et d'après cela les moments des forces P, p et Π, pris par rapport à ce plan et égalés au moment de rupture de la pièce, donneront, pour calculer la section transversale :

$$Pa + pb + \Pi c = \sigma.$$

597. 7e cas. — *Pièces encastrées inclinées à l'horizon et sollicitées par des forces verticales.*

Soit P (*fig.* 842), un poids agissant à l'extrémité de la pièce AB, encastrée en A et faisant avec l'horizon un angle α.

Le poids P pourra se décomposer en deux forces, l'une P' normale à la direction de la pièce et qui tendra à la fléchir de la même manière que dans le cas du n° 580 ; l'autre P'' dirigée vers le point d'encastrement de la pièce, et qui tendra à la comprimer et à la fléchir tout à la fois.

Dans les cas ordinaires de la pratique, la composante P'' n'a qu'un effet tout à fait insensible et négligeable sur la flexion que la pièce subit en vertu du poids P ; car si la pièce se rapproche de la position verticale, P'' prend une grande valeur il est vrai, mais elle agit avec un bras de levier presque nul ; dans le cas contraire, son bras de levier va en augmentant, mais sa valeur va en décroissant jusqu'à la limite zéro qu'elle atteint pour la position horizontale.

Cette question se trouve donc ramenée au cas du n° 580, et en exprimant P' en fonction de P et du cosinus de l'angle α, on obtient immédiatement pour la flèche de courbure de la pièce :

$$f = \frac{P \cos \alpha l^3}{3\varepsilon}.$$

Mais si la force P'' peut être négligée quant il s'agit d'apprécier la flexion de la pièce, il ne peut pas toujours en être ainsi quand on veut déterminer sa section transversale.

En effet, on doit se rappeler que, dans tous les cas, la section est calculée de manière que la fibre élémentaire la plus étendue ou la plus comprimée ne supporte pas une tension plus grande que R' ou une compression plus grande que R'' ; et qu'à ces tension et compression correspondent un allongement ou un raccourcissement exprimés respectivement par :

$$\frac{R'}{E} \text{ et } \frac{R'_1}{E}.$$

Or, dans le cas présent, la force P'' concourt conjointement avec la force P' à opérer le raccourcissement des fibres, et cela dans une proportion qui croît très-rapidement avec l'ouverture de l'angle α, etc. C'est à tel point que quand cet angle $\alpha = 90°$, la force P'' est la seule qui agisse pour produire cet effet.

Voici, d'après ces considérations, comment il faut opérer pour déterminer l'équarrissage de la pièce, en tenant compte de cette composante P''.

Le raccourcissement proportionnel opéré par la force P'' sur une fibre quelconque est (561) :

$$i = \frac{p''}{E\Omega}.$$

Le plus grand raccourcissement dû à la force P' de flexion est (572) :

$$i' = \frac{z}{\rho},$$

z étant la distance de la fibre la plus comprimée à l'axe d'équilibre.

Le plus fort raccourcissement total est donc :

$$i + i' = \frac{P''}{E\Omega} + \frac{z}{\rho}.$$

Comme on a d'un autre côté :

$$\frac{\varepsilon}{\rho} = P'l,$$

d'où :

$$\rho = \frac{\varepsilon}{P'l}$$

il vient :

$$i + i' = \frac{P''}{E\Omega} + \frac{z}{\varepsilon} P'l.$$

Remplaçant P'' par P sin α, P' par P cos α, et $i + \varepsilon$ par sa valeur limite $R'_1 E$, on obtient :

$$\frac{R'_1}{E} = \frac{P \sin \alpha}{E\Omega} + \frac{zP \cos \alpha l}{\varepsilon}.$$

Remarquant que $l \cos \alpha$ représente la projection horizontale de la pièce, on pourra écrire, en représentant par A cette projection horizontale,

$$\frac{R'_1}{E} = \frac{P \sin \alpha}{E\Omega} + \frac{zPA}{\varepsilon}.$$

Cette dernière formule servira à calculer l'équarrissage de la pièce, quand on y aura mis pour ε et pour z leurs valeurs dépendant de la section transversale.

On voit d'ailleurs que lorque la pièce sera verticale, cette expression se réduira à :

$$P = R'_1 \Omega,$$

formule à laquelle on est arrivé directement dans le n° 563 ;
et lorsqu'elle sera horizontale à :

$$\frac{R'_1}{E} = \frac{zPl}{\varepsilon};$$

d'où :

$$Pl = \frac{R'_1}{E} \frac{\varepsilon}{z} = \sigma,$$

formule à laquelle on est aussi arrivé directement dans le n° 568.

Les mêmes raisonnements serviront à trouver sans difficulté les formules relatives aux pièces inclinées, chargées des diverses manières indiquées dans les n^os 582 à 586.

Nous les consignons dans le tableau suivant, en conservant les notations adoptées aux numéros prérappelés.

Tableau des formules servant à déterminer la flèche de courbure et l'équarrissage des pièces encastrées

INCLINÉES A L'HORIZON ET SOUMISES A DES FORCES VERTICALES.

MODE DE RÉPARTITION DE LA CHARGE.	VALEUR DE f.	VALEUR DE $I_1 = \frac{R'_1}{E}$.
Pièce uniformément pesante.	$f = \frac{p \cos\alpha\, l^4}{8\varepsilon}$.	$\frac{R'_1}{E} = \frac{pl}{E\Omega}\sin\alpha + \frac{zpl^2\cos\alpha}{2\varepsilon}$.
Pièce uniformément pesante et chargée de plus d'un poids P à son extrémité libre. . .	$f = \frac{l^3\cos\alpha}{\varepsilon}\left(\frac{P}{3} + \frac{pl}{8}\right)$.	$\frac{R'_1}{E} = \left(\frac{P+pl}{E\Omega}\right)\sin\alpha + \left(Pl + \frac{pl^2}{2}\right)\frac{z\cos\alpha}{\varepsilon}$.
Pièce uniformément pesante, sollicitée à son entrémité libre par une force agissant en sens contraire de la pesanteur.	$f = \frac{l^3\cos\alpha}{\varepsilon}\left(\frac{P}{3} - \frac{pl}{8}\right)$.	$\frac{R'_1}{E} = \left(\frac{P-pl}{E\Omega}\right)\sin\alpha + \left(Pl - \frac{pl^2}{2}\right)\frac{z\cos\alpha}{\varepsilon}$.
Pièce uniformément pesante et chargée de plus d'un poids agissant à une distance a de l'extrémité encastrée.	$f = \frac{l^2\cos\alpha}{\varepsilon}\left(\frac{Pa}{3} + \frac{pl^2}{8}\right)$.	$\frac{R'_1}{E} = \left(\frac{P+pl}{E\Omega}\right)\sin\alpha + \left(Pa + \frac{pl^2}{2}\right)\frac{z\cos\alpha}{\varepsilon}$.
Pièce chargé de poids quelconques répartis irrégulièrement	$f = \frac{\cos\alpha}{\varepsilon}\left\{\begin{array}{l}\frac{\Pi c^3}{3}. \\ +p\left(\frac{b^2c}{2} - \frac{b^3}{6}\right). \\ +p\left(\frac{a^2c}{2} - \frac{a^3}{6}\right).\end{array}\right.$	$\frac{R'_1}{E} = \left(\frac{\Pi + p + P}{E\Omega}\right)\sin\alpha + (\Pi a + pb + Pc)\frac{z\cos\alpha}{\varepsilon}$.

Dans la pratique, lorsque l'inclinaison des pièces ne dépasse pas 45° avec l'horizon, il est suffisamment exact de faire abstraction du raccourcissement produit par la composante du poids dirigé suivant l'axe de la pièce. On peut alors faire usage des formules des nos 581 à 585, en y remplaçant simplement P par P cos α.

598. Il peut être intéressant, dans un assez grand nombre de cas, de connaître la quantité dont se déplace verticalement et horizontalement l'extrémité libre d'une pièce inclinée AB, chargée de l'une ou de l'autre des manières ci-dessus.

On arrive facilement à la solution de ce problème en remarquant que les flexions que l'on considère étant toujours très-petites, on peut regarder l'angle α comme ne variant pas par l'effet de la flexion.

D'après cela, si l'on désigne par f' le déplacement vertical, il sera évidemment égal à $f \cos \alpha$. Remarquant d'un autre côté que si l'on appelle A la projection horizontale de la pièce AB, on a $l = \frac{A}{\cos \alpha}$; on trouve en substituant cette valeur dans les expressions précédentes :

$$f' = \frac{PA^3}{3\varepsilon \cos \alpha}$$

pour le cas d'une pièce chargée d'un poids unique agissant à son extrémité libre ;

$$f' = \frac{pA^4}{8\varepsilon \cos^2 \alpha}$$

lorsque la charge est uniformément répartie ;

$$f' = \frac{A^3}{\varepsilon \cos \alpha}\left(\frac{P}{3} + \frac{pA}{8 \cos \alpha}\right)$$

lorsque la pièce, outre une charge uniformément répartie, porte un poids P à son extrémité libre ; et ainsi de suite.

Connaissant le déplacement vertical du point extrême de la pièce inclinée, on passe facilement à la détermination de son déplacement dans le sens horizontal au moyen de la relation :

$$h = f' \operatorname{tang} \alpha$$

h exprimant le déplacement horizontal.

Ce qui donne :

$$h = \frac{PA^3 \sin \alpha}{3\varepsilon \cos^2 \alpha}$$

pour le cas d'une pièce encastrée et chargée d'un poids unique agissant à l'extrémité libre ;

$$h = \frac{pA^4 \sin \alpha}{8\varepsilon \cos^3 \alpha}$$

lorsque la charge est uniformément répartie ;

$$h = \frac{A^3 \sin \alpha}{\varepsilon \cos^2 \alpha}\left\{\frac{P}{3} + \frac{pA}{8 \cos \alpha}\right\}$$

lorsque la pièce, outre une charge uniformément répartie, porte un poids P à son extrémité libre, et ainsi de suite.

Observation. — Nous n'avons pas besoin de faire remarquer que la marche que nous avons suivie dans l'examen des cas précédents conduirait à la solution de problèmes relatifs à un solide sollicité non-seulement par des forces verticales, mais de plus par une force horizontale Q, et en général par autant de forces que l'on voudra, situées dans le plan vertical passant par l'axe du solide, puisque ces forces pourront toujours, en définitive, être ramenées à une composante normale P′ et à une composante tangentielle P″ comme dans le cas examiné.

599. 8e Cas. — *Pièces verticales chargées de poids capables de les fléchir.*

Lorsque la longueur des pièces soumises à des efforts de compression est fort grande par rapport à leur plus petite dimension transversale, il arrive qu'au lieu de se raccourcir tout simplement et de se rompre en s'écrasant, ces pièces plient sous la charge et se rompent par flexion.

Mais en général les pièces employées de cette manière dans les constructions sont trop courtes par rapport à leur grosseur, pour que cet effet soit à considérer lorsque cette grosseur a été déterminée au moyen de la formule $Q = R'_1\Omega$.

L'examen de cette question serait donc ici un pur objet de curiosité (1); elle a d'ailleurs été traitée dans le *Cours de mécanique rationnelle*, auquel nous renvoyons.

600. 9e Cas (*fig.* 843). — *Pièce horizontale posée sur deux appuis et chargée d'un poids en son milieu.*

Soient P le poids, L la distance entre les appuis.

Le poids P engendrera sur les deux appuis A et B deux pressions égales chacune à $\frac{1}{2}$ P, et l'état du système ne sera pas changé : 1° si l'on remplace les deux points d'appui par deux forces $\frac{1}{2}$ P égales et contraires aux pressions qu'ils supportent ; 2° si l'on considère la pièce comme encastrée en P et sollicitée aux extrémités A et B par deux forces verticales $= \frac{1}{2}$ P. Chacune des deux moitiés AC, CB du solide se trouvera donc dans les mêmes conditions que la pièce du n° 580, et l'on trouvera immédiatement, en remarquant que $l = \frac{1}{2}$ L :

$$f = \frac{PL^3}{48\varepsilon},$$

$$\frac{PL}{4} = \sigma.$$

601. 10e Cas (*fig.* 844). — *Pièce horizontale posée sur deux appuis et chargée de poids uniformément répartis.*

Soient p la charge par unité de longueur, L la distance entre les appuis :

(1) La lecture de la IIe partie du mémoire de M. le professeur Lamarle (*Annales des travaux publics*, t. IV, p. 5 et suivantes) n'a fait que me confirmer dans cette opinion.

La charge totale de la pièce sera pL,

Et chaque point d'appui supportera une pression $\frac{1}{2}pL$.

Remplaçant ces pressions par deux forces égales et contraires, chaque moitié de la pièce pourra être censée encastrée en C et sollicitée par les poids p, agissant dans le sens de la pesanteur, et la force $\frac{1}{2}pL$ agissant en sens contraire.

La question se trouve ainsi ramenée à celle du n° 594, et en remplaçant dans les expressions

$$f = \frac{Pl^3}{3\varepsilon} - \frac{pl^4}{8\varepsilon} \ldots\ldots Pl - \frac{pl^2}{2} = \sigma,$$

$$P \text{ par } \tfrac{1}{2}pL,\ l \text{ par } \tfrac{1}{2}L,$$

on obtient immédiatement :

$$f = \frac{5pL^4}{384\varepsilon};$$

$$\frac{pL^2}{8} = \sigma.$$

Ces formules, comparées avec celles du numéro précédent, font voir :

1° Que la flèche de courbure causée par une charge uniformément répartie sur la longueur de la pièce est seulement égale aux $\frac{5}{8}$ de celle qu'occasionnerait la même charge entièrement concentrée au milieu de la pièce ;

2° Qu'un solide capable de supporter sans danger un poids $= 1$, suspendu en son milieu, peut être chargé avec tout autant de sécurité d'un poids $= 2$, quand ce poids est uniformément réparti sur toute sa longueur.

602. 11e cas. — *Pièce horizontale posée sur deux appuis, chargée de poids uniformément répartis et d'un poids* P *agissant en son milieu.*

La charge de chaque point d'appui sera dans ce cas $= \frac{P}{2} + \frac{pL}{2}$, et les formules des deux numéros précédents donneront :

$$f = \frac{PL^3}{48\varepsilon} + \frac{5pL^4}{384\varepsilon};$$

$$\frac{PL}{4} + \frac{pL^2}{8} = \sigma.$$

603. 12e cas (*fig.* 845). — *Pièce horizontale posée sur deux appuis, et chargée, dans l'intervalle, de poids quelconques irrégulièrement répartis.*

Les questions relatives à ce cas se résoudront en remplaçant les points d'appui par des forces égales et contraires aux pressions souffertes.

On considérera ensuite la pièce comme sollicitée à fléchir et à se rompre par l'effet de ces forces et des poids dont elle est chargée agissant en sens contraire.

Soit AE le solide fléchi par des poids appliqués aux points B,C,D.

Nommons :

x, y, les coordonnées de la courbe AB, comptées à partir de A ;

x', y', — — BC, — —

x'', y'', — — CD, — —

x''', y''', — — DE, — —

a, la projection horizontale de AB,

b, — — AC,

c, — — AD,

d, — — AE,

II, le poids placé en B,

P', — C,

P, — D.

La pression soufferte par le point A, que nous désignerons par q, sera exprimée par :

$$q = \frac{\Pi}{d}(d-a) + \frac{P'}{d}(d-b) + \frac{P}{d}(d-c).$$

La pression soufferte par le point E, que nous appelerons q', est :

$$q' = \frac{\Pi}{d}a + \frac{P'}{d}b + \frac{P}{d}c.$$

On ne changera rien à l'état d'équilibre de la pièce si on la suppose encastrée en E, dans la direction de la tangente EE', à la courbe DE, et si on la considère comme sollicitée à fléchir par les forces q, II, P' et P, agissant, la première de bas en haut, et les autres de haut en bas.

Le centre des coordonnées étant placé en A, l'on aura, en remarquant que la courbe tourne sa concavité vers l'axe des X :

1° Pour déterminer la portion AB,

$$\varepsilon \frac{d^2y}{dx^2} = -qx; \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(A)}$$

2° Pour déterminer la portion BC,

$$\varepsilon \frac{d^2y'}{dx'^2} = -qx' + \Pi(x'-a); \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(B)}$$

3° Pour déterminer la portion CD,

$$\varepsilon \frac{d^2y''}{dx''^2} = -qx'' + \Pi(x''-a) + P'(x''-b); \quad \ldots\ldots\ldots \text{(C)}$$

4° Finalement pour déterminer la portion DE :

$$\varepsilon \frac{d^2y'''}{dx'''^2} = -qx''' + \Pi(x'''-a) + P'(x'''-b) + P(x'''-c) \ldots\ldots \text{(D)}$$

Pour passer, au moyen de ces équations différentielles, aux équations en quantités finies, on suivrait toujours la même marche que dans toutes les questions précédentes. Quant aux constantes, on les déterminerait par des procédés tout à fait semblables à ceux employés au n° 506, en remarquant qu'aux points B, C, D, les portions adjacentes des courbes ont des tangentes et des ordonnées communes.

Seulement, la tangente au point A de la courbe AB ne pouvant être déterminée *à priori*, comme dans ce cas, cette tangente restera inconnue et se reproduira jusque dans l'équation de DE.

Mais arrivé là, en remarquant que pour $x = d$ on doit avoir $y = 0$, on pourra tirer la valeur de la tangente inconnue, en fonction de quantités connues, et il n'y aura qu'à la substituer dans les équations précédentes pour les rendre tout à fait explicites.

Pour obtenir la flèche de courbure, il faudra rechercher ensuite, au moyen des diverses équations obtenues, quelles sont les valeurs de x', x'', x''', x qui rendent y', y'', y''', y *maximum*. La plus grande de ces valeurs sera évidemment la flèche de courbure.

Pour trouver la condition d'équilibre relative à la rupture, il faudra calculer la valeur des seconds membres des équations (A), (B), (C), (D), après qu'on y aura fait $x = a$, $x' = b$, $x'' = c$, $x''' = d$. Le point pour lequel la valeur de ce second membre sera la plus grande, sera évidemment celui où la courbure sera la plus prononcée et où la rupture aura lieu. En égalant cette valeur *maximum* à σ, on aura l'expression nécessaire au calcul des dimensions transversales de la pièce.

On voit que cette recherche est fort longue ; mais les cas de cette espèce se présentent très-rarement dans la pratique, et presque toujours les charges sont distribuées avec assez de régularité, pour qu'on obtienne une approximation suffisante, en faisant usage des formules du n° 601 ; on obtient la charge par unité de longueur en divisant la somme des poids par la distance entre les appuis.

604. 13e cas (*fig.* 846). — *Pièce horizontale encastrée à une extrémité, posant par l'autre sur un appui, et chargée d'un poids dans l'intervalle.*

Le poids P occasionnera en C une pression qui ne peut être connue *à priori* à cause de la résistance élastique de la pièce au point d'encastrement.

Nommons cette pression H, faisons $AB = l$, $AC = L$, et désignons par x, y, les coordonnées par rapport à A, d'un point quelconque pris entre A et B, et par x' y' celles d'un point pris entre B et C.

La pièce pourrra être considérée comme sollicitée à plier par l'action de la force P agissant de haut en bas, et de la force H, agissant de bas en haut.

D'après cela, on aura pour exprimer l'équilibre de la partie AB :

$$\varepsilon \frac{d^2y}{dx^2} = P(l - x) - H(L - x).$$

En intégrant comme précédemment, il viendra d'abord :

$$\varepsilon \frac{dy}{dx} = P\left(lx - \frac{x^2}{2}\right) - H\left(Lx - \frac{x^2}{2}\right) \quad \text{(A)}$$

On n'ajoute pas de constante, parce que pour

$$x = 0, \frac{dy}{dx} = 0,$$

puis

$$\varepsilon y = P\left(\frac{lx^2}{2} - \frac{x^3}{6}\right) - \Pi\left(\frac{Lx^2}{2} - \frac{x^3}{6}\right) \ldots\ldots\ldots\ldots (B)$$

la constante est également nulle, car pour $x = 0$, $y = 0$.

Pour la partie BC on aura :

$$\varepsilon \frac{d^2y'}{dx'^2} = -\Pi(L - x')$$

$$\varepsilon \frac{dy'}{dx'} = -\Pi\left(Lx' - \frac{x'^2}{2}\right) + C \ldots\ldots\ldots\ldots (C)$$

Pour $x = x' = l$, on aura une tangente commune aux deux courbes AB, BC ; on tirera donc de l'équation (A) :

$$\varepsilon \frac{dy'}{dx'} = P\left(l^2 - \frac{l^2}{2}\right) - \Pi\left(Ll - \frac{l^2}{2}\right),$$

et de l'équation (C) :

$$\varepsilon \frac{dy'}{dx'} = -\Pi\left(Ll - \frac{l^2}{2}\right) + C.$$

En les soustrayant l'une de l'autre on a :

$$C = \frac{Pl}{2}.$$

Opérant la substitution de cette valeur dans l'équation (C), il vient :

$$\varepsilon \frac{dy'}{dx'} = \frac{Pl^2}{2} - \Pi\left(Lx' - \frac{x'^2}{2}\right).$$

Intégrant de nouveau :

$$\varepsilon y' = \frac{Pl^2x'}{2} - \Pi\left(\frac{Lx'^2}{2} - \frac{x'^3}{6}\right) + D \ldots\ldots\ldots\ldots (D)$$

Pour $x' = l$ l'équation (D) subsiste en même temps que l'équation (B) pour $x = l$; on a donc

$$\varepsilon y' = \frac{Pl^3}{2} - \Pi\left(\frac{Ll^2}{2} - \frac{l^3}{6}\right) + D$$

$$\varepsilon y' = P\left(\frac{l^3}{2} - \frac{l^3}{6}\right) - \Pi\left(\frac{Ll^2}{2} - \frac{l^3}{6}\right);$$

d'où l'on tire :

$$D = -\frac{Pl^3}{6}.$$

L'équation (D) devient finalement, par la substitution de cette valeur :

$$\varepsilon y' = P\left(\frac{l^2x'}{2} - \frac{l^3}{6}\right) - \Pi\left(\frac{Lx'^2}{2} - \frac{x'^3}{6}\right) \ldots\ldots\ldots\ldots (E)$$

Comme pour $x' = L$ on doit avoir $y = 0$, on peut tirer de cette dernière équation la valeur de Π en fonction de P.

On a en effet

$$P\left(\frac{l^2L}{2}-\frac{l^3}{6}\right)-\Pi\left(\frac{L^3}{2}-\frac{L^3}{6}\right)=0,$$

d'où

$$\Pi=Pl^2\left(\frac{2L-l}{2L^3}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (F)$$

Pour trouver la flèche de courbure, il ne s'agira plus maintenant que d'introduire cette valeur de Π dans les équations (B) et (E) et de procéder à la recherche de la plus grande ordonnée de la courbe BC.

Pour cela, après avoir fait cette substitution dans l'équation (E), on la différenciera, et également le coefficient différentiel $\frac{dy'}{dx'}$ à zéro, on en tirera la valeur de x' et qui correspondra au *maximum* cherché.

Cette valeur de x' introduite ensuite dans l'équation (E) donnera la solution du problème.

On trouvera, en suivant cette marche:

$$x'=L\left(1-\sqrt{\frac{L-l}{3L-l}}\right)$$

$$f=\frac{P}{\varepsilon}\times\frac{l^2}{6}(L-l)\sqrt{\frac{L-l}{3L-l}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (G)$$

La rupture se fera évidemment au point d'encastrement ou au point d'application du poids P.

On aura relativement au premier,

$$-\Pi L+Pl=P\,\frac{l(2L-l)(L-l)}{2L^2}=\sigma \quad \ldots\ldots\ldots \quad (II)$$

et relativement au second,

$$-\Pi(L-l)=P\frac{l^2(3L-l)(L-l)}{2L^3}=\sigma \quad \ldots\ldots\ldots \quad (I)$$

Le véritable point de rupture sera celui pour lequel le premier membre des deux équations ci-dessus sera le plus grand.

Le corps tend à se rompre en A, si la distance AB est petite; il tend à se rompre en B, si AB diffère peu de AC.

Si l'on fait dans les équations (F), (G) et (H) $l=\frac{L}{2}$, c'est-à-dire, si l'on considère le poids P suspendu au milieu de AC, on trouvera :

$$\Pi=\frac{5}{16}P,$$

$$f=\frac{P}{\varepsilon}\times\frac{L^3}{48\sqrt{5}},$$

$$\sigma=\frac{3}{16}PL,$$

En comparant ces deux dernières formules à celle du n° 600, elles apprennent :

1° Qu'un solide, encastré par une de ses extrémités et posant par l'autre sur un appui, fléchit moins que s'il était simplement appuyé par ses deux bouts, et ce, dans la proportion de $\frac{1}{\sqrt{5}}$,

2° Que le même solide peut porter une charge plus forte dans le premier que dans le second cas, dans le rapport de $\frac{4}{3}$.

En combinant cette remarque avec celle du n° 601, on voit que si le poids P était également réparti sur la longueur du solide, on aurait, en appelant p le poids par unité de longueur :

$$f = \frac{5}{384} \times \frac{pL^4}{\varepsilon} \times \frac{1}{\sqrt{5}},$$

$$\sigma = \frac{pL^2}{8} \times \frac{3}{4} \times = \frac{3pL^2}{32}.$$

Et si, indépendamment du poids P, placé au milieu de l'intervalle qui sépare les appuis, la pièce était uniformément pesante, on aurait :

$$f = \left(\frac{P}{48} + \frac{5pL}{384}\right)\frac{L^3}{\varepsilon\sqrt{5}}$$

$$\sigma = \frac{3}{4}\left(\frac{PL}{4} + \frac{pL^2}{8}\right) = \frac{3}{16}PL + \frac{3}{32}pL^2.$$

605. 14e cas (fig. 847). — *Pièce horizontale encastrée à ses deux bouts, et chargée d'un poids* P, *dans l'intervalle des points d'encastrement.*

L'effet de l'encastrement au point C est de rendre horizontale la tangente à la courbe en ce point ; il est le même que celui qui serait produit par une force Π′ appliquée au point D, et agissant de haut en bas. On ne change donc rien à l'état de la question en considérant la pièce AD comme sollicitée à fléchir par les forces P, Π égal et contraire à la pression soufferte par l'appui C, et Π′,

Appelons :

l la distance AB ;
L la distance AC ;
l' la distance AD :
x, y les coordonnées de la courbe rapportées aux axes AX, AY ;
x', y' les coordonnées de la courbe BC rapportées aux mêmes axes.

On aura, en premier lieu, pour la portion AB :

$$\varepsilon \frac{d^2y}{dx^2} = P(l - x) - \Pi(L - x) + \Pi'(l' - x). \quad \text{(A)}$$

$$\varepsilon \frac{dy}{dx} = P\left(lx - \frac{x^2}{2}\right) - \Pi\left(Lx - \frac{x^2}{2}\right) + \Pi'\left(l'x - \frac{x^2}{2}\right). \quad \text{(B)}$$

$$\varepsilon y = P\left(\frac{lx^2}{2} - \frac{x^3}{6}\right) - \Pi\left(Lx^2 - \frac{x^3}{6}\right) + \Pi'\left(\frac{l'x^2}{2} - \frac{x^3}{6}\right). \quad \text{(C)}$$

On a ensuite pour la portion BC en déterminant les constantes de manière que pour

$$x = x' = l, \text{ on ait } \frac{dy'}{dx'} = \frac{dy}{dx}, \; y' = y ;$$

$$\varepsilon \frac{d^2y'}{dx'^2} = -\Pi (L - x') + \Pi' (l' - x') ;$$

$$\varepsilon \frac{dy'}{dx'} = \frac{Pl^2}{2} - \Pi \left(Lx' - \frac{x'^2}{2} \right) + \Pi' \left(l' x' - \frac{x'^2}{2} \right) ;$$

$$\varepsilon y' = P \left(\frac{l^2 x'}{2} - \frac{l^3}{6} \right) - \Pi \left(\frac{Lx'^2}{2} - \frac{x'^3}{6} \right) + \Pi' \left(\frac{l' x'^2}{2} - \frac{x'^3}{6} \right).$$

Le coefficient $\frac{dy'}{dx'}$ et y' devant être nuls au point C, c'est-à-dire quand $x' = L$, on a

$$0 = \frac{Pl^2}{2} - \frac{\Pi L^2}{3} + \Pi' \left(Ll' - \frac{L^2}{2} \right);$$

$$0 = P \left(\frac{l^2 L}{2} - \frac{l^3}{6} \right) - \frac{\Pi L^3}{3} + \Pi' \left(\frac{L^2 l'}{2} - \frac{L^3}{6} \right);$$

d'où l'on tire :

$$\Pi = P \, \frac{l^3 (lL - 2ll' - 2L^2 + 3Ll')}{L^3 (l' - L)}$$

$$\Pi' = P \, \frac{l^2 (L - l)}{L^2 (l' - L)}.$$

En mettant ces valeurs dans les équations précédentes, on connaîtra la figure du solide, indépendamment de l' qui disparaîtra par suite des calculs.

Si l'on suppose le poids P placé au milieu de l'intervalle AC, on a

$$l = \frac{L}{2}$$

$$\Pi = P \, \frac{4l' - 3L}{8(l' - L} \qquad \Pi' = \frac{PL}{8(l' - L)}.$$

En substituant les valeurs de l, Π et Π' dans les équations (A), (B), l'on aura pour déterminer la figure de la première moitié de la pièce :

$$\varepsilon \frac{dy^2}{dx^2} = \frac{P}{2} \left(\frac{L}{4} - x \right)$$

$$\varepsilon \frac{dy}{dx} = \frac{P}{2} \left(\frac{Lx}{4} - \frac{x^2}{2} \right)$$

$$\varepsilon y = \frac{P}{2} \left(\frac{Lx}{8} - \frac{x^3}{6} \right);$$

on vérifie que les équations appartenant à la deuxième moitié indiquent une figure symétrique à celle de la première.

D'après cela, le point le plus bas de la courbe AC correspond au point milieu de la pièce, et faisant dans la dernière équation, $x = \frac{L}{2}$,

on a

$$f = \frac{PL^3}{192\varepsilon}.$$

Si l'on compare ce résultat à celui du n° 600, on voit que la flèche de courbure est quatre fois plus petite lorsque les deux extrémités du solide sont encastrées, que lorsqu'elles sont simplement posées sur des appuis.

Dans l'hypothèse actuelle le solide tend à se rompre tout à la fois aux points d'encastrement et d'application du poids : l'équation d'équilibre de la résistance à la rupture est donc

$$\frac{PL}{8} = \sigma.$$

En comparant encore ce résultat avec celui du n° 600, on remarque qu'une pièce encastrée à ses deux extrémités est susceptible de porter une charge double de celle qu'elle pourrait supporter si elle était simplement appuyée.

Si l'on combine ces deux dernières remarques avec celle du n° 601, on trouve pour le cas où le poids est également réparti sur toute la longueur du solide :

$$f = \frac{5}{1536} \times \frac{dL^4}{\varepsilon} = \frac{pL^4}{307\varepsilon} \text{ à peu près ;}$$

$$\frac{pL^2}{16} = \sigma ;$$

et pour celui où, indépendamment du poids P placé entre les deux appuis, la pièce est uniformément pesante :

$$f = \left(\frac{P}{192} + \frac{pL}{307}\right)\frac{L^3}{\varepsilon} ;$$

$$\frac{PL}{8} + \frac{pL^2}{16} = \sigma.$$

606. 15e cas (*fig.* 848). — *Pièces inclinées posées sur deux appuis et chargées de diverses manières.*

Soit AB un solide prismatique posé sur les appuis A et B, et chargé en son milieu d'un poids P. On pourra concevoir que le poids P se décompose normalement et tangentiellement à l'axe du solide, et si l'on fait abstraction, quant à la courbure, de la composante tangentielle, la question se trouvera ramenée à celle du n° 600.

Pour trouver l'expression de la flèche de courbure, il n'y aura qu'à écrire P cos α (α étant l'angle du solide avec l'horizon) à la place de P, et l'on aura ainsi, en se servant des mêmes notations que précédemment :

$$f = \frac{P \cos \alpha \, L^3}{48\varepsilon} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(A)}$$

Si l'on désigne par A la projection horizontale de la pièce, on aura $L = \frac{A}{\cos \alpha}$;

d'où

$$f = \frac{PA^3}{48\varepsilon \cos^2 \alpha} \quad \text{(B)}$$

Quand $\alpha = 45°$, ce qui se réalise dans un grand nombre de cas de la pratique, on a simplement:

$$f = \frac{PA^3}{24\varepsilon} \quad \text{(C)}$$

Pour exprimer les conditions de résistance à la rupture, on remarque: 1° que la composante tangentielle tend à comprimer toutes les fibres indistinctement avec une force P sin α, et que chaque fibre supporte ainsi un raccourcissement proportionnel exprimé par $\frac{P \sin \alpha}{E\Omega}$

2° Qu'en vertu de la flexion, la fibre la plus éloignée de l'axe neutre subit un raccourcissement.

$$\frac{z}{\rho} = \frac{z}{\varepsilon} \times \frac{PL \cos \alpha}{4} = \frac{z}{\varepsilon} \times \frac{PA}{4}$$

Si l'on pose la condition que cette fibre ne subisse pas un raccourcissement plus fort que $\frac{R'}{E}$, on aura :

$$\frac{R'_1}{E} = P\left(\frac{\sin \alpha}{E\Omega} + \frac{zL \cos \alpha}{4\varepsilon}\right) = P\left(\frac{\sin \alpha}{E\Omega} + \frac{zA}{4\varepsilon}\right) \quad \text{(D)}$$

Cette formule servira à calculer l'équarrissage de la pièce quand on aura remplacé A et z par leur valeur.

On voit d'ailleurs que lorsque $\alpha = 90°$, ou quand la pièce est verticale, cette formule se réduit à $\Omega R'_1 = P$, et lorsque $\alpha = 0$, ou quand la pièce est horizontale :

$$\frac{R'}{E'} = \frac{zLP}{4\varepsilon};$$

d'où

$$\frac{PL}{4} = \frac{R'_1}{E} \times \frac{\varepsilon}{z} = \sigma,$$

formules auxquelles on est arrivé directement dans les n°s 563 et 600.

Si la pièce, au lieu d'être simplement chargée en son milieu, était soumise à des poids uniformément distribués, la question se traiterait d'une manière tout à fait analogue, et l'on trouverait aisément:

1° Pour l'expression de la flèche de courbure:

$$f + \frac{5pL^4 \cos \alpha}{384\varepsilon} = \frac{5}{384} \frac{pA^4}{\cos^3 \alpha} \quad \text{(E)}$$

2° Pour la résistance à la rupture:

$$\frac{R'_1}{E} = pL\left(\frac{\sin \alpha}{E\Omega} + \frac{zL \cos \alpha}{8\varepsilon}\right) = \frac{pA}{\cos \alpha}\left(\frac{\sin \alpha}{E\Omega} + \frac{zA}{8\varepsilon}\right) \quad \text{(F)}$$

On trouvera de même sans aucune difficulté les formules relatives au cas où la

charge serait irrégulièrement répartie, et à ceux où la pièce serait encastrée par l'une de ses extrémités ou par toutes les deux à la fois. Nous nous bornerons à consigner ici les formules relatives à ces deux derniers cas (en supposant la charge placée au milieu de l'intervalle entre les appuis).

Dans le premier, l'on aura :

$$f = \frac{P \cos \alpha L^3}{48 \varepsilon \sqrt{5}} = \frac{PA^3}{48 \varepsilon \cos^2 \alpha \sqrt{5}} \quad \text{(G)}$$

$$\frac{R'_1}{E} = P\left(\frac{\sin \alpha}{E\Omega} + \frac{3zL \cos \alpha}{16\varepsilon}\right) = P\left(\frac{\sin \alpha}{E\Omega} + \frac{3zA}{16\varepsilon}\right);$$

et dans le second :

$$f = \frac{P \cos \alpha L^3}{192\varepsilon} = \frac{PA^3}{192 \cos^2 \alpha \times \varepsilon} \quad \text{(H)}$$

$$\frac{R'_1}{E} = P\left(\frac{\sin \alpha}{E\Omega} + \frac{zL \cos \alpha}{8\varepsilon}\right) = P\left(\frac{\sin \alpha}{E\Omega} + \frac{zA}{8\varepsilon}\right) \quad \text{(I)}$$

Nous faisons d'ailleurs, à l'égard des formules que nous venons de donner en dernier lieu pour calculer l'équarrissage des pièces, la même remarque qu'au n° 596 : c'est à savoir, qu'il n'est nécessaire de s'en servir que lorsque l'angle α est plus grand que 45°. En dessous de cette valeur, on peut, pour les applications pratiques, se contenter des approximations données par les formules plus simples des nos 600 à 605, dans lesquelles on remplace P par P cos α, ou p par p cos α.

Les formules démontrées dans les nos 581 à 606 serviront à résoudre les questions les plus importantes relatives aux constructions en charpente et en fer. Nous allons en montrer quelques applications.

607. APPLICATIONS AUX COMBLES. — Première question. — *Trouver des formules propres à donner l'équarrissage de toutes les pièces d'une ferme de comble ABC (fig. 849), composée de deux arbalétriers AB, BC, d'un entrait AC, d'un faux-entrait DE et d'un poinçon BF.*

Notations. Nommons :

α l'angle BAC des arbalétriers avec l'horizon ;
L la longueur AD ;
$A = L \cos \alpha$ la projection horizontale Ad de AD :
L' la longueur DB ;
$A' = L' \cos \alpha$ la projection horizontale db de DB ;
p la charge par unité de longueur de l'arbalétrier, en la supposant uniformément répartie, ce qui est le cas ordinaire ;
b la hauteur de la section transversale des pièces ;
a la largeur id.
$\Omega = ab$, la section transversale ;
$O = A + A'$ moitié de la portée de la ferme.

608. Arbalétriers. — Considérons les arbalétriers comme fractionnés en deux parties AD, DB : on pourra déterminer l'équarrissage de la partie DB en la considérant comme un solide incliné à l'horizon, posé sur deux appuis et chargé de poids p uniformément répartis.

D'après cela, la formule (F) du n° 606 donne pour calculer l'équarrissage, en remarquant que $\varepsilon = \frac{Eab^3}{12}$ et $z = \frac{1}{2}b$:

$$R'_1 = \frac{pA'}{\cos\alpha}\left(\frac{\sin\alpha}{ab} + \frac{0{,}75\,A'}{ab^2}\right);$$

d'où l'on tire:

$$ab^2 = \frac{pA'}{R'_1\cos\alpha}\left\{\sin\alpha \times b + 0{,}75\,A'\right\} \quad \text{(A)}$$

On voit, conformément à la remarque finale du n° 606, que si l'angle α est plus petit que 45°, la quantité $\sin\alpha \times b$ sera sans influence bien sensible sur la valeur de ab^2 (1). On peut donc la négliger et poser simplement (ce qui est conforme au n° 601):

$$ab^2 = 0{,}75\,\frac{pA'^2}{R'_1\cos\alpha} \quad \text{(B)}$$

Si l'on fait dans cette dernière formule $a = 0{,}71\,b$, ainsi que cela convient, on trouve:

$$b = 1{,}015\sqrt[3]{\frac{pA'^2}{R'_1\cos\alpha}} \quad \text{(C)}$$

L'équarrissage de la partie AD se calculerait également au moyen de la formule (F) du n° 606; seulement on remarquerait que la composante $p\sin\alpha$ doit être augmentée de $p\,A'\sin\alpha$, à cause que cette partie AD sert de support à la partie DB. Il n'y aura donc qu'à remplacer $p\,A'\sin\alpha$ de la formule ci-dessus (A), par $p\,(A + A')\sin\alpha = p\,O\sin\alpha$ et 0,75 A' par 0,75A pour avoir celle qui convient à ce cas. Cette dernière est:

$$ab^2 = \frac{p}{R'_1\cos\alpha}\left\{O\sin\alpha \times b + 0{,}75\,A^2\right\} \quad \text{(D)}$$

Cette formule n'est pas susceptible de réduction comme la formule (A).

Observations. — Quand l'équarrissage trouvé pour la partie inférieure de l'arbalétrier est sensiblement le même que celui qui convient à la partie supérieure, on donne pour section uniforme à l'arbalétrier, le plus fort des deux. Quand, au contraire, l'équarrissage de la partie inférieure est beaucoup plus fort que celui de la partie supérieure, on double la première par un sous-arbalétrier, qu'on y juxtapose à plat-joint ou qu'on y assemble au moyen d'endentures, et qui procure la force voulue.

L'hypothèse qui consiste à considérer l'arbalétrier comme fractionné en deux parties au point D, tout en simplifiant les calculs, est d'autant plus fondée qu'il existe toujours en ce point un assemblage qui diminue sa force, et l'on fera bien d'agir de même dans tous les cas analogues. D'ailleurs, nous ne tenons pas compte, afin d'avoir une sorte de compensation, du poids de l'arbalétrier qui devrait entrer, à la rigueur, dans

---

(1) Faisons $p = 100^k$, $A' = 5^m$, $\alpha = 45°$, $R'_1 = 450000^k$, $b = 0{,}20$; la formule (A) donne: $a = 0^m, 152$ et la formule (B), $a = 0{,}146$.

les formules précédentes, mais qui les compliquerait inutilement. Nous estimons que si, d'une part ce poids tend à déterminer, conjointement avec les charges p, la flexion de la pièce, de l'autre l'encastrement qui existe à ses deux bouts et dont nous faisons abstraction, lui donne un surcroît de résistance qui est dans tous les cas suffisant pour compenser l'action du poids négligé.

609. Faux-entrait. — Les portions AD, DB de l'arbalétrier, s'appuyant sur le faux-entrait, y exercent une pression verticale, dont une composante agit dans le sens de l'axe de cette pièce et tend à la comprimer.

La pression verticale est égale à $\frac{pO}{2\cos\alpha}$ et sa composante horizontale, ou suivant l'axe du faux-entrait est, $\frac{pO}{2\sin\alpha}$.

Faisant usage de la formule $ab = \frac{Q'_1}{R'_1}$ du n° 581 en remplaçant Q' par $\frac{pO}{2\sin\alpha}$ on a pour calculer l'équarrissage de cette pièce :

$$ab = \frac{pO}{2R'_1\sin\alpha} \quad \text{(A) (1)}$$

Observation. — Le faux-entrait, étant soumis à la compression, pourrait être convenablement fait en fonte, qui résiste beaucoup mieux que le bois à cet effort (2).

Ordinairement quand le faux-entrait est en bois, on se dispense de calculer son équarrissage. On lui donne une section carrée, dont le côté est égal à la plus petite dimension transversale de l'arbalétrier, ce qui concorde, à peu de chose près, avec les indications de la théorie.

610. Poinçon. — L'office du poinçon dans la charpente est :

1° D'offrir un appui commun aux deux arbalétriers au point B : il est comprimé en ce point perpendiculairement aux fibres, avec une force qu'il serait facile d'estimer, mais dont nous ne tiendrons pas compte ici ;

2° De soutenir le faux-entrait et de l'empêcher de fléchir en son milieu sous l'action de son propre poids. C'est cette fonction qui doit servir à déterminer sa section transversale.

Représentons par δ le poids du mètre cube de la matière en faux-entraits ; son poids sera $2\,\delta\,A'\,ab$, ou bien, en remplaçant ab par sa valeur :

---

(1) On pourrait tenir compte de la compression produite par l'effet de la flexion sous leur propre poids, de chaque moitié DF du faux-entrait ; mais dans ce cas, la constante R'_1 qui entrait dans la formule, devrait avoir (suivant tous les théoriciens et même en suivant le parti que nous avons adopté au n° 571) une valeur beaucoup plus grande que celle qu'on lui assigne en considérant la compression directe comme agissant seule, ainsi qu'on le verra plus tard, et les valeurs de ab seraient moindres qu'en procédant comme je le fais ici.

(2) La fonte a une résistance environ 22 fois plus grande que le bois à l'écrasement (voir le tableau qui termine cette section).

$$\frac{A'\delta p O}{R'_1 \sin \alpha}$$

En supposant ce poids entièrement suspendu au poinçon, la section de ce dernier sera donnée par formule $ab = \frac{Q'}{R'}$, dans laquelle il n'y aura qu'à remplacer Q' par $\frac{A'\delta p O}{R' \sin \alpha}$: on obtient :

$$\frac{A'\delta p O}{R'_1 R' \sin \alpha} \quad \text{.....(A)}$$

Observation. — On se dispense souvent, comme pour le faux-entrait, de calculer l'équarrissage du poinçon quand il est en bois. On lui donne à peu près le même équarrissage qu'au faux-entrait et l'on obtient ainsi un très-grand surcroît de force.

On peut remarquer que le poinçon étant soumis, au point d'assemblage avec les arbalétriers, à un effort de compression, et dans le restant à un effort d'extension, il est très-convenable de le composer d'une tige en fer battu (1) *a* (*fig.* 850), terminée inférieurement par un étrier ou par une vis avec écrou, et supérieurement, par un coussinet en fonte *b*, contre lequel viennent s'assembler les arbalétriers.

611. Entrait. — Reste maintenant à déterminer l'équarrissage de l'entrait.

Pour y parvenir, remarquons d'abord que le poids supporté par chaque arbalétrier se décompose perpendiculairement et parallèlement à leur axe. La composante parallèle se transporte presque au point d'assemblage avec l'entrait, et là elle se décompose de nouveau en deux forces, l'une verticale ou perpendiculaire à l'entrait et qui tend à l'écraser perpendiculairement à ses fibres, l'autre parallèle à cette même pièce et qui tend à l'allonger ; cette dernière est égale à p O sin α.

Observons, en second lieu, que le poids du faux-entrait, et du poinçon que nous supposons suspendu en entier au sommet des arbalétriers, se décompose dans le sens de la longueur de ces derniers, et que la composante de ce poids vient s'ajouter à celle du poids de la toiture pour se décomposer avec elle, verticalement et horizontalement au point d'assemblage avec l'entrait.

Représentons ce poids par Π, sa composante dans le sens de l'arbalétrier est $\frac{\Pi}{2 \sin \alpha}$ (2), et la composante de cette dernière force dans le sens de l'entrait est :

$$\frac{\Pi \cos \alpha}{2 \sin \alpha}.$$

---

(1) Le fer battu a une résistance à l'extension environ 6 fois aussi forte que celle du bois (voir le tableau qui termine cette section).

(2) L'angle xyz (*fig.* 849) $= 2\alpha$; appelant X cette composante on a :

$$X : \Pi = \sin (90 - \alpha) : \sin 2\alpha.$$

$$X = \frac{\Pi \sin (90 - \alpha)}{\sin 2\alpha} = \frac{\Pi \cos \alpha}{2 \sin \alpha \times \cos \alpha} = \frac{\Pi}{2 \sin \alpha}.$$

Remarquons enfin que le poids de l'arbalétrier lui-même, que nous représenterons par P, donne une composante dans le même sens égale à

$$P \sin \alpha \times \cos \alpha.$$

D'après cela, l'on voit que l'entrait est tiré directement dans le sens de sa longueur par une force égale à

$$p0 \sin \alpha + \frac{\Pi \cos \alpha}{2 \sin \alpha} + P \sin \alpha \times \cos \alpha;$$

ou bien

$$\sin \alpha \left\{ p0 + \left(\frac{\Pi}{2 \sin^2 \alpha} \right) \cos \alpha \right\}.$$

Cette force produit un allongement par mètre égal à

$$i = \frac{\sin \alpha \left\{ p0 + \left(\frac{\Pi}{2 \sin^2 \alpha} + P \right) \cos \alpha \right\}}{E\, ab}.$$

Outre cet effort de traction directe que supportent toutes les fibres de l'entrait indistinctement, celles situées à sa partie inférieure subissent un allongement provenant de la courbure que la pièce prend en vertu de son propre poids. Représentons par δ' le poids du mètre cube de la matière de l'entrait, son poids par unité de longueur sera $\delta'\, ab$, et d'après cela on aura pour exprimer l'allongement de la fibre la plus éloignée de l'axe neutre :

$$i' = \frac{z}{\rho} = \frac{b}{2\rho} = \frac{30^2\, \delta'\, ab}{E\, ab^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

La fibre la plus tendue subira donc un allongement exprimé par

$$i + i' = \frac{\sin \alpha \left\{ p0 + \left(\frac{\Pi}{2 \sin^2 \alpha} + P \right) \cos \alpha \right\}}{E\, ab} + \frac{30^2\, \delta'\, ab}{E\, ab^2},$$

ou bien

$$i = i' = \frac{1}{E\, ab} \left\{ 0 \left[p \sin \alpha + 30\delta' a \right] + \left[\frac{\Pi}{2 \sin^2 \alpha} + P \right] \sin \alpha \cos \alpha \right\}.$$

Posant $i + i' = \frac{R'}{E}$ comme limite de l'allongement *maximum* qu'on peut faire subir sans danger et d'une manière permanente aux fibres de la substance, on aura pour calculer la section de l'entrait :

$$R' = \frac{1}{ab} \left\{ 0 \left[p \sin \alpha + 30\delta' a \right] + \left[\frac{\Pi}{2 \sin^2 \alpha} + P \right] \sin \alpha \cos \alpha \right\};$$

---

(1) On a, d'après le n° 576, en faisant, $20 = L$: $\sigma = \frac{\varepsilon}{\rho} = \frac{0^2 \delta' ab}{2}$; d'où $\frac{1}{\rho} = \frac{0^2 \delta' ab}{2\varepsilon}$.

Faisant $\varepsilon = \frac{E\, ab^3}{12}$, il vient $\frac{b}{2\rho} = \frac{30^2 \delta' ab}{E\, ab^2}$.

d'où l'on tire :

$$ab = \frac{1}{R'}\left\{O[p\sin\alpha + 30\delta' a] + \left[\frac{\Pi}{2\sin^2\alpha} + P\right]\sin\alpha\cos\alpha\right\} \quad \ldots\ldots (A)$$

Les facteurs $Op\sin\alpha$ et $\left(\frac{\Pi}{2\sin^2\alpha} + P\right)\sin\alpha\cos\alpha$ sont ordinairement assez petits relativement à $30^2\delta' a$, pour qu'il y ait peu d'inconvénient à les négliger dans les applications. La formule servant à calculer l'épaisseur verticale de l'entrait peut donc se réduire à

$$b = \frac{30^2\delta'}{R'} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (B)\ (1)$$

Observations. — 1° Si l'on suspendait l'entrait au faux-entrait et aux arbalétriers par des *aiguilles pendantes* placées dans la direction des lignes pointillées *ef*, *gh*, *ik* (*fig.* 850), l'allongement produit par la flexion ne serait plus que $\frac{3X^2\delta' ab}{4E ab^2}$, X exprimant la plus grande distance qui sépare les aiguilles pendantes l'une de l'autre. Mais dans ce cas le poids de l'entrait exprimé par $2\delta' abO$ se reporte en grande partie sur les arbalétriers, et vient augmenter la composante.

$\sin\alpha\left\{pO + \left(\frac{\Pi}{2\sin^2\alpha} + P\right)\cos\alpha\right\}$ d'une quantité qu'on peut prendre égale à $\delta' abO\sin\alpha$, $\cos\alpha$, afin de ne pas rester au-dessous de la réalité.

D'après cela, la formule de l'équarrissage de l'entrait devient :

$$ab = \frac{1}{R' - \delta' O\sin\alpha\cos\alpha}\left\{pO\sin\alpha + \tfrac{3}{4}X^2\delta' a + \left[\frac{\Pi}{2\sin^2\alpha} + P\right]\sin\alpha\cos\alpha\right\} \quad (C)$$

2° Il est visible que, dans le même cas, l'équarrissage de l'arbalétrier devrait être augmenté par suite du surcroît de pression dans le sens de l'axe auquel il serait soumis. Ce surcroît de pression a pour valeur $\delta' abO\sin\alpha$.

On trouvera aisément, en se reportant aux considérations d'après lesquelles on a établi les formules (A) et (D) du n° 608 : pour l'équarrissage de la partie de l'arbalétrier supérieure au faux-entrait,

$$ab^2 = \frac{pA'\left\{\sin\alpha \times b + 0{,}75A'\right\}}{R'_1\cos\alpha - \delta' O\sin\alpha} \quad \ldots\ldots\ldots (D)$$

formule qu'on pourra réduire, pour les cas ordinaires de la pratique, à

$$ab^2 = \frac{0{,}75\,pA'^2}{R'_1\cos\alpha - \delta' O\sin\alpha} \quad \ldots\ldots\ldots (E)$$

L'équarrissage de la partie inférieure aux faux-entrait sera donnée par la formule

$$ab^2 = \frac{p\left\{O\sin\alpha \times b + 0{,}75\,A^2\right\}}{R'_1\cos\alpha - \delta' O\sin\alpha} \quad \ldots\ldots\ldots (F)$$

---

(1) On arriverait directement à cette formule en considérant l'entrait comme sujet à fléchir sous l'action de son propre poids seulement.

3° La nouvelle disposition que nous venons d'indiquer ne serait certainement pas sans influence sur le faux-entrait et sur le poinçon. L'un subirait une certaine augmentation de pression, l'autre un surcroît de tension qu'il serait facile d'estimer au moins approximativement. La première devrait s'ajouter à $\frac{p\,O}{2\sin\alpha}$ dans la formule du n° 609, et l'autre à $\frac{A'\delta pO}{R'_1\sin\alpha}$ dans celle du n° 610; mais en général ces augmentations de pression et de tension sont peu notables, et il n'est pas réellement utile d'en tenir compte pour les applications.

4° Soit n le nombre des aiguilles pendantes qui supportent l'entrait, $\frac{2\delta' Oab}{n+2}$ sera approximativement le poids porté par chacune d'elles, et leur section transversale sera donnée par la formule

$$\Omega = \frac{2\delta' O\,ab}{(n+2)R'}.$$

5° On peut remarquer que, à l'exception de ses deux extrémités qui sont comprimées perpendiculairement aux fibres, l'entrait supporte, principalement quand il est soutenu par des aiguilles pendantes, des efforts d'extension. On emploiera donc avantageusement, pour cette pièce de la ferme, un tirant en fer terminé à chaque extrémité par un sabot en fonte, dans lequel s'emboîtera le pied de l'arbalétrier. Cette disposition est représentée fig. 850.

612. Tensions produites par les changements de température. — La section du tirant en fer pourrait se calculer au moyen des formules (C) ou (B) du numéro précédent, selon qu'il serait ou non soutenu par des aiguilles pendantes; mais la section obtenue supposerait que le tirant fût placé dans un milieu dont la température ne pourrait pas s'abaisser au-dessous de celle existante au moment de son placement. Si le contraire avait lieu, la contraction du métal pourrait produire un surcroît de tension trop élevé pour qu'il n'y eût pas à craindre une rupture pendant les froids rigoureux.

On fera donc bien de déterminer cette section en procédant comme suit :

Désignons par

t la température du lieu quand on met le tirant en place ;

t' la température la plus basse à laquelle il puisse être exposé;

0,0000112 la contraction linéaire du fer par degré du thermomètre centigrade;

Ω la section transversale du tirant.

Le raccourcissement par mètre, qui doit résulter du passage de la température t à la température t', sera

$$0{,}0000111\,(t - t').$$

Si ce raccourcissement est empêché, c'est comme si le tirant s'allongeait, par mètre, de la quantité ci-dessus.

D'un autre côté, la fibre moléculaire la plus éloignée de l'axe neutre subit, comme on l'a établi au n° 611, un allongement par mètre exprimé par :

$$\frac{1}{E\Omega}\left\{p\mathrm{O}\sin\alpha+\delta'\,\Omega\mathrm{O}\sin\alpha\cos\alpha+\tfrac{5}{4}\,\mathrm{X}^2\delta'\,a+\left(\frac{\mathrm{II}}{2\sin^2\alpha}+\mathrm{P}\right)\sin\alpha\cos\alpha\right\}.$$

L'allongement par mètre sera donc

$$0{,}0000112\,(t-t')+\frac{1}{E\Omega}\left\{p\mathrm{O}\sin\alpha+\tfrac{5}{4}\,\mathrm{X}^2\delta'\,a+\left(\frac{\mathrm{II}}{2\sin^2\alpha}+\mathrm{P}\right)\sin\alpha\cos\alpha\right\}+\frac{\delta'\mathrm{O}\sin\alpha\cos\alpha}{E}.$$

Faisant cette quantité égale à $\frac{R'}{E}$, on tire de l'équation :

$$\Omega=\frac{p\mathrm{O}\sin\alpha+\tfrac{5}{4}\,\mathrm{X}^2\delta'\,a+\left(\frac{\mathrm{II}}{2\sin^2\alpha}+\mathrm{P}\right)\sin\alpha\cos\alpha}{R'-0{,}0000112\,(t-t')\,E-\delta'\mathrm{O}\sin\alpha\cos\alpha}$$

ou bien en faisant $E=20{,}000{,}000{,}000^{k}$,

$$\Omega=\frac{p\mathrm{O}\sin\alpha+\tfrac{5}{4}\,\mathrm{X}^2\delta'\,a+\left(\frac{\mathrm{II}}{2\sin^2\alpha}+\mathrm{P}\right)\sin\alpha\cos\alpha}{R'-224{,}000\,(t-t')+\delta\,\mathrm{O}\sin\alpha\cos\alpha}\qquad(\mathrm{A})$$

Cet exemple suffira pour indiquer la marche à suivre dans tous les cas analogues. Il aura fait ressortir, en outre, l'utilité du raisonnement appliqué aux constructions, en montrant comment, en se rendant compte du mode d'action des forces, et en ayant égard aux divers degrés de résistance des matériaux entre lesquels on peut choisir pour le même objet, il est possible d'introduire des améliorations souvent considérables à un premier projet. Si l'on compare en effet les figures 849 et 850, on verra combien le remplacement par du fer et de la fonte de certaines parties de la charpente qu'on a étudiée, la rendent plus élégante, tout en lui conservant une même force et, dans certains cas, tout en diminuant la dépense.

613. Formules numériques applicables aux cas ordinaires de la pratique. — Afin de rendre plus commode l'emploi des formules précédentes, nous les avons calculées après y avoir mis les valeurs des constantes qui conviennent aux cas les plus ordinaires de la pratique. On trouvera le résultat de ce travail dans les tableaux suivants :

TABLEAU I.

INCLINAISON ET CHARGE PAR MÈTRE D'ARBALÉTRIER DES DIFFÉRENTES ESPÈCES DE COUVERTURES.

NATURE DE LA COUVERTURE.	Inclinaison du toit sur l'horizon ou α.	Charge par mètre d'albalétrier ou p.	OBSERVATIONS.
Tuiles flamandes ou pannes	45°	378^k	p comprend, outre le poids de la couverture, des chevrons et des cours de pannes, le poids éventuel d'une couche de neige de 0^m,25 d'épaisseur, et une pression de 4k,40 due à l'action du vent; il suppose en outre l'espacement des fermes = 3 mètres.
Ardoises.	45° à 33°	300	
Cuivre laminé et zinc n° 14.	21° à 18°	192	
Mastic bitumineux.	18°	234	

TABLEAU II.

FORMULES D'ÉQUARRISSAGE CONVENANT A L'ARBALÉTRIER SUPÉRIEUR LORSQUE L'ENTRAIT N'EST PAS SOUTENU PAR DES AIGUILLES PENDANTES (1).

NATURE de LA COUVERTURE.	SUBSTANCE EMPLOYÉE. CHÊNE OU SAPIN FORT (2)		FER (3).	FONTE (4).
Pannes.	$b = 0{,}108 \sqrt[3]{A'^2}$	$a = 0{,}71\ b.$	$ab^2 = 0{,}000057\ A'^2$	$ab^2 = 0{,}000123\ A'^2$
Ardoises sous l'angle de 45°.	$b = 0{,}099 \sqrt[3]{A'^2}$		$ab^2 = 0{,}000045\ A'^2$	$ab^2 = 0{,}000099\ A'^2$
Ardoises sous l'angle de 33°.	$b = 0{,}094 \sqrt[3]{A'^2}$		$ab^2 = 0{,}000039\ A'^2$	$ab^2 = 0{,}000084\ A'^2$
Cuivre et zinc n° 14, sous l'angle de 21°	$b = 0{,}078 \sqrt[3]{A'^2}$		$ab^2 = 0{,}0000225\ A'^2$	$ab^2 = 0.000048\ A'^2$
Cuivre et zinc n° 14, sous l'angle de 18°.	$b = 0{,}078 \sqrt[3]{A'^2}$		$ab^2 = 0{,}0000225\ A'^2$	$ab^2 = 0{,}000048\ A'^2$
Mastic bitumineux .	$b = 0{,}084 \sqrt[3]{A'^2}$		$ab^2 = 0{,}0000264\ A'^2$	$ab^2 = 0{,}000057\ A'^2$

(1) Formules employées : (C) du n° 608 pour la 1re colonne, et (B) du même numéro pour les deux autres.

(2) En faisant dans les formules ci-dessus, $R'_1 = 450000^k$.

(3) — — $R'_1 = 700000^k$.

(4) — — $R'_1 = 325000^k$.

TABLEAU III.

FORMULES D'ÉQUARRISSAGE CONVENANT A L'ARBALÉTRIER INFÉRIEUR, LORSQUE L'ENTRAIT N'EST PAS SOUTENU PAR DES AIGUILLES PENDANTES (1).

NATURE de LA COUVERTURE.	SUBSTANCE EMPLOYÉE.		
	CHÊNE OU SAPIN FORT.	FER.	FONTE.
Pannes	$ab^2 = 0{,}00084\ Ob + 0{,}0009\ A^2$	$ab^2 = 0{,}000054\ Ob + 0{,}000057\ A^2$	$ab^2 = 0{,}000117\ Ob + 0{,}000123\ A^2$
Ardoises sous l'angle de 45°.	$ab^2 = 0{,}00066\ Ob + 0{,}000072\ A^2$	$ab^2 = 0{,}000042\ Ob + 0{,}000045\ A^2$	$ab^2 = 0{,}000090\ Ob + 0{,}000099\ A^2$
Ardoises sous l'angle de 33°.	$ab^2 = 0{,}00045\ Ob + 0{,}0006\ A^2$	$ab^2 = 0{,}000027\ Ob + 0{,}000039\ A^2$	$ab^2 = 0{,}000060\ Ob + 0{,}000024\ A^2$
Cuivre et zinc n° 14, sous l'angle de 21°.	$ab^2 = 0{,}00015\ Ob + 0{,}0003\ A^2$	$ab^2 = 0{,}000015\ Ob + 0{,}0000225\ A^2$	$ab^2 = 0{,}000033\ Ob + 0{,}000048\ A^2$
Cuivre et zinc n° 14, sous l'angle de 18°.	$ab^2 = 0{,}00015\ Ob + 0{,}0003\ A^2$	$ab^2 = 0{,}000015\ Ob + 0{,}0000225\ A^2$	$ab^2 = 0{,}000033\ Ob + 0{,}000048\ A^2$
Mastic bitumineux	$ab^2 = 0{,}00015\ Ob + 0{,}00042\ A^2$	$ab^2 = 0{,}000015\ Ob + 0{,}0000264\ A^2$	$ab^2 = 0{,}000033\ Ob + 0{,}000057\ A^2$

(1) Formule employée (D) du n° 608.

TABLEAU IV.

FORMULES D'ÉQUARRISSAGE CONVENANT A L'ARBALÉTRIER SUPÉRIEUR, LORSQUE L'ENTRAIT EST SOUTENU PAR DES AIGUILLES PENDANTES (1).

NATURE DE LA COUVERTURE.	SUBSTANCE EMPLOYÉE.		
	CHÊNE OU SAPIN FORT.	FER.	FONTE.
Pannes	$ab^2 = \frac{282{,}50\ A'^2}{319{,}500 - 0{,}71\ O\delta'}$	$ab^2 = \frac{182{,}50\ A'^2}{4{,}970{,}000 - 0{,}71\ O\delta'}$	$ab^2 = \frac{182{,}50\ A'^2}{2{,}307{,}500 - 0{,}71\ O\delta'}$
Ardoises sous l'angle de 45°	$ab^2 = \frac{225,\ A'^2}{319{,}500 - 0{,}71\ O\delta'}$	$ab^2 = \frac{225\ A'^2}{4{,}970{,}000 - 0{,}71\ O\delta'}$	$ab^2 = \frac{225\ A'^2}{2{,}307500 - 0{,}71\ O\delta'}$
Ardoises sous l'angle de 33°	$ab^2 = \frac{225\ A'^2}{378{,}000 - 0{,}54\ O\delta'}$	$ab^2 = \frac{225\ A'^2}{5{,}880{,}000 - 0{,}54\ O\delta'}$	$ab^2 = \frac{225\ A'^2}{2{,}730{,}000 - 0{,}54\ O\delta'}$
Cuivre et zinc n° 14, sous l'angle de 21° à 18°	$ab^2 = \frac{148\ A'^2}{427{,}500 - 0{,}30\ O\delta'}$	$ab^2 = \frac{144\ A'^2}{6{,}650{,}000 - 0{,}30\ O\delta'}$	$ab^2 = \frac{144\ A'^2}{3{,}087{,}500 - 0{,}30\ O\delta'}$
Mastic bitumineux.	$ab^2 = \frac{175{,}50\ A'^2}{427{,}500 - 0{,}30\ O_4'}$	$ab^2 = \frac{175{,}50\ A'^2}{6{,}650{,}000 - 0{,}30\ O\delta'}$	$ab^2 = \frac{175{,}50}{8{,}087{,}500 - 0{,}30\ O\delta'}$

(1) Formule employée (E) du n° 611.

TABLEAU V.

FORMULES D'ÉQUARRISSAGE CONVENANT A L'ARBALÉTRIER INFÉRIEUR, LORSQUE L'ENTRAIT EST SOUTENU PAR DES AIGUILLES PENDANTES (1).

NATURE DE LA COUVERTURE.	SUBSTANCE EMPLOYÉE.		
	CHÊNE OU SAPIN FORT.	FER.	FONTE.
Pannes.	$ab^2 = \frac{268{,}38\ Ob + 282{,}50\ A^2}{319{,}500 - 0{,}71\ O\delta'}$	$ab^2 = \frac{268{,}28\ Ob + 282{,}50\ A^2}{4{,}970{,}000 - 0{,}71\ O\delta'}$	$ab^2 = \frac{268{,}38\ Ob + 282{,}50\ A^2}{2{,}307{,}500 - 0{,}71\ O\delta'}$
Ardoises sous l'angle de 45°.	$ab^2 = \frac{213\ Ob + 225\ A^2}{319{,}500 - 0{,}71\ O\delta'}$	$ab^2 = \frac{213\ Ob + 225\ A^2}{4{,}970{,}000 - 0{,}71\ O\delta'}$	$ab^2 = \frac{213\ Ob + 225\ A^2}{2{,}307{,}500 - 0{,}71\ O\delta'}$
Ardoises sous l'angle de 33°.	$ab^2 = \frac{213\ Ob + 225\ A^2}{37{,}800 - 0{,}54\ O\delta'}$	$ab^2 = \frac{213\ Ob + 225\ A^2}{5{,}880{,}000 - 0{,}54\ O\delta'}$	$ab^2 = \frac{213\ Ob + 225\ A^3}{273{,}000 - 0{,}154\ O\delta'}$
Cuivre et zinc n° 14, sous l'angle de 21° à 18°.	$ab^2 = \frac{57{,}60\ Ob + 144\ A^2}{427{,}500 - 0{,}30\ O\delta'}$	$ab^2 = \frac{57{,}60\ Ob + 144\ A^2}{6{,}650{,}000 - 0{,}30\ O\delta'}$	$ab^2 = \frac{57{,}60\ Ob + 144\ A^2}{3{,}087{,}500 - 0{,}30\ O\delta'}$
Mastic bitumineux	$ab^2 = \frac{70{,}26\ Ob + 175{.}50\ A^2}{427{,}500 - 0{,}30\ O\delta'}$	$ab^2 = \frac{70{,}26\ Ob + 175{,}150\ A^2}{6{,}650{,}000 - 0{,}30\ O\delta'}$	$ab^2 = \frac{76{,}26\ Ob + 175{,}50\ A^2}{3{,}087{,}500 - 0{,}30\ O\delta'}$

(1) Formule employée (F) du n° 611.

TABLEAU VI.

FORMULES D'ÉQUARRISSAGE CONVENANT AU FAUX-ENTRAIT (1).

NATURE DE LA COUVERTURE.	SUBSTANCE EMPLOYÉE.	
	CHÊNE OU SAPIN FORT (2)	FONTE (3).
Pannes.....	$ab = 0{,}0036\ O$	$\Omega = 0{,}00034\ O$
Ardoises sous l'angle de 45°.....	$ab = 0{,}0028\ \hat{O}$	$\Omega = 0{,}00028\ O$
Ardoises — de 33°.....	$ab = 0{,}0036\ O$	$\Omega = 0{,}00034\ O$
Cuivre et zinc n° 14, sous l'angle de 21°	$ab = 0{,}0036\ O$	$\Omega = 0{,}00034\ O$
Cuivre et zinc n° 14, — de 18°.	$ab = 0{,}0042\ O$	$\Omega = 0{,}00040\ O$
Mastic bitumineux.....	$ab = 0{,}0052\ O$	$\Omega = 0{,}00050\ O$

TABLEAU VII.

FORMULES D'ÉQUARRISSAGE CONVENANT AU POINÇON EN CHÊNE OU SAPIN FORT (4).

NATURE DE LA COUVERTURE.	LE FAUX-ENTRAIT ÉTANT EN		
	CHÊNE (5).	SAPIN (6).	FONTE (7)
Pannes.....	$ab = 0{,}0000068\ OA'$	$ab = 0{,}0000040\ OA'$	$ab = 0{,}0000052\ OA'$

N. B. Les équarrissages donnés par ces formules, ainsi que par celles qui conviendraient aux autres espèces de couvertures, seraient irréalisables dans la pratique, et

(1) Formule employée (A) n° 609.

(2) En faisant dans la formule susmentionnée $R_1' = 7{,}500^k$, ce qui suppose que la plus petite dimension transversale sera comprise 48 fois au plus dans A'.

(3) En faisant $R'_1 = 650{,}000^k$, ce qui suppose que la petite dimension transversale sera comprise 36 fois dans A'. Cette dernière condition peut toujours être réalisée en employant des sections en T ou en croix.

(4) Formule employée (A) n° 610.

(5) En faisant dans la formule susmentionnée $R'_1 = 75{,}000^k \times R' = 1{,}000{,}000^k \times \delta = 950^k$.

(6) — — — $R'_1 = 75{,}000^k \times R' = 1{,}000{,}000^k \times \delta = 550^k$.

(7) — — — $R'_1 = 65{,}000^k \times R' = 1{,}000{,}000^k \times \delta = 7200^k$.

c'est pourquoi nous nous abstenons de compléter le tableau. Elles auront toutefois l'avantage de faire voir qu'on emploie à cette pièce de charpente une quantité de matière beaucoup plus considérable que celle strictement nécessaire à la fonction qu'elle remplit. On pourrait, sans aucun doute, se rapprocher des indications de la théorie au moyen de modifications, dans l'assemblage des pièces, qui ne sont pas bien difficiles à découvrir.

TABLEAU VIII.

FORMULES D'ÉQUARRISSAGE CONVENANT AU POINÇON EN FER (1).

NATURE DE LA COUVERTURE.	LE FAUX-ENTRAIT ÉTANT EN		
	CHÊNE.	SAPIN.	FONTE.
Pannes.....	$\Omega=0,00000098\,A'O$	$\Omega=0,00000057\,A'O$	$\Omega=0,00000074\,A'O$
Ardoises sous l'angle de 45°.....	$\Omega=0,00000076\,A'O$	$\Omega=0,00000044\,A'O$	$\Omega=0,00000057\,A'O$
Ardoises sous l'angle de 33°.....e..	$\Omega=0,00000098\,A'O$	$\Omega=0,00000057\,A'O$	$\Omega=0,00000074\,A'O$
Cuivre ou zinc, n° 14, sous l'angle de 21°.	$\Omega=0,00000098\,A'O$	$\Omega=0,00000057\,A'O$	$\Omega=0,00000074\,A'O$
Cuivre ou zinc, n° 14, sous l'angle de 18°.	$\Omega=0,00000114\,A'O$	$\Omega=0,00000066\,A'O$	$\Omega=0,00000082\,A'O$
Mastic bitumineux..	$\Omega=0,00000141\,A'O$	$\Omega=0,00000081\,A'O$	$\Omega=0,00000103\,A'O$

N. B. Les formules de ce tableau supposent que le poinçon ne sera pas soumis à d'autres tensions que celle résultant du poids du faux-entrait qu'il supporte. Si on le tendait, par exemple, au moyen d'écrous ou de clefs, on devrait non-seulement tenir compte de cet excès de tension, mais en outre de celui qui pourrait résulter d'un abaissement de température. Ce dernier aurait pour expression, d'après ce qu'on a vu aux n^os^ 561 et 612 :

$$0,000012\,(t-t')\,E\Omega;$$

et la formule qui servirait à calculer l'aire de la section transversale, en ne tenant compte que de cet accroissement de tension, serait

$$\Omega=\frac{\delta pA'O}{R'_1\sin\alpha\,[R'-224000\,(t-t')]}\quad\ldots\ldots\ldots

mais en doublant les quantités données par les formules du tableau, on se mettra certainement au-dessus de toute éventualité (1).

---

(1) En supposant $t - t' = 35°$, la formule (A') donnerait :

$$\Omega = \frac{\delta p A' O}{R'_1 \sin \alpha \, (R' - 7{,}840{,}000^k)} .$$

Comme l'effort dû à l'accourcissement produit par un abaissement de température aussi fort ne sera que momentané, on peut prendre $R' = 12{,}000{,}000^k$, ce qui est encore inférieur à la limite d'élasticité du fer de qualité moyenne.

On aurait donc

$$\Omega = \frac{\delta p A' O}{R'_1 \sin \alpha \, (12{,}000{,}000 - 7{,}840{,}000)} ;$$

c'est-à-dire

$$\Omega = 1{,}67 \, \frac{\delta p A' O}{7{,}000{,}000 \, R'_1 \sin \alpha} .$$

TABLEAU IX. — FORMULES D'ÉQUARRISSAGE CONVENANT A L'ENTRAIT, LORSQU'IL EST SOUTENU PAR DES AIGUILLES PENDANTES.

NATURE DE LA COUVERTURE.	SUBSTANCE EMPLOYÉE. CHÊNE (1).	SUBSTANCE EMPLOYÉE. SAPIN (2).
Pannes.....	$ab=0{,}00027\,O+0{,}00071\,X^2a+0{,}0000005\,(H+P)$	$ab=0{,}00027\,O+0{,}00041\,X^2a+0{,}0000005\,(H+P)$
Ardoises sous l'angle de 45°.	$ab=0{,}00022\,O+0{,}00071\,X^2a+0{,}0000005\,(H+P)$	$ab=0{,}00022\,O+0{,}00041\,X^2a+0{,}0000005\,(H+P)$
Ardoises — 33°.	$ab=0{,}00016\,O+0{,}00071\,X^2a+0{,}00000045\left(\frac{H}{0{,}38}+P\right)$	$ab=0{,}00016\,O+0{,}00041\,X^2a+0{,}00000045\left(\frac{H}{0{,}38}+P\right)$
Cuivre et zinc n° 14, sous l'angle de 21°.....	$ab=0{,}00007\,O+0{,}00071\,X^2a+0{,}00000033\left(\frac{H}{0{,}24}+P\right)$	$ab=0{,}00007\,O+0{,}00041\,X^2a+0{,}00000033\left(\frac{H}{0{,}24}+P\right)$
Cuivre et zinc, n° 14, sous l'angle de 18°.....	$ab=0{,}00005\,O+0{,}00071\,X^2a+0{,}00000029\left(\frac{H}{0{,}18}+P\right)$	$ab=0{,}00005\,O+0{,}00041\,X^2a+0{,}00000029\left(\frac{H}{0{,}18}+P\right)$
Mastic bitumineux.....	$ab=0{,}00007\,O+0{,}00071\,X^2a+0{,}00000029\left(\frac{H}{0{,}18}+P\right)$	$ab=0{,}00007\,O+0{,}00041\,X^2a+0{,}00000029\left(\frac{H}{0{,}18}+P\right)$

N. B. — Les équarrissages fournis par les formules de ce tableau indiquent qu'on donne généralement des dimensions beaucoup trop fortes aux entraits. On pourrait certainement, en combinant cette remarque avec celle que nous avons faite relativement au poinçon, introduire dans les fermes à aiguilles pendantes des modifications qui les rendraient plus économiques en même temps que plus légères et non moins solides. Nous présentons ci-contre une disposition qui nous paraît susceptible d'être réalisée.

(1) En faisant $R'=1{,}000{,}000^k$ $\delta'=950^k$ dans la formule (C) du n° 611, et en négligeant le terme $\delta' O \sin\alpha\cos\alpha$ du dénominateur qui n'influe sur ab que d'une manière insignifiante.

(2) En faisant $R'=1{,}000{,}000^k$ $\delta'=550^k$ dans la même formule (C) du n° 611, et en négligeant $\delta' O \sin\alpha\cos\alpha$.

TABLEAU X.

ÉPAISSEUR A DONNER A L'ENTRAIT, LORSQU'IL N'EST PAS SOUTENU PAR DES AIGUILLES PENDANTES.

NATURE DE LA COUVERTURE.	SUBSTANCE EMPLOYÉE.	
	CHÊNE (1).	SAPIN (2).
Pannes.—Ardoises.—Cuivre ou zinc, n° 14. — Mastic bitumineux..	$b = 0{,}00575\ O^2$	$b = 0{,}00335\ O^2$

TABLEAU XI.

FORMULES DONNANT LA SECTION DU TIRANT EN FER, LORSQU'IL EST SOUTENU PAR DES AIGUILLES PENDANTES (3).

NATURE DE LA COUVERTURE.	
Pannes.....	$ab = 0{,}000064\ O + 0{,}0014\ X^2a + 0{,}00000012\ (H + P)$
Ardoises sous l'angle de 45°.....	$ab = 0{,}000053\ O + 0{,}0014\ X^2a + 0{,}000{,}00012\ (H + P)$
Ardoises sous l'angle de 33°.....	$ab = 0{,}000038\ O + 0{,}0014\ X^2a + 0{,}00000011\left(\frac{H}{0{,}54} + P\right)$
Cuivre et zinc, n° 14, sous l'angle de 21°.	$ab = 0{,}000016\ O + 0{,}0014\ X^2a + 0{,}00000008\left(\frac{H}{0{,}24} + P\right)$
Cuivre et zinc, n° 14, sous l'angle de 18°.	$ab = 0{,}000012\ O + 0{,}0014\ X^2a + 0{,}00000007\left(\frac{H}{0{,}18} + P\right)$
Mastic bitumineux..	$ab = 0{,}000016\ O + 0{,}0014\ X^2a + 0{,}00000007\left(\frac{H}{0{,}18} + P\right)$

(1) En faisant $R' = R'_1 = 450{,}000^k$ $\delta' = 950^k$ dans la formule (B) du n° 611.
(2) — $R' = R'_1 = 450{,}000^k$ $\delta' = 550^k$ — — n° 611.
(3) — $R' = 12{,}000{,}000^k$ $\delta = 7{,}780^k$ $t - t' = 35^0$ dans la formule (A) du n° 612, et en négligeant $\delta' O \sin \alpha \cos \alpha$ au dénominateur.

XII. FORMULES PROPRES A DÉTERMINER LA SECTION TRANSVERSALE DES AIGUILLES PENDANTES.

1° L'entrait étant en chêne et les aiguilles en bois, $\Omega = \frac{0{,}0019\ ab}{n+2}$ ..... (1)

2° — sapin — $\Omega = \frac{0{,}0011\ ab}{n+2}$ ..... (2)

3° L'entrait étant en chêne et les aiguilles en fer, $\Omega = \frac{0{,}00027\ ab}{n+2}$ ..... (3)

4° — sapin — $\Omega = \frac{0{,}00016\ ab}{n+2}$ ..... (4)

5° — fer — $\Omega = \frac{6{,}0022\ ab}{n+2}$ ..... (5)

N. B. La valeur de ab sera donnée par les formules des tableaux IX et XI suivant le cas. On doublera Ω lorsque les aiguilles seront en fer pour tenir compte des tensions produites par les changements de température (6).

614. Exemple de calcul. — Soit à déterminer l'équarrissage de toutes les pièces d'une ferme de 20 mètres de portée pour une toiture en ardoises dont les arbalétriers, l'entrait et le faux-entrait sont en sapin, le poinçon et les aiguilles pendantes en fer : on a $O = 10$ mètres.

Supposons $\alpha = 33°$.
— $A' = 3{,}33$. $A = 6{,}66$.
— $X = 5{,}00$.
— $\delta' = 550^k$

1° La formule du tableau IV donne, pour l'arbalétrier supérieur :

$$ab^2 = \frac{225 \times 11{,}09}{378000 - 29700} = 0{,}007162$$

Faisant $a = 0{,}71\ b$, on a :

$$b = \sqrt[3]{\frac{0{,}007162}{0{,}71}} = 0^m{,}22 \text{ à peu près.}$$

$a = 0^m{,}15$ id.

2° La formule du tableau V donne, pour l'arbalétrier inférieur, en assignant à b, dans le second membre, une valeur approximative de 0,30 :

$$ab^2 = \frac{213 \times 3 + 225 \times 44{,}35}{378000 - 29700} = 0{,}030.$$

---

(1) En faisant $R' = 1{,}000{,}000^k$ $\delta' = 950^k$ } Ces deux formules ne sont données que pour faire voir qu'on pourrait ménager le bois plus qu'on ne le fait ordinairement pour ces pièces.
(2) — $R' = 1{,}000{,}000^k$ $\delta' = 550^k$ }
(3) — $R' = 7{,}000{,}000^k$ $\delta' = 950^k$.
(4) — $R' = 7{,}000{,}000^k$ $\delta' = 550^k$.
(5) — $R' = 7{,}000{,}000^k$ $\delta' = 7{,}780^k$.

(6) On trouvera plus loin des formules pour calculer l'équarrissage des chevrons et des cours de pannes.

Faisant $a = 0,15$, on a :

$$b = \sqrt[5]{\frac{0,030}{0,15}} = 0,45.$$

3° La formule du tableau VI donne pour le faux-entrait :

$$ab = 0,0036 \times 10 = 0,036.$$

Faisant $a = b$,

$$b = \sqrt{0,036} = 0^m,19 \text{ à peu près.}$$

On porterait, d'après cela, l'épaisseur horizontale des arbalétriers à $0^m,19$ en réduisant, si on le veut, leur autre dimension en conséquence.

4° La formule du tableau VIII donne pour le poinçon en fer :

$$\Omega = 0,00000057 \times 3,333 \times 10 = 0,000019 \text{ à peu près.}$$

En le faisant cylindrique et de diamètre d,

$$\Omega = \frac{3,141\ d^2}{4} = 0,000019.$$

on doublerait 0,000019 d'après l'observation consignée au bas du tableau VIII, et l'on trouverait :

$$d = \sqrt{0,000048} = 0^m,007 \text{ à peu près.}$$

5° La formule du tableau XI donne pour le tirant, d'abord en faisant $a = 0,02$:

$$0,02 \times b = 0,00038 + 0,0007 + 0,00000012\ (H+P).$$

On a ensuite :

$$H = 3,33 \times 2 \times \overline{0,19}^2 \times 550 = 141,07$$

$$P = 550 \left\{ 4 \times 0,19 \times 0,22 + 8 \times 0,19 \times 0,45 \right\} = 467,70$$

$$H+P = 608,77$$

et enfin

$$0,02\ b = 0,00115 ; \text{ d'où } b = 0^m,06 \text{ à peu près.}$$

6° Enfin la formule du tableau XII donne pour la section des aiguilles pendantes :

$$\Omega = 2.\frac{0,0022\ ab}{5} = 2.\frac{0,0022 \times 0,00115}{5} = 0,0000053.$$

Faisant :

$$\Omega = \frac{3,141}{4} d^2,$$

on trouve :

$$d = 0,0026 \text{ à peu près.}$$

On voit donc qu'un simple fil de fer suffirait à la rigueur pour remplir cet office.

615. Observation. — Les formules des n^os^ 608 à 612 serviraient pour le calcul des pièces dans le cas où l'entrait serait chargé du poids d'un plancher ; il suffirait d'y écrire, à la place de δ', $\left(\delta' + \frac{\Delta}{ab}\right)$, Δ étant la surcharge de l'entrait due au plancher

par mètre de longueur, ab étant la section de l'entrait que l'on peut se donner approximativement et plutôt en dessous qu'en dessus de sa variable valeur. Pour les arbalétriers on pourra prendre les formules numériques des tableaux IV et V, dans lesquelles δ est resté en évidence ; on l'y remplacerait, ainsi qu'on vient de le dire, par $\delta' + \frac{\Delta}{ab}$; mais pour l'entrait et les aiguilles pendantes, il faudrait recourir aux formules générales.

616. Échelles propres à remplacer les formules précédentes. — Les calculs se font avec une grande rapidité au moyen des formules numériques ; il ne faut pas une demi-heure pour calculer toute une ferme. Cependant on pourra encore se les épargner en construisant des échelles d'après le procédé du n° 582. Donnons-en un seul exemple.

Construisons la courbe représentée par la formule $b = 0{,}108 \sqrt[3]{A'^2}$ du tableau II en considérant comme abscisses les diverses valeurs de A', et comme ordonnées celles correspondantes de b. Réduisons les A' à l'échelle de $\frac{1}{100}$, ou en d'autres termes, admettons que chaque centimètre compté sur la ligne AX (*fig.* 851) représente un mètre de projection horizontale d'arbalétrier supérieur. Réduisons à l'échelle de $\frac{1}{10}$ les valeurs correspondantes de b. Projetons, sur l'axe AY, les diverses ordonnées menées sur les points 1.2.3.... de l'axe AX, puis traçons les droites AB, AB', AB'', AB''', AB'''', faisant avec l'axe AY des angles dont la tangente soit respectivement égale à

$$\frac{108}{108}, \frac{99}{108}, \frac{94}{108}, \frac{78}{108}, \frac{84}{108}.$$

Les parallèles à l'axe AX menées par les points 1.2.3.... de l'axe AY et comprises entre AY et les droites AB, AB', AB''' ou AB'''' selon les cas, donneront réduites à $\frac{1}{10}$ les grandeurs correspondantes à des longueurs A = 1.2.3.... mètres (1).

617. Deuxième question. — Déterminer, 1° *De quelle quantité s'affaissera sous sa charge, le sommet S d'une charpente HIKLSMNOP* (fig. 852, pl. *XXIX*), *composée de pièces droites solidement assemblées, et consolidées aux angles par des aisseliers, etc., en supposant qu'elle soit posée librement et sans frottement sur un plan fixe ;*

2° *De quelle quantité se déplacera horizontalement chacun des pieds H, P ;*

3° *Quelle serait la force qu'il faudrait appliquer horizontalement en H ou en P pour s'opposer complétement à ce dernier mouvement ;*

---

(1) La même question se trouve traitée, mais d'une façon moins complète, dans le mémoire de M. Ardant, intitulé : *Études théoriques et expérimentales sur l'établissement des charpentes à grande portée.* Les formules de M. Ardant donnent, en général, des équarrissages plus faibles que les miennes et probablement trop faibles aux yeux mêmes de l'auteur, car on remarque qu'il les augmente considérablement dans le tableau qu'il donne des équarrissages convenant à des fermes de diverses portées, p. 83. Je pense que cela provient de ce que M. Ardant n'apprécie pas toujours d'une manière parfaitement satisfaisante les efforts qui agissent sur le système ; et c'est ainsi, par exemple, qu'il considère le faux-entrait comme tiré dans le sens de sa longueur, tandis qu'il semble bien évident que c'est le contraire qui a lieu.

4° *Quelle serait, dans ce dernier cas, la dépression verticale du sommet.*

Supposons, pour simplifier la question, que la charge soit uniformément répartie le long des arbalétriers, c'est-à-dire de S en K, comme c'est le cas le plus ordinaire.

Notations. — Nommons : p la charge par unité de longueur de la projection horizontale de l'arbalétrier ;

A et B les projections horizontale et verticale de l'arbalétrier KS, SN ;

A', B', les projections horizontale et verticale des portions MN, KL des mêmes arbalétriers ;

A'', B'' les projections horizontale et verticale des jambes de force HK, NP ;

A''', B''' les projections horizontale et verticale de la partie HI, PO des jambes de force HK, NP ;

z l'angle de l'arbalétrier avec l'horizon ;

α l'angle de la jambe de force avec l'horizon.

Solution de la première partie de la question. — Remarquons d'abord que les parties les plus flexibles du système sont les portions KL, MN des arbalétriers, et HI, OP des jambes de force. Les autres parties consolidées par le faux-entrait et les aisseliers, peuvent être considérées comme à très-peu près inflexibles et n'ayant aucune influence sur les déplacements qu'il s'agit de déterminer.

Observons ensuite qu'on ne changera rien à l'état d'équilibre du système, si l'on regarde toute la partie LSM comme encastrée, et si l'on considère chacune des extrémités H et P des jambes de force, comme sollicitée de bas en haut par des forces verticales pA égales aux pressions souffertes par les points d'appui.

Cela admis, la portion KL ou MN de l'arbalétrier fléchira comme une pièce encastrée, inclinée à l'horizon, chargée de poids uniformément répartis et sollicitée à son extrémité libre par une force verticale pA agissant en sens contraire, par l'intermédiaire d'un levier dont la longueur est égale à la projection horizontale de la jambe de force ou à A''.

La portion HI ou OP des jambes de force fléchira, à son tour, comme une pièce encastrée inclinée à l'horizon et sollicitée à son extrémité par une force verticale égale à pA.

Comme les deux pièces sont solidement assemblées entre elles, il est visible que la quantité dont le pied H ou P de la charpente se rapprochera du sommet S, ou, ce qui revient au même, l'affaissement de ce sommet sera précisément égal à la somme des déplacements verticaux du pied de l'arbalétrier et du pied de la jambe de force, et que le déplacement horizontal total des pieds de la charpente sera égal à la somme des déplacements horizontaux du pied de ces mêmes pièces.

Comme tout est symétrique dans cette charpente par rapport à un plan vertical passant par le sommet S, il suffira de considérer une des moitiés de la charpente ; les résultats relatifs à cette moitié conviendront également à l'autre.

La force pA agissant sur l'extrémité de l'arbalétrier par l'intermédiaire d'un bras

de levier égal à A'', c'est comme si cette pièce était sollicitée en N par une force verticale égale à

$$pA\left(\frac{A'+A''}{A'}\right)=pA\left(1+\frac{A''}{A'}\right).$$

Comme elle est, d'autre part, soumise au poids pA' uniformément réparti et agissant en sens contraire de la force précédente, on aura, d'après le n° 598, pour exprimer les déplacements vertical et horizontal du pied de cette pièce :

$$f'=\frac{pA'^3}{\varepsilon\cos z}\left\{\frac{A}{3}\left(1+\frac{A''}{A'}\right)-\frac{A'}{8\cos z}\right\}$$

$$h=\frac{pA'^3\sin z}{\varepsilon\cos^2 z}\left\{\frac{A}{3}\left(1+\frac{A''}{A'}\right)-\frac{A'}{8\cos z}\right\}.$$

Les déplacements de même nature de la jambe de force, soumise simplement à l'action de la force verticale pA, seront respectivement exprimés par

$$f=\frac{pAA'''^3}{3\varepsilon\cos\alpha}\qquad h=\frac{pAA'''^3\sin\alpha}{3\varepsilon\cos^2\alpha}.$$

L'affaissement total du sommet S que nous représenterons par F, sera donc

$$F=\frac{pA}{2\varepsilon}\left\{\frac{A'^3}{\cos z}\left(1+\frac{A''}{A'}-\frac{3A'}{8A\cos z}\right)+\frac{A'''^3}{\cos\alpha}\right\}\quad\ldots\ldots\ldots\ (A)$$

Solution de la 2e partie. — Le déplacement horizontal du pied H de la charpente, que nous représenterons par H, aura pour expression, d'après le n° 598 :

$$H=\frac{pA}{3\varepsilon}\left\{\frac{A'^3\sin z}{\cos^2 z}\left(1+\frac{A''}{A'}-\frac{3A'}{8A\cos z}\right)+\frac{A'''^3\sin\alpha}{\cos^2\alpha}\right\}\quad\ldots\ldots\ (B)$$

Solution de la 3e partie. — Pour répondre au 3° de la question, il n'y a qu'à remarquer qu'une force horizontale quelconque Q appliquée en P' (position nouvelle qu'aurait prise le point P sous l'action des forces précédentes) ferait marcher le pied dans le sens de cette force d'une quantité égale à

$$\frac{Q}{3\varepsilon}\left\{\frac{B'^2}{\sin z}(B'+B'')+\frac{B'''^3}{\sin\alpha}\right\};$$

et que si l'on veut que, par l'effet de la force Q, le déplacement horizontal de la charpente soit nul, il n'y aura qu'à égaler à H cette dernière expression. On aura ainsi

$$\frac{pA}{3\varepsilon}\left\{\frac{A'^3\sin z}{\cos^2 z}\left(1+\frac{A''}{A'}-\frac{3A'}{8A\cos z}\right)+\frac{A'''^3\sin\alpha}{\cos^2\alpha}\right\}=\frac{Q}{3\varepsilon}\left\{\frac{B'^2}{\sin z}(B'+B'')+\frac{B'''^3}{\sin\alpha}\right\}.$$

On tirera de cette équation pour la valeur de Q capable de reproduire l'effet voulu :

$$Q=\frac{pA\left\{\frac{A'^3\sin z}{\cos^2 z}\left(1+\frac{A''}{A'}-\frac{3A'}{8A\cos z}\right)+\frac{A'''^3\sin\alpha}{\cos^2\alpha}\right\}}{\frac{B'^2}{\sin z}(B'+B'')+\frac{B'''^3}{\sin\alpha}}\quad\ldots\ldots\ldots\ (C)$$

Faisons, par exemple :

$$A = 5{,}64,\ A' = 3{,}88,\ A'' = 0{,}56,\ A''' = 0{,}20,$$
$$B' = 2{,}68,\ B'' = 3{,}66,\ B''' = 2{,}40,$$
$$z = 33^\circ\ \alpha = 81^\circ.$$

On trouve en opérant les calculs :

$$Q = 0{,}41\ pA,$$

résultat qui concorde parfaitement avec ceux fournis par les expériences faites par M. Ardant (1), sur une ferme de cette espèce et à laquelle conviennent les données prises pour exemple.

Les expressions de F, H et Q se simplifieraient beaucoup, si la charpente était simplement composée de deux arbalétriers reliés par un entrait retroussé et un poinçon, ou, en d'autres termes, si l'on supprimait les jambes de force dans la charpente (*fig.* 852) ; les quantités affectées de A'', A''', B'', B''' disparaîtraient, et il resterait :

$$F = \frac{pA}{3\varepsilon \cos z}\left\{ A'^3 - \tfrac{3}{2}\,\frac{A'^4}{A\cos z} \right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (D)$$

$$H = \frac{pA \sin z}{3\varepsilon \cos^2 z}\left\{ A'^3 - \tfrac{3}{2}\,\frac{A'^4}{A\cos z} \right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (E)$$

$$Q + \frac{pA \operatorname{tang}^2 z}{B'^3}\left\{ A'^3 - \tfrac{3}{2}\,\frac{A'^4}{A\cos z} \right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (F)$$

Solution de la 4e partie. — Dans les cas ordinaires de la pratique, les pieds H, O de la charpente ne posent pas librement et sans frottement sur un plan fixe, ainsi que nous l'avons supposé, mais ils sont au contraire maintenus par des murs qui les empêchent de s'écarter l'un de l'autre ; dans ce cas, la pression horizontale exercée contre les murs par les pieds de la charpente est évidemment égale à Q. Cette force tend à renverser les murs s'ils ne sont pas assez solides, et elle est désignée sous le nom de *poussée*.

On conçoit qu'en pareil cas la dépression verticale du sommet S de la charpente doit être moindre que dans le cas que nous avons considéré ; mais il est encore facile de trouver l'expression de la dépression verticale du sommet en remarquant qu'une force Q, égale et contraire à la poussée agissant sur le pied de la charpente fléchie dans les conditions admises en premier lieu, relèverait verticalement le sommet S de cette charpente d'une quantité :

$$F' = \frac{Q}{3\varepsilon}\left\{ \frac{B'^2 \cos z}{\sin^2 z}(B' + B'') + \frac{B'''^3 \cos \alpha}{\sin^2 \alpha} \right\},$$

ou bien, en remplaçant Q par sa valeur trouvée ci-dessus (C) :

(1) *Études théoriques et expérimentales sur l'établissement des charpentes à grande portée.*

$$= \frac{pA}{3\varepsilon}\left\{\frac{\frac{A'^3\sin z}{\cos^2 z}\left(1+\frac{A''}{A'}-\frac{3A'}{8A\cos z}\right)+\frac{A'''^3\sin\alpha}{\cos^2\alpha}}{\frac{B'^2}{\sin z}(B'+B'')+\frac{B'''^3}{\sin\alpha}}\right\}\left\{\frac{B'^2\cos z}{\sin^2 z}(B'+B'')+\frac{B'''^3\cos\alpha}{\sin^2\alpha}\right\}.$$

Le sommet se déplacera donc d'une quantité égale à

$$F-F' = \frac{pA}{3\varepsilon}\left[\frac{A'^3}{\cos z}\left(1+\frac{A''}{A'}-\frac{3A'}{8A\cos z}\right)+\frac{A'''^3}{\cos\alpha}\right.$$

$$\left.-\left\{\frac{\frac{A'^3\sin z}{\cos^2 z}\left(1+\frac{A''}{A'}-\frac{3A'}{8A\cos z}\right)+\frac{A'''^3\sin\alpha}{\cos^2\alpha}}{\frac{B'^2}{\sin z}(B'+B'')+\frac{B'''^3}{\sin\alpha}}\right\}\times\left\{\frac{B'^2\cos z}{\sin^2 z}(B'+B'')+\frac{B'''^3\cos\alpha}{\sin^2\alpha}\right\}\right] \quad (G)\ (1)$$

618. Observations. — La marche que nous avons suivie pour obtenir les formules qui précèdent, quoique n'étant pas d'une rigoureuse exactitude, conduit cependant à des résultats qui concordent suffisamment avec l'expérience pour être utiles ; il serait du reste superflu de vouloir y mettre plus de rigueur, car indépendamment de ce que, dans le plus grand nombre de cas, les calculs deviendraient inextricables, il est toujours, dans de pareilles questions, certaines circonstances très-influentes, dont il ne peut être tenu compte dans les calculs, et qui font que leurs résultats ne peuvent être considérés que comme des approximations plus ou moins grossières. Ainsi par exemple, on ne peut nier que la plus ou moins bonne exécution des assem-

(1) M. Ardant donne, p. 48 de l'ouvrage déjà cité, une autre formule pour calculer la dépression du sommet d'une charpente de cette espèce, mais cette formule me paraît tout à fait fautive. En y appliquant les données d'expériences de l'auteur, je n'ai obtenu que des valeurs négatives. Celle que je donne ici concorde, au contraire, avec les résultats d'expériences aussi bien qu'il est possible de le désirer dans une matière où tant de causes influentes ne peuvent être soumises au calcul. Voici, au surplus, placées en regard, les dépressions données par l'expérience et celles fournies par le calcul, pour la ferme dont les données ont été rapportées plus haut.

POIDS TOTAL RÉPARTI UNIFORMÉMENT SUR LES ARBALÉTRIERS.	ABAISSEMENT VERTICAL DU SOMMET	
	DONNÉ PAR L'EXPÉRIENCE.	DONNÉ PAR LA FORMULE (G).
k 288	0,001	0,028
404	0,020	0,040
720	0,040	0,070
828	0,050	0,080
936	0,060	0,090
1,368	0,100	0,130
1,692	0,140	0,160

blages n'ait une très-grande influence sur la déformation du système, et c'est cependant là une considération dont il faut faire abstraction en tout état de cause.

Les formules précédentes donnent lieu à deux remarques du plus haut intérêt.

La première, c'est que la poussée des charpentes sans entrait est indépendante de ε, c'est-à-dire, du plus ou moins d'élasticité de la matière et des dimensions transversales des pièces qui entrent dans la composition des fermes. Ce résultat, tout singulier qu'il paraît, est cependant vérifié par l'expérience.

La seconde, c'est que le déplacement vertical du sommet de la charpente et le déplacement horizontal du pied des jambes de force ou des arbalétriers (quand les jambes de force sont supprimées) dépendent au contraire de ces conditions d'élasticité et d'équarrissage ou de ε.

Cette dernière remarque fait voir que si d'un côté l'on ne gagne rien à augmenter la rigidité de la charpente pour diminuer *l'intensité de la poussée*, de l'autre, cette rigidité tend à limiter *son action* au point de la rendre nulle pour une charpente totalement inflexible, et l'on conçoit, d'après cela, combien il est important d'augmenter cette rigidité par tous les moyens possibles.

Ainsi, si l'on pose une charpente, telle que celle que nous avons prise pour exemple, sur des murs disposés de façon à contre-bouter le pied des jambes de force, comme dans la fig. 852, la poussée tendra à déverser les murs de dedans en dehors, s'ils ne sont pas assez forts pour résister; mais la grandeur de ce déversement, dépendant de la quantité dont le pied peut s'écarter horizontalement de sa position primitive, il sera d'autant plus petit, et moins dangereux conséquemment, que la charpente sera plus rigide.

Si même l'on prenait la précaution de poser la charpente (supposée suffisamment rigide) de manière à ce qu'aucun de ses mouvements ne fût entravé, bientôt elle aurait pris une position stable, et ses pieds, loin d'exercer une poussée contre les murs, tendraient alors à les affermir sur leur base. Nous indiquons comme un moyen qui pourrait être tenté celui qui consisterait (côté gauche de la fig. 852) à chausser le pied des fermes de sablières ou de sabots glissant sur un plan d'appui incliné de dedans en dehors, et dont l'angle d'inclinaison serait égal à celui du frottement des matières l'une sur l'autre.

La nécessité de roidir autant que possible les charpentes de l'espèce que nous considérons, a fait imaginer diverses combinaisons dont nous ne donnerons ici qu'une idée. (On en verra les détails dans la V^e^ partie.)

L'une des plus fréquemment employées consiste dans l'adjonction d'un arc en charpente ou en fonte inscrit dans une ferme semblable à celle de la figure 852, et relié avec elle par des moises pendantes perpendiculaires à l'arc ou verticales (*fig.* 853). Cette disposition est surtout très-convenable pour les fermes d'une grande portée (1). Lorsque l'ouverture n'est pas très-considérable, on peut remplacer l'arc

(1) Cette disposition a été assez vivement critiquée par M. Ardant, dans l'ouvrage déjà cité;

par diverses combinaisons de pièces droites : la figure 854 en offre un exemple. On pourrait aussi roidir les pièces principales par des armatures en fer, disposées comme dans la figure 855 ; enfin on pourrait faire usage de différents autres moyens que nous indiquerons par la suite. Quand des fermes sans entrait sont destinées à couvrir un espace circulaire, on profite de cette circonstance pour détruire leur poussée par une disposition fort simple : on assemble leur pied au moyen d'embrèvements dans une sablière circulaire dont toutes les pièces sont solidement assemblées (*fig.* 856).

619. APPLICATIONS AUX PLANCHERS. — Planchers composés de solives portant sur les murs. — Considérons d'abord un plancher composé de solives posées sur deux murs parallèles.

Nommons :

p le poids du plancher et de sa charge par mètre superficiel,

e l'espacement des solives d'axe en axe,

L leur longueur entre les murs.

Le poids porté par chaque solive peut être pris égal à peL, et comme le poids est uniformément réparti sur toute leur longueur, on aura, d'après le n° 601 :

$$\frac{peL^2}{8} = \sigma.$$

Si elles sont en chêne ou en sapin fort et de section rectangulaire, on aura :

$$\frac{peL^2}{8} = \frac{R'_1\, ab^2}{6} = \frac{450{,}000\, ab^2}{6},$$

d'où. . . . . $ab^2 = 0{,}0000017\, peL^2$

Et si l'on se donne $a = 0{,}71\, b$, on aura :

$$b = 0{,}0134 \sqrt[3]{peL^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (A)$$

Si elles sont en fonte et de section en double T symétrique, on aura :

$$\frac{peL^2}{8} = \frac{R'_1}{6} \frac{ab^3 - 2c\,(b-d)^3}{b}.$$

Faisant $a = 0{,}30\, b$, $c = 0{,}04\, b$, $d = 0{,}10\, b$ (1), proportions assez généralement adoptées pour les constructions de cette espèce, on aura :

$$\frac{peL^2}{8} = \frac{R'}{9}\, 0{,}27\, b^2 \text{ à peu près ;}$$

---

mais son appréciation me paraît établie sur des bases peu solides, comme je l'ai fait voir dans une note que l'Académie a bien voulu insérer au n° 6, tome XIII de son Bulletin.

(1) Voir, pour la signification des lettres a, b, c, d, le tableau du n° 570.

d'où

$$b = \sqrt[3]{0{,}00000085\,peL^2} = 0{,}0095\sqrt[3]{peL^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (B)$$

Dans ces formules on peut prendre :

$p = 400^k$ environ lorsque l'intervalle des solives est rempli par de petites voussures en briques de $0^m,12$ à $0^m,15$ d'épaisseur ;

$p = 800^k$ lorsque les solives portent des voûtes de $2^m,50$ à 3 mètres d'ouverture sur une brique d'épaisseur ;

$p = 30^k$ lorsqu'elles supportent un plancher ordinaire de 25 à 30 millimètres d'épaisseur ;

$p = 90^k$ lorsque le plancher est en madriers de 8 à 9 centimètres d'épaisseur ;

Ces valeurs ne comprennent pas les surcharges qu'on estimera dans chaque cas particulier et qu'on ajoutera à p dans les expressions (A) et (B).

620. Planchers composés de solives portant sur des poutres. — Si, au lieu de porter sur des murs, les solives portent sur des poutres comme dans le système représenté *fig.* 400, pl. XVII, leur section se déterminera toujours au moyen des formules (A) et (B).

Ces mêmes formules pourront encore servir à déterminer l'équarrissage des poutres en y écrivant L' (portée des poutres) en remplacement de L, L distance qui les sépare en remplacement de e, et en ajoutant à p la charge par mètre carré due au poids des solives. Cette dernière est, en représentant par δ le poids du mètre cube de matière dont elles sont formées, Ω leur section transversale et n leur nombre :

$$\frac{\delta\Omega n L}{LL'} = \frac{\delta\Omega n}{L'}.$$

D'après cela, les formules (A) et (B) donnent respectivement.

$$b = 0{,}0134\sqrt[3]{\left\{\left(p + \frac{\delta\Omega n}{L'}\right)L\right\}L^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (C)$$

$$b = 0{,}0095\sqrt[3]{\left\{\left(p + \frac{\delta\Omega n}{L'}\right)L\right\}L^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (D)$$

On procéderait d'une manière analogue pour le cas où les solives porteraient sur un assemblage de poutres tels que l'un de ceux représentés *fig.* 401 à 404, pl. XVII.

621. Chevrons et cours de pannes. — La formule (A) pourra servir à calculer l'équarrissage des chevrons d'un toit en y écrivant $p \cos \alpha$ au lieu de p. L'espacement des chevrons d'axe en axe e étant ordinairement fixé à $0^m,40$, et la portée L ou la distance entre les cours de pannes à 2 mètres, on peut poser comme formule propre à donner l'épaisseur du chevron :

$$b = 0{,}0157\sqrt[3]{p\cos\alpha} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (E)$$

La formule (C) servira également à déterminer l'équarrissage des cours de pannes, en multipliant le terme sous le radical par cos α.

D'ordinaire, l'espacement entre les fermes ou $L' = 3$ mètres, on a $n = \frac{3}{0,40} = 7$ à peu près, et l'on peut poser comme formule propre à calculer l'épaisseur des cours de pannes :

$$b = 0,0134 \sqrt[3]{(18p + 39900\,\Omega)\cos\alpha} \quad \text{(F)}$$

quand les chevrons sont en chêne,

$$b = 0,0134 \sqrt[3]{(18p + 23100\,\Omega)\cos\alpha} \quad \text{(G)}$$

quand ils sont en sapin.

Si l'on prend le tiers des valeurs assignées à p dans le tableau I du n° 614, on aura la charge par mètre carré de toiture, et la formule (E) donne à très-peu de chose près pour toutes les espèces de couvertures, $b = 0^m,07$, d'où $a = 0^m,05$.

D'après cela, Ω des formules (F) (G) est égal à 0,0035. En y mettant cette valeur ainsi que celle de p et de cos α, qui conviennent aux divers matériaux de couverture, on forme le tableau suivant :

TABLEAU

DES ÉQUARRISSAGES A DONNER AUX COURS DE PANNES DES TOITURES.

NATURE DE LA COUVERTURE.	VALEUR DE b.	VALEUR DE $a = 0^m,71$ b.	OBSERVATIONS.
Pannes.....	$0^m,16$	$0^m,11$	Ces dimensions conviennent aussi bien pour le cas où les chevrons sont en sapin que lorsqu'ils sont en chêne. La différence des valeurs du second terme sous le radical des expressions F, G est sans influence sensible sur celle de b.
Ardoises sous l'angle 45°	$0^m,15$	$0^m,11$	
Ardoises sous l'angle 23°	$0^m,16$	$0^m,11$	
Cuivre et zinc n° 14.....	$0^m,13$	$0^m,09$	
Mastic bitumineux.....	$0^m,15$	$0^m,11$	

622. Arcs en charpente. — Les méthodes de calcul précédemment exposées s'appliquent encore aux arcs en charpente dont il a été fait mention au n° 618.

On peut se proposer de déterminer :

1° La dépression verticale du sommet de l'arc sous une charge dont la grandeur et la répartition sont connues ;

2° La grandeur de la poussée exercée par le pied des arcs ;

3° La section transversale de l'arc, pour qu'il résiste convenablement à la charge qu'il a à supporter.

Ces questions ayant une grande importance pour la pratique, nous allons encore montrer ici la marche que l'on peut suivre pour trouver leur solution.

Considérons un arc en charpente, chargé de poids p uniformément répartis par rapport à sa projection horizontale ou à sa corde. On ne changera rien à son état d'équilibre si on le suppose : 1° encastré à son sommet ; 2° sollicité à chacune de ses extrémités par des forces égales et contraires à la pression verticale et à la poussée horizontale que ces extrémités exercent contre leur appui ; 3° chargé de poids p uniformément répartis par rapport à sa corde.

623. Notations. — Nommons (*fig.* 857) x, y les coordonnées horizontale et verticale d'un point quelconque m de la courbe AN,

s la longueur de l'arc Am,

x', y' les coordonnées du point m' de la courbe dans lequel se transporte le point m.

A, B, les coordonnées du point extrême N,

φ l'angle avec la verticale que forme la normale en m à la courbe, avant la flexion,

φ' l'angle avec la verticale que forme la normale en m', après la flexion,

p la charge par unité de longueur de A$''$N = A,

Q la poussée horizontale de l'arc.

624. Formules générales. — La longueur d'une portion infiniment petite de fibre située à une distance v de l'axe neutre est, avant la flexion, $ds + vd\varphi$. Après la flexion en faisant abstraction du changement qui peut être survenu dans l'élément ds, la longueur de la même portion de fibre sera devenue $ds + vd\varphi'$.

L'allongement proportionnel est donc :

$$\frac{v\,(d\varphi' - d\varphi)}{ds + vd\varphi}$$

ou simplement

$$\frac{v\,(d\varphi' - d\varphi)}{ds}$$

en négligeant $vd\varphi$, devant ds, ce qui est sans importance pour les applications.

On conclut de là que les conditions de l'équilibre d'une pièce courbée en arc s'expriment de la même manière que celles d'une pièce droite en remplaçant la fonction.

$$\frac{1}{\rho} \text{ par } \frac{d\varphi' - d\varphi}{ds}.$$

L'équation exprimant l'équilibre entre les forces moléculaires et les forces extérieures sera donc :

$$\varepsilon \frac{d\varphi' - d\varphi}{ds} = -pA(A - x) + Q(B - y) + p \int_{x=x}^{x=A} dx\,(A - x).$$

On en déduit

$$\varphi' - \varphi = \frac{1}{\varepsilon} \int dx \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} \left[-pA(A - x) + Q(B - y) + p\left(\frac{A^2}{2} - Ax + \frac{x^2}{2}\right) \right]$$

Représentons par U le second membre de cette équation, on aura :

$$\varphi' - \varphi = U.$$

Faisant passer φ dans le second membre et prenant les cosinus et les sinus, afin d'exprimer ensuite $\varphi' - \varphi$, en fonction des coordonnées de la courbe, on aura :

$$\cos\varphi' = \cos(U+\varphi) = \cos U\cos\varphi - \sin U\sin\varphi \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(A)}$$

$$\sin\varphi' = \sin(U+\varphi) = \sin U\cos\varphi + \sin\varphi\cos U \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(B)}$$

d'un autre côté, l'on a :

$$\cos U = \cos(\varphi' - \varphi),\ \sin U = \sin(\varphi' - \varphi).$$

Remarquant que l'angle ou l'arc $\varphi' - \varphi$ est toujours assez petit pour qu'on puisse le prendre pour son sinus, et faire son cosinus égal à l'unité, les formules (A) (B) donneront :

$$\cos\varphi' - \cos\varphi = -\sin\varphi\, U,$$

$$\sin\varphi' - \sin\varphi = \cos\varphi\, U ;$$

ou bien, en remplaçant U par sa valeur,

$$\cos\varphi' - \cos\varphi = -\frac{1}{\varepsilon}\sin\varphi \int dx \sqrt{1+\left(\frac{dy}{dx}\right)^2},$$

$$\left[-pA(A-x) + Q(B-y) + p\left(\frac{A^2}{2} - Ax + \frac{x^2}{2}\right)\right],$$

$$\sin\varphi' - \sin\varphi = \frac{1}{\varepsilon}\cos\varphi \int dx \sqrt{1+\left(\frac{dy}{dx}\right)^2},$$

$$\left[-pA(A-x) + Q(B-y) + p\left(\frac{A^2}{2} - Ax + \frac{x^2}{2}\right)\right];$$

mais on a :

$$\cos\varphi\frac{dx}{ds},\ \sin\varphi = \frac{dy}{ds},$$

$$\cos'\varphi\frac{dx'}{ds}\ \sin\varphi' = \frac{dy'}{ds}.$$

On aura donc finalement :

$$dx' - dx = -\frac{1}{\varepsilon}\, dy \int dx \sqrt{1+\left(\frac{dy}{dx}\right)^2}$$

$$\left[-pA(A-x) + Q(B-y) + p\left(\frac{A^2}{2} - Ax + \frac{x^2}{2}\right)\right] \ldots\ldots \text{(C)}$$

$$dy' - dy = \frac{1}{\varepsilon}\, dx \int dx \sqrt{1+\left(\frac{dy}{dx}\right)^2}$$

$$\left[-pA(A-x) + Q(B-y) + p\left(\frac{A^2}{2} - Ax + \frac{x^2}{2}\right)\right] \ldots\ldots \text{(D)}$$

Ces équations étant intégrées entre les limites convenables, feront connaître les

déplacements tant horizontal que vertical de chacun des points de l'arc, quand sa figure sera donnée.

625. Application à un arc circulaire. — Supposons, par exemple, ce qui est le cas le plus fréquent, que la figure de l'arc soit un arc de cercle.

Nommons :

X le rayon de ce cercle,

Φ la valeur de l'angle φ qui convient au point extrême N,

on aura :

$$x = X \sin\varphi \quad A = X \sin\Phi,$$
$$y = X(1 - \cos\varphi) \quad B = X(1 - \cos\Phi).$$

D'après cela, les équations (C) (D) deviennent :

$$dx' - dx = -\frac{1}{\varepsilon} X^3 \sin\varphi d\varphi \int d\varphi \left[-pA(\sin\Phi - \sin\varphi) + Q(\cos\varphi - \cos\Phi) + pX\left(\frac{\sin^2\Phi}{2} - \sin\Phi\sin\varphi + \frac{\sin^2\varphi}{2}\right)\right] \quad \text{(E)}$$

$$dy' - dy = \frac{1}{\varepsilon} X^3 \cos\varphi d\varphi \int d\varphi \left[-pA(\sin\Phi - \sin\varphi) + Q(\cos\varphi - \cos\Phi) + pX\left(\frac{\sin^2\Phi}{2} - \sin\Phi\sin\varphi + \frac{\sin^2\varphi}{2}\right)\right] \quad \text{(F)}$$

Effectuant l'intégration indiquée au second membre, il vient :

$$dx' - dx = -\frac{1}{\varepsilon} X^3 \sin\varphi d\varphi \left\{ -pA(\varphi\sin\Phi + \cos\varphi) + Q(\sin\varphi - \varphi\cos\Phi) + pX\left(\frac{\sin^2\Phi}{2} \times \varphi + \sin\Phi\cos\varphi - \tfrac{1}{2}\sin\varphi\cos\varphi + \tfrac{1}{2}\varphi\right) + C\right\} \quad \text{(G)}$$

$$dy' - dy = \frac{1}{\varepsilon} X^3 \cos\varphi d\varphi \left\{ -pA(\varphi\sin\Phi + \cos\varphi) + Q(\sin\varphi - \varphi\cos\Phi) + pX\left(\frac{\sin^2\Phi}{2} \times \varphi + \sin\Phi\cos\varphi - \tfrac{1}{4}\sin\varphi\cos\varphi + \tfrac{1}{4}\varphi\right) + C\right\} \quad \text{(H)}$$

On détermine la constante C en faisant $\varphi = 0$, auquel cas on a tout à la fois x' et x, y' et $y = 0$, ce qui donne :

$$-pA + pX\sin\Phi + C = 0,$$

d'où

$$C + pA - pX\sin\Phi.$$

Les équations (G) et (H) deviennent par la substitution de cette valeur :

$$dx' - dx = -\frac{1}{\varepsilon} X^3 \sin\varphi d\varphi \left\{ -pA(\varphi\sin\Phi + \cos\varphi - 1) + Q(\sin\varphi - \varphi\cos\Phi) + pX\left[\varphi\left(\tfrac{1}{4} + \frac{\sin^2\Phi}{2}\right) + \sin\Phi(\cos\varphi - 1) - \tfrac{1}{4}\sin\varphi\cos\varphi\right]\right\} \quad \text{(I)}$$

$$dy' - dy = \frac{1}{\varepsilon} X^3 \cos\varphi d\varphi \left\{ -pA(\varphi\sin\Phi + \cos\varphi - 1) + Q(\sin\varphi - \varphi\cos\Phi)\right.$$

$$+pX\left[\varphi\left(\frac{1}{4}+\frac{\sin^2\Phi}{2}\right)+\sin\Phi\,(\cos\varphi-1)-\frac{1}{4}\sin\varphi\cos\varphi\right]\Bigg\}\quad\ldots\ldots\ (K)$$

Ces dernières équations, étant intégrées, donneront finalement :

$$x'-x=-\frac{X^3}{\varepsilon}\left\{\begin{array}{l}-pA\,[\sin\Phi\,(\sin\varphi-\varphi\cos\varphi)+\frac{1}{2}\sin^2\varphi+\cos\varphi-1]\\+Q\,[\frac{1}{2}\varphi-\frac{1}{2}\varphi\sin\varphi\cos\varphi-\cos\Phi\,(\sin\varphi-\varphi\cos\varphi)]\\+pX\left[(\frac{1}{2}+\sin^2\Phi)\left(\frac{\sin\varphi}{2}-\frac{\varphi\cos\varphi}{2}\right)+\sin\Phi\,(\frac{1}{2}\sin^2\varphi-\cos\varphi-1)\right.\\\left.-\frac{1}{12}\sin^3\varphi\right]\end{array}\right\}(L)$$

$$y'-y=\frac{X^3}{\varepsilon}\left\{\begin{array}{l}-pA\,[\sin\Phi\,(\varphi\sin\varphi+\cos\varphi-1)+\frac{1}{2}\sin\varphi\cos\varphi+\frac{1}{2}\varphi-\sin\varphi]\\+Q\,[\frac{1}{2}\sin^2\varphi-\cos\Phi\,(\varphi\sin\varphi+\cos\varphi-1)]\\+pX\left[(\frac{1}{2}+\sin^2\Phi)\left(\frac{\varphi\sin\varphi}{2}+\frac{\cos\varphi}{2}-\frac{1}{2}\right)+\sin\Phi\,(\sin\varphi\left(\frac{\cos\varphi}{2}-1\right)\right.\right.\\\left.\left.+\frac{1}{2}\varphi)+\frac{1}{12}\cos^3\varphi\right].\end{array}\right\}(M)$$

Les équations (L) (M) expriment en fonction de l'angle φ que fait avec la verticale la normale à la courbe en un point quelconque m, les déplacements horizontal et vertical de ce point. En écrivant Φ à la place de φ, on aura ces déplacements pour le point extrême N.

Faisant la substitution indiquée, développant $\sin\Phi$ et $\cos\Phi$ en fonction de Φ et s'arrêtant à la 5e puissance du développement, ce qui donne une approximation suffisante ; nommant h et f' ce que deviennent $x'-x$ et $y'-y$ pour $\varphi=\Phi$, on trouve :

$$-h=\frac{X^3}{\varepsilon}\left\{-\frac{5}{24}\,pA\Phi^4+\frac{2}{15}Q\Phi^5+\frac{9}{120}pX\Phi^5\right\}\quad\ldots\ldots\ (N)$$

$$f'=\frac{X^3}{\varepsilon}\left\{pA\left(\frac{\Phi^2}{3}-\frac{3\Phi^5}{20}\right)+Q\,\frac{5\Phi^4}{24}+\frac{pX\Phi^4}{8}\right\}\quad\ldots\ldots\ (O)$$

Pour les cas ordinaires de la pratique il est suffisamment exact de faire $pX\Phi=pA$, c'est-à-dire de considérer la pression verticale produite sur les points d'appui, comme si elle provenait de poids distribués uniformément sur le pourtour de l'arc au lieu de l'être par rapport à sa corde, ainsi qu'on l'a admis comme donnée de la question. Moyennant cela, les formules (N) (O) se simplifient et deviennent

$$-h=\frac{3X^3\Phi^4}{15\varepsilon}(-pA+Q\Phi)\quad\ldots\ldots\ (P)$$

$$f'=\frac{X^3}{\varepsilon}\left[-pA\left(\frac{5}{24}\Phi^3-\frac{3}{20}\Phi^5\right)+\frac{5}{24}Q\Phi^4\right]\quad\ldots\ldots\ (Q)$$

La première de ces formules servira à déterminer la poussée de l'arc ou Q.

Puisqu'on suppose que Q est capable d'empêcher tout déplacement horizontal du pied de l'arc, on posera :

$$-h=\frac{3X^3\Phi^4}{15\varepsilon}(-pA+Q\Phi)=0,$$

d'où l'on tirera :

$$Q = \frac{pA}{\Phi} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (B)$$

Substituant dans l'expression (Q), on aura, pour exprimer la quantité dont le pied de l'arc s'est approché du sommet, ou, ce qui revient exactement au même, l'abaissement de ce sommet sous l'action des poids p :

$$f' = \frac{3}{20}\frac{X^3}{\varepsilon}\Phi^5 pA \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (S)$$

Les formules (R) (S) peuvent s'écrire

$$Q = pA \times \frac{X}{A} = pA\left(\frac{A^2 + B^2}{2A \times B}\right)$$

$$f' = \frac{3}{20} pA \frac{A^5}{X^{2\frac{1}{2}}}.$$

Si l'arc est très-petit, $\frac{X}{A} = \frac{A^2 + B^2}{2A \times B}$ pourra se réduire à $\frac{A}{2B}$, et les valeurs de Q et f' deviendront alors :

$$Q = \frac{pA^2}{2B} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (T)$$

$$f' = \frac{12}{20}\frac{pA^2B^2}{\varepsilon} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (U)$$

Suivant M. Ardant, que nous ne faisons que copier ici, sauf quelques explications et changements de notations, les formules (T) (U) sont applicables dans la pratique aux arcs surbaissés dont la flèche est le dixième de l'ouverture.

Si l'arc que l'on considère est un quart de cercle, on fera, dans l'expression générale de

$x' - x$ et de $y' - y$, $\varphi = \Phi = \frac{\pi}{2}$ pour avoir les déplacements h et f', et l'on trouvera :

$$-h = \frac{X^3}{\varepsilon}\left(-\frac{pA}{4} + \frac{Q\pi}{4} + \frac{pX}{6}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (V)$$

$$f' = \frac{X^3}{\varepsilon}\left\{-pA\left(\frac{18\pi - 48}{24}\right) + \frac{12}{24}Q + \frac{pX}{24}(15\pi - 48\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (W)$$

Remarquant que $pX = pA$, et déterminant Q par la condition $-h = 0$, il vient :

$$Q = \frac{3}{4}\frac{pA}{\pi} = 0{,}44\,pA \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (X)$$

$$f' = \frac{pAX^3}{\varepsilon}\left(\frac{3\pi - 4\pi - 16}{24\pi}\right) = 0{,}01378\,\frac{pAX^3}{\varepsilon} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (Y)$$

Il serait facile de trouver, en suivant la même marche, les formules qui conviendraient aux cas où l'arc serait chargé de toute autre manière ou présenterait une courbe différente.

Le tableau ci-contre, dont nous empruntons tous les éléments à M. Ardant et à Navier, enferme celles de ces formules dont l'application se présente le plus fréquemment dans la pratique.

626. Observations. — Les formules de ce tableau donnent l'abaissement du sommet résultant seulement de la flexion des arcs, mais elles ne tiennent pas compte de la dépression qui provient de la compression de la matière, due aux forces agissant dans le sens de l'axe. Celle-ci est souvent fort petite relativement à l'autre et peut être négligée. Il faut toutefois faire exception pour l'arc parabolique chargé de poids uniformément répartis sur son pourtour. Dans ce cas, les forces qui agissent sur le système ont leur résultante dans le sens de l'axe de l'arc, qui ne peut ainsi se déprimer qu'en vertu de la compression de la matière.

Suivant Navier, l'abaissement du sommet serait exprimé, dans ce cas, par

$$f' = \frac{1}{16}\,\frac{P}{E\Omega}\left(\frac{A^3}{B^2} + \frac{3}{4}\,A\right) \qquad (1)$$

Lorsqu'un arc est dans les conditions que nous avons considérées, non-seulement son sommet s'abaisse sous la charge, mais il se manifeste en même temps, vers les reins, un renflement dont le maximum peut être déterminé au moyen des formules (L) et (M), et dont on peut d'ailleurs aisément se rendre compte.

Considérant en effet l'arc AN (*fig.* 858) soumis seulement à l'action de la force verticale pA, il se courbe suivant AN′, son pied se transportant de N en N′. Supposons maintenant que nous appliquions en N′ une force Q capable de faire marcher horizontalement ce point jusqu'à la rencontre de la verticale passant par le point N, la courbe prendra la forme AN″ ; finalement, si nous remettons les choses dans leur état naturel, c'est-à-dire, si nous faisons descendre l'arc plié tout entier de la quantité N″N, on observera aisément l'effet indiqué.

Cette déformation est très-importante à connaître, afin de pouvoir incliner suffisamment les jambes de force qui entrent dans la composition des charpentes droites que l'on combine ordinairement avec l'arc (*fig.* 853), pour qu'en se redressant, par suite de ce changement de forme, elles ne puissent venir buter contre le mur et tendre ainsi à le renverser.

---

(1) Cette formule peut être utile pour l'établissement des ponts suspendus; car il est visible qu'elle est applicable aussi bien à un arc de parabole dont la concavité est tournée vers le bas, qu'à un arc dont la concavité est tournée vers le haut. Il n'y a d'autre différence qu'en ce que les forces produisent une extension au lieu d'une compression, et l'on doit se rappeler que l'on a admis l'égalité de ces deux variations de longueur pour des charges égales tant qu'on ne dépasse pas la limite de l'élasticité.

TABLEAU DES FORMULES.

DONNANT L'ABAISSEMENT DU SOMMET ET LA POUSSÉE DES ARCS EN CHARPENTE PAR L'EFFET DE CHARGES DIVERSEMENT RÉPARTIES.

FIGURES DE L'ARC.	MODE DE RÉPARTITION DE LA CHARGE.	ABAISSEMENT DU SOMMET POUR DES ARCS DONT LA SECTION EST RECTANGULAIRE.	ABAISSEMENT DU SOMMET POUR DES ARCS DONT LA SECTION EST CIRCULAIRE.	POUSSÉE.	OBSERVATIONS.
DEMI-CIRCULAIRE.	Répartie uniformément sur la circonférence de l'arc...	$f' = 0{,}05 \frac{X^3}{ab^3} \times \frac{P}{E}$.	$f' = 0{,}009 \frac{X^3}{r^4} \times \frac{P}{E}$.	0,16 P.	P = poids total porté par l'arc.
	Répartie uniformément par rapport au diamètre de l'arc.	$f' = 0{,}003 \frac{X^3}{ab^3} \times \frac{P}{E}$.	$f' = 0{,}009 \frac{X^3}{r^4} \times \frac{P}{E}$.	0,22 P (1).	X = rayon de l'arc.
	Suspendue en entier au sommet.....	$f' = 0{,}222 \frac{X^3}{ab^3} \times \frac{P}{E}$.	$f' = 0{,}239 \frac{X^3}{r^4} \times \frac{P}{E}$.	0,32 P.	E = coeffi' d'élasticité.
	Suspendue en un point qui correspond verticalement au $\frac{1}{4}$ du diamètre de l'arc.	$f' = 0{,}348 \frac{X^3}{ab^3} \times \frac{P}{E}$.	$f' = 0{,}0365 \frac{X^3}{r^4} \times \frac{P}{E}$.	0,278 P.	a = largeur de la section rectangulaire de l'arc.
					b = hauteur d'id.
ARC DE CERCLE SURBAISSÉ.	Uniformément répartie par rapport à la corde.....	$f' = 3{,}60 \frac{B^2A}{ab^3} \times \frac{P}{E}$. (2)	$f' = 0{,}38 \frac{B^2A}{r^4} \times \frac{P}{E}$. (3)	0,25 $\frac{PA}{B}$.	r = rayon de la section circulaire de l'arc.
	Suspendue en entier au sommet.....	$f' = 0{,}0469 \frac{A^3}{ab^3} \times \frac{P}{E}$.	$f' = 0{,}005 \frac{A^3}{r^4} \times \frac{P}{E}$.	0,39 $\frac{PA}{B}$.	A = la demi-corde de l'arc.
	Suspendue en un point qui correspond verticalement au $\frac{1}{4}$ de la portée de l'arc..	»	»	0,28 $\frac{PA}{B}$.	b = la flèche ou montée.
ARC de PARABOLE.	Répartie uniformément sur le pourtour de l'arc.....	$f' = 0$.	$f' = 0$.	0,25 $\frac{PA}{B}$.	
	Suspendue en entier au sommet.....	$f' = \frac{1}{ab^3}(0{,}0013A^3 - 0{,}0005AB^3)\frac{P}{E}$.	$f' = \frac{1}{24}(0{,}004A^3 - 0{,}0017AB^2)\frac{P}{E}$	$\left(0{,}39\frac{A}{B} - 0{,}018\frac{B}{A}\right)$P.	

(1) $P = 2pA$. — (2) Cette formule n'est applicable que pour autant que $A = 10B$ au moins. — (3) *Idem*.

Suivant M. Ardant, pour les arcs demi-circulaires, chargés de poids uniformément répartis par rapport au diamètre, le point qui se déplace le plus dans le sens horizontal est situé à l'extrémité d'un rayon qui fait un angle de 63° avec la verticale, et la grandeur de ce déplacement est :

$$H' = 0{,}0053\frac{PX^3}{\varepsilon} = 0{,}62f'.$$

Quand la charge est suspendue en entier au sommet, il est exprimé par

$$H' = 0{,}59f'.$$

Dans la pratique on peut toujours prendre

$$H = 0{,}50f'.$$

Les remarques que nous avons faites au n° 618 peuvent également s'appliquer ici. La poussée des arcs en charpente, comme celle des fermes composées de pièces droites, est indépendante de la flexibilité du système ; mais les déplacements horizontal et vertical que subissent le sommet et le pied de ces arcs sont en raison inverse de leur rigidité. Il est donc important d'augmenter cette rigidité, par tous les moyens possibles.

627. Détermination de la section transversale de l'arc. — On détermine la section transversale des arcs en charpente par les mêmes procédés que ceux qui servent à déterminer l'équarrissage des pièces droites ; c'est-à-dire par la condition que les fibres les plus comprimées ou les plus étendues ne subissent pas un raccourcissement ou un allongement plus grand que la limite $\frac{R'_1}{E}$ ou $\frac{R'}{E}$ selon le cas.

Nous allons en donner un exemple.

Considérons un arc dans les conditions énoncées au n° 622. Pour calculer son équarrissage, on posera, en appelant z la distance de la fibre la plus tendue à l'axe neutre,

$$\frac{R'_1}{E} = \frac{T}{E\Omega} + z \times \frac{d\varphi' - d\varphi}{ds}.$$

T représente la force tangentielle agissant en un point quelconque de la courbe et qui tend à comprimer toutes les fibres indistinctement :

$$z \times \frac{d\varphi' - d\varphi}{ds}$$

représente le surcroît de compression que subit la fibre la plus éloignée de l'axe neutre par suite la flexion de l'arc.

Si l'on considère un point m quelconque de la courbe, la tension T en ce point sera égale à la somme des forces dont est chargé l'arc mM, décomposée suivant la tangente à la courbe en m. Or φ étant l'angle de cette tangente avec l'horizon, on aura :

$$T = -pA\sin\varphi + Q\cos\varphi + pX\sin\varphi(\sin\Phi - \sin\varphi),$$

faisant :

$$pX \sin \Phi = pA,\ Q = \frac{pA}{\Phi} ;$$

ce qui est suffisamment exact pour un arc de peu d'amplitude, cette formule devient :

$$T = - pA\left(\frac{\sin^2 \varphi}{\sin \Phi} - \frac{\cos \varphi}{\Phi}\right).$$

Le *maximum* de cette expression est donné par la relation :

$$\frac{2 \sin \varphi \cos \varphi}{\sin \Phi} + \frac{\sin \varphi}{\Phi} = 0,\ \text{d'où}\ \varphi = 0,$$

et

$$T = \frac{pA}{\Phi} ;$$

la valeur de $z\dfrac{d\varphi - d\varphi}{ds}$ pour un arc de peu d'amplitude en faisant :

$$pX \sin \Phi = pA,\ Q = \frac{pA}{\Phi},$$

est :

$$z\frac{d\varphi' - d\varphi}{ds} = \frac{zX}{\varepsilon}\left[- pA\left(\frac{\sin \Phi}{2} - \frac{\sin^2 \varphi}{2 \sin \Phi}\right) - \frac{1}{\Phi}(\cos \varphi - \cos \Phi)\right].$$

Le *maximum* de cette expression est donné par la condition :

$$\frac{\sin \varphi \cos \varphi}{\sin \Phi} - \frac{\sin \varphi}{\Phi} = 0,\ \text{d'où}\ \varphi = 0,$$

et par suite

$$z\frac{d\varphi' - d\varphi}{ds} = \frac{zpAX}{2\varepsilon}\left(\sin \Phi - 2 \times \frac{1 - \cos \Phi}{\Phi}\right).$$

On aura, en définitive, pour un arc surbaissé de peu d'amplitude :

$$\frac{R'_1}{E} = PA\left[\frac{1}{E\Omega\Phi} + \frac{zX}{2\varepsilon}\left(\sin \Phi - 2 \times \frac{1 - \cos \Phi}{\Phi}\right)\right].$$

En développant $\sin \Phi$ et $\cos \Phi$ suivant les puissances de Φ et négligeant les cinquièmes puissances, on trouve :

$$\frac{zX}{2\varepsilon}\left(\sin \Phi - 2 \times \frac{1 - \cos \Phi}{\Phi}\right) = - \frac{zX\Phi^3}{24\varepsilon}.$$

Mais il faut observer que ce terme doit toujours avoir le signe +. Le signe dont il est affecté indique uniquement que la pièce fléchit dans le sens de la force pA ou dans le sens contraire ; mais il n'en indique pas moins un accourcissement de fibres au-dessus ou au-dessous de l'axe neutre, ou une compression qui s'ajoute à la force T. La formule de l'équarrissage devient donc :

$$\frac{R'_1}{E} = PA\left[\frac{1}{E\Omega\Phi} + \frac{zX\Phi^3}{24\varepsilon}\right],$$

ou en faisant $\frac{1}{\Phi} = S$, $\Phi^3 = N$,

$$\frac{R'_1}{E} = pA\left[\frac{S}{E\Omega} + \frac{zXN}{24\varepsilon}\right] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(A)}$$

Pour rendre le calcul de cette formule plus facile, M. Ardant donne les valeurs ci-dessous de S et de N pour des valeurs correspondantes de $\frac{A}{B}$, rapport de la demi-ouverture de l'arc à sa flèche ou montée.

Valeurs de $\frac{A}{B}$	2.	3.	4.	5.	10.	15.	20.
S	1,0800	1,550	2,040	2,660	6,660	7,630	9,520
N	0,7915	0,263	0,117	0,053	0,034	0,022	0,001

La formule (A) devient pour un arc dont la section transversale est un rectangle

$$ab^2 = \frac{pA}{2R'_1}\left(Sb + \frac{NX}{4}\right)$$

et pour un arc, dont la section est circulaire, r représentant le rayon du cercle,

$$r^3 = 0{,}3184\ \frac{pA}{R'_1}\left(Sr + \frac{NX}{6}\right).$$

On trouverait, en suivant une marche analogue, les formules suivantes qui conviennent aux arcs demi-circulaires diversement chargés.

TABLEAU

DES FORMULES RELATIVES AUX ARCS DEMI-CIRCULAIRES.

MODE DE RÉPARTITION DE LA CHARGE.	ÉQUARRISSAGE EN MÈTRES DES ARCS DONT LA SECTION EST	
	RECTANGULAIRE.	CIRCULAIRE.
Répartie uniformément sur la circonférence du cintre.....	$ab^2 = \frac{P}{2R'_1}(0{,}599b + 0{,}27X)$	$r^3 = \frac{P}{2R'_1}(0{,}124r + 0{,}062X)$
Répartie uniformément par rapport à une ligne horizontale.....	$ab^2 = \frac{P}{2R'_1}(0{,}680b + 0{,}25X)$	$r^3 = \frac{P}{2R'_1}(0{,}200r + 0{,}044X)$ (1)
Suspendue au sommet.	$ab^2 = \frac{P}{2R'_1}(0{,}597b + 0{,}55X)$	$r^3 = \frac{P}{2R'_1}(0{,}200r + 0{,}212X)$

Observations. — Nous avons fait la remarque au n° 618 qu'ordinairement les char-

(1) $P = 2pA$. Les notations de ce tableau sont les mêmes que celles du précédent.

pentes en arc sont combinées avec une charpente droite composée d'arbalétriers, de jambes de force et d'aisseliers reliée à l'arc par un système de moises pendantes, verticales ou normales à l'arc.

Le poids de la toiture se répartit alors d'une certaine manière sur la charpente droite et sur l'arc, et de cette répartition dépend la détermination de l'équarrissage de l'une et de l'autre.

Suivant M. Ardant, on obtient le plus haut degré de résistance de cet assemblage en donnant même largeur à la section transversale des arbalétriers et de l'arc et en donnant à l'épaisseur de ce dernier 1/4 en sus de celle de l'arbalétrier.

Il suffira donc, dans ce cas, de déterminer par les méthodes précédemment exposées l'équarrissage de l'arbalétrier, en supposant qu'il supporte la moitié de la charge, pour en déduire de suite, par ces considérations empiriques, celui de l'arc auquel on le réunit.

Voici, au surplus, une table à moitié empirique, due à M. Ardant, et qui pourra dispenser de ces calculs dans un grand nombre de cas.

TABLE DE L'ÉQUARRISSAGE

A DONNER AUX DIVERSES PIÈCES DES FERMES DE CHARPENTES EN ARC

REPRÉSENTÉES FIG. 853, PL. XXIX.

PORTÉE DES FERMES EN MÈTRES.	ÉQUARRISSAGE EN MÈTRES					Abaissement vertical du sommet de la FERME EN MÈTRES.	Déplacement horizontal du sommet du poteau EN MÈTRES.
	DE L'ARC.	DE l'arbalétrier.	DE LA MOITIÉ DES MOISES du poteau.	de l'aisselier ou ENTRAIT.	DE LA MOITIÉ D'UNE MOISE pendante.		
	m m	m m	m m	m m	m m		
24	0,20 sur 0,40	0,20 sur 0,40	0,12 sur 0,41	0,16 sur 0,16	0,15 sur 0,12	0m,04	0m,020
22	0,20 — 0,37	0,20 — 0,30	0,12 — 0,35	0,16 — 0,16	0,15 — 0,12	0 ,03	0 ,015
20	0,20 — 0,35	0,20 — 0,28	0,12 — 0,32	0,16 — 0,16	0,15 — 0,10	0 ,03	0 ,015
18	0,15 — 0,35	0,15 — 0,28	0,12 — 0,30	0,12 — 0,12	0,15 — 0,10	0 ,03	0 ,015
16	0,15 — 0,35	0,15 — 0,26	0,12 — 0,27	0,12 — 0,12	0,12 — 0,08	0 ,02	0 ,010
14	0,15 — 0,27	0,15 — 0,22	0,12 — 0,25	0,10 — 0,10	0,12 — 0,08	0 ,02	0 ,010

On doublera les nombres contenus dans les deux dernières colonnes pour tenir compte du tassement produit par le resserrement des assemblages.

Cette table donne des équarrissages plutôt forts que faibles, et qui pourraient être réduits dans une assez forte proportion pour des constructions légères ou provisoires.

L'auteur a supposé les arbalétriers inclinés à trois de base sur deux de hauteur, et chargés de 400 kilogrammes par mètre courant de leur projection horizontale.

M. Ardant fait encore suivre cette table des prescriptions suivantes, qui ne sont que la conséquence de remarques faites précédemment.

La précaution la plus essentielle à observer dans la composition des fermes de charpentes en arc, c'est de composer les arcs de manière qu'ils aient le plus de roideur possible, car leur flexibilité est une cause de destruction de l'édifice par suite des poussées qu'elle engendre. Si l'on adopte les arcs en bois plié, il faut employer les lames les plus longues et les plus épaisses que l'on pourra se procurer, prodiguer les frettes et les boulons, éviter d'avoir des joints entre deux morceaux de lames consécutives sur les reins à l'extrados, ou au sommet à l'intrados, et augmenter le nombre des lames vis-à-vis le point de la plus grande flexion qui est au tiers du demi-arc à partir du pied.

Si on construit des arcs en planches de champ, il faut se servir de madriers de chêne et renforcer les assemblages par des frettes et des boulons.

Si l'arc, quelle que soit sa construction, montre de la flexibilité, il faut le réunir aux arbalétriers par des moises normales à l'arc, parce que cette disposition donne plus de fixité aux assemblages, et qu'elle fait porter le poids principalement sur les arbalétriers.

Si l'arc a de la roideur et de la solidité, on mettra les moises verticales, parce qu'alors le poids se partage à peu près également entre l'arc et les arbalétriers, et se répartit plus uniformément sur toute la ferme.

628. SOLIDES D'ÉGALE RÉSISTANCE. Définition. — Jusqu'ici, lorsque nous nous sommes proposé de déterminer les dimensions transversales de solides soumis à des efforts de flexion, nous nous sommes borné à rechercher la section qu'il convenait de donner au point où le solide avait le plus à souffrir par l'action des forces infléchissantes, et nous avons adopté cette section pour toute l'étendue de la pièce.

Or il est visible que si, pour ce point, les dimensions sont convenables, pour tous les autres, elles sont en réalité trop fortes, puisque, par rapport à ces derniers, les poids ou les forces extérieures agissent avec un moindre bras de levier.

On peut se proposer de déterminer les dimensions du solide de telle façon que dans toutes ses parties il offre exactement le même degré de résistance, soit en faisant varier, suivant une certaine loi, la hauteur de la section transversale, la largeur demeurant constante, ou réciproquement, soit en les faisant varier l'une et l'autre tout à la fois.

Les solides taillés de cette façon portent le nom de *solides d'égale résistance*.

629. Exemples. — Les exemples suivants serviront de développement et d'explications à ce qui précède.

I. Soit un solide AB (*fig.* 859) encastré en A, sollicité en B par un poids P, on demande de déterminer la courbe CB qui donnera la loi du décroissement des hauteurs, la largeur restant la même, pour qu'il soit d'égale résistance.

Nommons :

l la largeur AB ;

x la longueur A'B ;

a la largeur constante de la section transversale ;

b la hauteur de cette section au point A ;

b' la hauteur de la section au point A'.

La section en A se détermine, comme on l'a vu au n° 591, en égalant le moment des résistances moléculaires exprimé par $\sigma = \frac{R' ab^2}{6}$ au moment du poids P, pris par rapport à l'axe neutre dans le plan d'encastrement, ou, en d'autres termes, en posant :

$$Pl = \frac{R' ab^2}{6}.$$

La section en A' se déterminera de la même manière en posant :

$$Px = \frac{R' ab'^2}{6}.$$

Divisant les deux équations l'une par l'autre, on aura pour déterminer l'ordonnée b' d'un point quelconque A' dont l'abscisse est x :

$$b'^2 = \frac{b^2}{l} \times x.$$

La courbe CB est donc une parabole ayant $\frac{b^2}{l}$ pour paramètre, et dont l'origine est en B.

On pourrait aussi donner au solide l'une des formes indiquées (*fig.* 860 et 861).

Si l'on faisait varier la largeur a, en laissant b constant, les deux équations précédentes donneraient :

$$a' = \frac{a}{l} \times x.$$

La face horizontale du solide aurait donc l'une des formes indiquées (*fig.* 862, 863 et 864).

Si l'on faisait en même temps varier la largeur et la hauteur, on aurait :

$$a'b'^2 = ab^2 \frac{x}{l}.$$

Enfin, si la section transversale était un cercle, on aurait :

$$r'^3 = \frac{r^3}{l} x.$$

II. Si le poids P, au lieu d'être entièrement suspendu à l'extrémité libre du solide, était uniformément réparti sur toute la longueur, on aurait en appelant p le poids par unité de longueur :

Pour le point d'encastrement,

$$\frac{pl^2}{2} = \frac{R' ab^2}{6},$$

et pour un point quelconque x

$$\frac{px^2}{2} = \frac{R' ab'^2}{6},$$

d'où l'on tirerait :

$$b' = \frac{b}{l} x.$$

La ligne CB serait une droite et la section verticale du solide prendrait l'une des formes des *fig.* 862, 863 et 864.

Si la section était circulaire, on aurait, pour exprimer la loi du décroissement du rayon :

$$r'^3 = r^3 \frac{x^2}{l^2}.$$

III. Si le solide posait librement sur deux appuis et était chargé en son milieu, chacune des deux moitiés serait dans le même cas qu'une pièce encastrée et sollicitée à l'autre bout par une force $= \frac{1}{2}$ P. Une telle pièce, pour être d'égale résistance, devrait donc avoir l'une ou l'autre des formes représentées *fig.* 865, 866, 867 et 868, qui ne sont rien autre que celles des *fig.* 860, 861, 862 et 863 doublées.

Les trois premières sont relatives au cas où a est constant et b variable, et la dernière au cas où l'on fait varier a, b restant constant.

IV. Si le poids était uniformément réparti sur le solide posant sur deux appuis, le poids engendrerait sur chaque appui une pression égale à $\frac{1}{2} pL$.

Chaque moitié peut, d'après cela, être considérée comme encastrée et sollicitée à l'autre extrémité, par une force verticale $\frac{1}{2} pL$ et de plus par les poids p agissant en sens contraire de $\frac{1}{2} pL$.

Or, d'après le n° 601, on a, pour déterminer l'équarrissage au point milieu,

$$\frac{pL^2}{8} = \frac{R' ab^2}{6}.$$

L'équarrissage en un point quelconque situé à la distance x de l'extrémité libre serait donné par l'expression :

$$\frac{pL}{2} x - \frac{px^2}{2} = \frac{R' ab'^2}{6}.$$

On tirerait de ces deux équations :

$$b'^2 = \frac{b^2}{L^2} \times 4x (L - x).$$

D'après cela, la courbe suivant laquelle devrait être taillé le solide, pour être d'égale résistance, est une demi-ellipse.

Il serait inutile de donner d'autres exemples de cette application de la théorie de la flexion. Ceux-ci doivent suffire pour indiquer la marche à suivre dans les autres cas qui n'offriraient, du reste, pas plus de difficultés.

630. Emploi des solides d'égale résistance. — Les solides d'égale résistance sont rarement employés dans les constructions en bois, parce que, pour les obtenir, il faudrait trancher les fibres ligneuses, ce qui offrirait de graves inconvénients ; néanmoins, dans ces cas mêmes, la connaissance de leur forme est très-utile. Elle indique

les points qui peuvent être affaiblis sans danger par les assemblages, et ceux qu'il serait dangereux d'entamer d'une manière quelconque.

Les solides d'égale résistance, ou des solides qui se rapprochent plus ou moins de cette forme, sont, par contre, très-souvent employés dans les constructions en métal et en pierre.

Les corniches qui surmontent les murs, les consoles qui soutiennent les balcons et les parties saillantes des édifices, les corbeaux ou encorbellements qui supportent quelquefois les extrémités des poutres des planchers, en offrent déjà des exemples fort répandus.

Les balanciers des machines à vapeur, les longerons des ponts en fonte, les poutres en fonte pleines ou évidées (*fig.* 869), par lesquelles on remplace les poutres en bois, les barreaux des grilles des foyers, et en général toutes les pièces moulées, destinées à subir des efforts de flexion, offrent aussi des efforts qui se rapprochent beaucoup de celles indiquées par les *fig.* 859 à 861 et 865 à 867 ; seulement, leurs extrémités sont plus ou moins renforcées, suivant le besoin, par des appendices droits ou courbes, qui permettent de leur donner l'assiette convenable ou de recevoir, sans être affaiblies, les trous des boulons ou ancres.

Les tiges minces, destinées à supporter ou à transmettre de grands efforts, dans le sens de leur axe, et qui tendraient à se courber et à se rompre par flexion dans leur partie moyenne, y sont renflées, plus ou moins fortifiées par des nervures, comme cela se voit dans les bielles des machines à vapeur, etc.

En un mot, dans toutes les circonstances où le démaigrissement qui tend à rapprocher le solide de la forme d'égale résistance n'entraîne aucun inconvénient particulier, on économise la matière, tout en conservant le degré de force nécessaire, en se rapprochant autant qu'on le peut de cette forme, et l'on ne doit pas négliger d'y avoir égard.

Il est quelque cas où il est important de remarquer que le solide d'égale résistance, tout en offrant autant de sécurité contre la chance de rupture qu'un solide de section uniforme dans toute son étendue, présente à la flexion une résistance beaucoup moindre.

Il est facile de démontrer, par exemple, qu'un solide d'égale résistance encastré par une extrémité, et chargé à l'autre bout d'un poids P, prend une flèche de courbure double de celle d'une pièce dont la section transversale serait la même, dans toute l'étendue, qu'au point d'encastrement.

C'est à cette circonstance, dont les premiers constructeurs de chemin de fer n'avaient pas tenu compte, que l'on doit l'abandon des rails subondulés, qu'on employait presque exclusivement dans le principe. Ces rails ne cassaient pas plus fréquemment que les rails droits, mais leur grande flexibilité occasionnait, dans la marche des convois, des soubresauts et des chocs qui détérioraient promptement le matériel, et fatiguaient les voyageurs.

631. Sections transversales d'égale résistance. — Il est des cas où il importe de donner au solide une section transversale telle que, quelle que soit la position de ses

faces relativement à la direction de la charge, il résiste également bien à la flexion. Ces cas se présentent notamment pour les axes horizontaux des machines de rotation.

Les valeurs de ε, consignées dans le tableau inséré au n° 574, permettront de résoudre cette question sans difficulté.

On verra que cette expression est constante, quelle que soit la position que l'on assigne aux faces du solide par rapport à l'horizon :

1° Pour le cylindre plein et pour le cylindre creux ;

2° Pour le prisme plein à base carrée et pour le tuyau carré ;

3° Pour un solide prismatique, dont la section serait une croix simple (*fig.* 821 et 822) ou une croix double (*fig.* 823 et 824).

632. POUTRE DE PLUS GRANDE RÉSISTANCE. — La valeur de σ pour une section rectangulaire $= \frac{R' ab^2}{6}$, fait voir qu'une poutre, ou en général une pièce de cette forme, résiste beaucoup mieux quand elle est posée de champ qu'en sens contraire, et que, pour une même aire de section transversale, la résistance sera d'autant plus grande que b sera plus grand par rapport à a.

Cependant l'on doit concevoir qu'il existe à cet égard une certaine limite, passé laquelle le solide fléchirait latéralement.

Dans les constructions en bois, on fait ordinairement $a = 0{,}71 . b$, et dans les constructions en fonte $a = 0{,}20 . b$, quand la section est simplement rectangulaire, et $a = 0{,}10 . b$ et même $0{,}07 . b$, quand la poutre est renforcée par des nervures latérales.

Quand on est astreint à tirer le solide d'un corps cylindrique comme d'un tronc d'arbre, par exemple, il est facile de trouver le rapport qui doit exister entre a et b, pour que la poutre jouisse du maximum de résistance à la rupture.

Soit ABCD (*fig.* 870) le cercle qui limite l'aubier. Pour que la poutre dont ABCD est la section transversale jouisse du maximum de résistance, il faut que BC et AB aient des dimensions telles que ab^2 soit un *maximum*, puisque c'est la seule quantité variable dans l'expression. $\frac{R\, ab^2}{6}$.

Pour trouver ce *maximum*, faisons AC diamètre du cercle circonscrit $= 1$, on aura :

$$b^2 = 1 - a^2,$$

et

$$a(1 - a^2) = y.$$

Différenciant par rapport à a et faisant $\frac{dy}{da} = 0$, on trouve :

$$a = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0{,}5773.$$

D'où :

$$b = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 0{,}8165.$$

$$a = 0{,}71 \times b, \text{ à peu près.}$$

C'est, comme on le voit, la proportion que l'on adopte le plus généralement pour toutes les pièces de charpente soumises à la flexion.

On construit du reste facilement le rectangle inscrit jouissant de cette propriété ; il suffit de diviser le diamètre AC en trois parties égales, et des points de division, d'élever les perpendiculaires 2. B. 1. D. L'intersection de ces perpendiculaires avec la circonférence du cercle donne la position des sommets B et D du rectangle.

633. POUTRES ARMÉES ET POUTRES D'ASSEMBLAGES. — Définition. — Il arrive fort souvent, dans la composition des charpentes d'une grande portée, que l'on est obligé d'employer des poutres qu'il serait impossible de composer d'une seule pièce, soit parce qu'elles exigent un équarrissage qu'on ne pourrait retirer des plus gros arbres, soit parce qu'elles sont d'une longueur que les plus beaux troncs n'atteignent pas. On est alors obligé de les composer de plusieurs pièces superposées ou juxtaposées, à l'assemblage desquelles on tâche de donner autant de résistance et de rigidité que si elles étaient composées d'une pièce unique.

Les assemblages de cette espèce portent, en général, le nom de *poutres armées* ou de *poutres d'assemblages*.

Exemples. — Nous allons indiquer quelques-unes des combinaisons qui peuvent être réalisées, en même temps que la manière d'estimer approximativement leur degré de résistance.

634. Poutres formées de plusieurs pièces superposées. — 1° On peut former la poutre de plusieurs pièces superposées simplement les unes sur les autres, et réunies au moyen de frettes ou de liens, comme dans la *fig.* 871.

C'est la disposition la plus simple, mais aussi la moins efficace.

En effet la résistance d'un pareil assemblage de pièces où chacune est indépendante des autres ou à peu près, est évidemment égale à la somme des résistances individuelles. Ainsi soit n le nombre des pièces superposées ; a, la largeur, et b, la hauteur de leur équarrissage, la résistance de l'ensemble sera égale à $\frac{nR'ab^2}{6}$ tandis que si, par des moyens d'assemblage tels que ceux qui vont être indiqués, on les rendait solidaires l'une de l'autre, cette résistance serait exprimée par $\frac{R'a\overline{nb}^2}{6}$.

Supposons, pour rendre cette différence sensible, que l'on ait à composer une poutre de trois morceaux superposés, en se posant la condition d'avoir une résistance égale à celle d'une poutre de $0^m,60$ d'épaisseur d'une seule pièce (en donnant la même largeur d'équarrissage dans les deux cas).

On devra avoir, pour réaliser cette condition :

$$3b^2 = \overline{0,60}^2 = 0,36.$$

$$b^2 = \frac{0,36}{3} = 0,12.$$

$$b = \sqrt{0,12} = 0,35 \text{ à peu près.}$$

L'épaisseur totale $3b = 1{,}05$ de la poutre composée, sera donc égale à 1 3/4 fois celle dont on aurait pu se contenter pour une poutre formée d'un seul morceau.

En général, en appelant B l'épaisseur verticale de la poutre d'un seul morceau à la résistance de laquelle il faut égaler celle d'une poutre formée de morceaux superposés, mais non assemblés, on a : 1° pour exprimer l'épaisseur totale B' de cette dernière quand le nombre de ses éléments est donné, $B' = B\sqrt{n}$; et 2° pour exprimer le le nombre des éléments quand leur épaisseur est fixée à l'avance, $n = \frac{B^2}{b^2}$. On voit d'après cela qu'il est avantageux de réduire autant que possible le nombre des éléments.

2° On peut former la poutre de plusieurs pièces assemblées les unes aux autres, de manière que les extensions et les contractions des fibres de l'une soient plus ou moins dépendantes de celles de l'autre. Cet effet peut être obtenu, au moyen d'un assemblage à endentures ou crémaillères, maintenu par des boulons ou des étriers, comme dans la *fig.* 872, ou bien au moyen d'un assemblage à clefs, tel que celui représenté (*fig.* 873). Les pièces A sont des clefs en bois dur, chassées avec force dans des entailles rectangulaires (1), dont la moitié se trouve dans la face inférieure de la pièce supérieure, et l'autre moitié dans la face supérieure de la pièce inférieure.

La résistance des poutres composées de l'une ou l'autre de ces deux manières est sensiblement égale, d'après ce qu'on a vu plus haut, à celle d'une poutre de même section, formée d'une pièce unique. Ainsi, représentant par B son épaisseur totale, on a pour exprimer cette résistance :

$$\frac{R'aB^2}{6}.$$

Lorsqu'on compose des poutres armées, il est convenable de donner à l'ensemble des pièces une forme qui se rapproche de celle du solide d'égale résistance, comme on en voit des exemples dans les *fig.* 874 et 875.

N. B. Les assemblages des mâts et des vergues, qui ont été décrits aux nos 432 et 447, sont conçus dans le même esprit.

635. Poutres composées de pièces juxtaposées. — Au lieu d'assembler les pièces dans le sens de la hauteur ou de les superposer, on peut les réunir dans le sens de la largeur.

Dans ce cas, le mode et la perfection des assemblages ont une influence beaucoup moindre que dans le précédent. En effet, quelle que soit la disposition adoptée, qu'il y ait simplement juxtaposition, ou que les pièces soient solidement réunies les unes aux autres, la résistance de l'ensemble sera toujours exprimée par $\frac{Rnab^2}{6}$. Les assemblages n'ont pour objet, dans le cas présent, que d'empêcher les pièces de gauchir en fléchissant latéralement, et de répartir la charge sur toutes, même dans le cas où,

(1) On peut les faire aussi en doubles queues d'hironde, mais elles exigent plus de sujétion, et les endentures sont moins solides.

par l'effet de porte-à-faux, quelques-unes seulement seraient exposées à la recevoir.

636. Armatures en fer. — On arme encore les poutres de la manière indiquée (*fig.* 876), au moyen de patins en fonte a et de tirants en fer b, disposés de telle façon que la poutre ne puisse fléchir sans tendre les tirants en fer.

Pour estimer la force d'un pareil système, il faut considérer que si les tirants pouvaient glisser librement pendant la flexion, ils prendraient la position b' (*fig.* 877), tandis que par suite de leur connexion à l'extrémité de la poutre, ils sont obligés de prendre la position b'' en s'allongeant d'une quantité $b'' - b'$. Cet allongement correspond à une force de traction dans le sens du tirant, et la poutre se trouve, par conséquent, soumise à l'action simultanée d'une force égale et contraire à la pression verticale exercée sur le point d'appui, et d'une autre force égale à la tension exercée sur l'axe du tirant.

Nommons P la charge de la poutre, et α l'angle du tirant avec son axe ; $\frac{P}{2}$ sera la force verticale et $\frac{P}{2 \sin \alpha}$ la force dans le sens de l'axe du tirant. Ces deux forces ont dans le sens de l'axe de la poutre une résultante $= \frac{P}{2} \cot \alpha$, laquelle, étant mise à la place de Q dans la formule $ab = \frac{Q}{R'_1}$, servira à calculer son équarrissage. La section du tirant se calculera au moyen de la formule $\Omega = \frac{Q}{R'}$, dans laquelle on remplacera Q par $\frac{P}{2 \sin \alpha}$.

On pourrait armer aussi la poutre en encastrant dans chacune de ses faces latérales un arc en fonte, dont les pieds seraient réunis par un tirant en fer (*fig.* 878).

Un tel système résisterait avec une force à peu près égale à la somme des résistances des arcs en métal et de la poutre. La résistance de la poutre s'estimerait comme à l'ordinaire ; quant à celle des arcs métalliques, on approcherait suffisamment de la réalité, en retranchant du moment $\frac{R' ab^2}{6}$ des arcs considérés comme pleins, celui $\frac{R' ab'^2}{6}$ du solide qui en occuperait le vide, b et b' étant les hauteurs extérieure et intérieure, a représentant l'épaisseur totale des deux arcs.

Il serait facile d'indiquer beaucoup d'autres combinaisons ; mais le lecteur suppléera facilement à notre silence, s'il a bien compris tout ce qui précède.

637. Poutres composées de pièces entées bout à bout. — Toutes les combinaisons précédentes supposent l'emploi de pièces assez longues pour ne pas nécessiter d'assemblages dans le sens de la longueur. Indiquons maintenant quelques dispositions qui peuvent convenir à ce dernier cas, et d'après quelles considérations elles doivent être établies.

Si l'on se rappelle que l'effet de la flexion est de produire une compression dans les fibres situées au-dessus de l'axe neutre, on concevra qu'à la rigueur on pourrait trancher ces fibres jusqu'à la rencontre de cet axe, sans modifier la résistance du so-

lide D'après cela, l'on doit également concevoir que si deux pièces A et B (*fig.* 879 et 880), serrées bout à bout, sont réunies par une pièce ou *fourrure* C qui empêche le joint de s'ouvrir par le bas, l'ensemble de ces trois pièces se trouvera à peu près dans les mêmes conditions de résistance qu'une pièce unique. Il suffira, pour empêcher que la rupture ait lieu au droit du joint plutôt que partout ailleurs :

1° De déterminer la section transversale de la fourrure, de manière qu'elle offre au moins une résistance égale à la partie coupée des fibres, situées au-dessous de l'axe neutre ;

2° De donner aux endents une force capable de résister aux efforts qui tendent à les faire éclater suivant xy, yz (*fig.* 879).

Dans tous les cas, l'on voit qu'il serait inutile de placer des fourrures ou d'autres moyens de réunion à la partie supérieure du joint, à moins que l'on ne craigne que les pièces ne se déversent l'une par rapport à l'autre, ce qui pourrait arriver si elles étaient, par exemple, très-minces et très-hautes.

Les fourrures peuvent être remplacées par des armatures en fer de diverses formes, tendant d'ailleurs à produire le même effet. On en trouvera quelques exemples dans les *fig.* 881, 882 et 883.

638. Poutres en fonte. — Les divers genres d'armatures précédemment décrits peuvent s'appliquer aux poutres en fonte, aussi bien qu'à celles en bois. Nous donnons comme exemple (*fig.* 884) une poutre armée en fonte, formée de deux morceaux, qui pourrait servir de longeron à un pont d'une grande portée. Les deux pièces, réunies bout à bout par des boulons, afin d'empêcher le déversement de l'une par rapport à l'autre, sont reliées inférieurement par une tringle en fer forgé *abc*, logée dans un canal circulaire *d*, sur laquelle elles sont pour ainsi dire suspendues.

Ce système a été très-fréquemment employé en Angleterre, et l'on pourra remarquer qu'il n'est, en dernière analyse, rien autre chose que celui représenté dans la *fig.* 876, mais modifié en raison de la nature de la matière employée. Il nous paraît bien préférable à celui que les auteurs du pont qualifié de *système belge* ont cru devoir adopter (1). Le fer et la fonte y sont soumis chacun au genre d'efforts qu'ils supportent le mieux, et la forme de la section longitudinale, en se rapprochant de celle du solide d'égale résistance, permet une économie considérable de matière.

639. Poutres composées de pièces superposées et entées. — On comprendra sans peine ce qu'il y aurait à faire dans les cas où les poutres seraient à la fois assez grosses et assez longues pour nécessiter des assemblages dans les deux ou même dans les trois dimensions. Les *fig.* 885 et 886 offrent quelques exemples de combinaisons de ce genre. Comme elles ne sont que la reproduction des dispositions précédentes, nous croyons pouvoir nous dispenser d'en donner l'explication : l'inspection seule des figures les fera suffisamment comprendre.

---

(1) Les ponts de ce système n'ont reçu qu'un fort petit nombre d'applications. Une entre autres a été faite à Gand sur un bras de l'Escaut.

Les systèmes représentés par les *fig.* 887 et 888, qu'on emploie à la construction des ponts en charpente, ne sont en réalité que des poutres armées : leur résistance, ainsi que celle de toutes les combinaisons analogues, est donnée d'une façon suffisamment approximative par la formule

$$R'a\,\frac{b^2 - b'^2}{6},$$

a étant la largeur de la section transversale des pièces tant supérieures qu'inférieures, b la hauteur totale, et b' la hauteur dans-œuvre.

On trouvera un très-grand nombre d'exemples de poutres armées dans tous les traités de charpenterie, et notamment dans les planches de l'ouvrage d'Émy, auquel nous renvoyons pour plus de détails.

Avant de terminer ce sujet, il nous reste à dire un mot d'un autre genre d'armatures, qu'il est utile de connaître.

640. Armatures propres à augmenter la rigidité des poutres. — Dans un assez grand nombre de cas on a intérêt à augmenter la rigidité des poutres, sans augmenter pour cela leur résistance. On peut y arriver par les moyens suivants :

1° On pratique en A (*fig.* 889) un trait de scie s'étendant jusqu'au tiers à peu près de l'épaisseur de la pièce ; on fait ensuite fléchir les deux portions AB, AC, de manière à ouvrir le trait de scie, et l'on y insère un coin de bois dur, qui maintient la pièce dans la forme que lui a donnée la flexion.

2° On frette fortement les deux extrémités de la poutre, ou on la traverse simplement par des boulonsfo rtement serrés sur des plaques de fonte (*fig.* 890) ; on perce, en *a* et *b*, deux trous de tarière, situés dans le plan de la tranche des fibres invariables, puis on donne un trait de scie de l'un à l'autre. On écarte ensuite les deux segments de la poutre, au moyen de coins de bois que l'on chasse dans le trait de scie, jusqu'à ce qu'on ait $in = 2\frac{1}{2}\,ke$; puis on maintient l'écartement au moyen de tasseaux (1).

Le premier genre d'armature a été imaginé par Duhamel, le second est dû à M. Laves, architecte du roi de Hanovre.

L'un et l'autre n'augmentent pas sensiblement la résistance à la rupture, mais ils augmentent dans une forte proportion la résistance à la flexion. D'après les expériences rapportées par le colonel Émy dans son traité de l'art de la charpenterie, t. II, p. 214 et suiv., les flèches de courbure des pièces préparées suivant le système de M. Laves seraient seulement égales à $\frac{1}{7}$ à peu près de celles qu'elles auraient dans leur état ordinaire au moment de la rupture, et à $\frac{1}{14}$ environ de celles qu'elles offriraient si elles n'étaient pas armées, lorsque leur charge ne dépasse pas celle qu'on peut leur faire supporter d'une manière permanente.

(1) Ce genre d'armature peut être modifié comme on le voit dans la figure 891. La poutre est composée de trois madriers réunis par des boulons *a*, *b*. Le madrier du milieu est fléchi en sens inverse des deux autres par des moyens mécaniques quelconques. Quand on a obtenu le degré de flexion qu'on désire, on place des tasseaux *c*, *d* qu'on embrasse ainsi que l'ensemble des trois madriers par un ou plusieurs étriers en fer.

Ces effets s'expliquent facilement.

Dans le système de M. Laves, en éloignant les sections fibreuses de l'axe neutre, on augmente le moment de leur résistance à la flexion ; mais comme, pour opérer cet effet, on est obligé de soumettre les fibres à de très-grands efforts de traction, il en résulte qu'on se rapproche ainsi du point où la rupture a lieu, et qu'il suffit, pour l'opérer, d'une flèche de courbure beaucoup moindre.

Dans le système de Duhamel, on augmente le moment de réaction des fibres moléculaires comprimées ; mais on exerce ainsi une compression préalable sur ces fibres, et ce surcroît de compression doit nécessairement en amener la rupture, sous une flèche moins considérable que si la pièce était dans son état naturel. D'ailleurs, dans ce cas, les forces $\frac{P}{2}$ agissent obliquement par rapport à l'axe de la pièce, et le moment des composantes infléchissantes en est plus ou moins diminué.

On peut employer beaucoup d'autres dispositions pour parvenir au même résultat. On roidit, par exemple, les systèmes représentés par les *fig.* 872, 879 et 885, en chassant des coins de bois dur dans tous les crochets des endents ; ceux représentés par les *fig.* 874 et 875, en tenant les arbalétriers un peu trop longs, pour pouvoir se juxtaposer sur la partie supérieure des autres pièces, et en les serrant ensuite contre elles au moyen de brides à vis et écrous ; ceux représentés (*fig.* 876 et 884), en roidissant les tirants au moyen d'écrous, jusqu'à faire prendre à la poutre une légère convexité si c'est possible, etc. Toutes ces dispositions trouvent de fréquentes applications non-seulement dans la construction des planchers, mais encore dans celle des ponts en charpente, des combles, etc.

Les prix relatifs du bois et du fer doivent indiquer à l'ingénieur quelle est la combinaison la plus convenable pour satisfaire tout à la fois à la solidité et à l'économie.

III. — MATÉRIAUX SOUMIS A LA TORSION ET A LA DISJONCTION.

641. Toutes les questions relatives au cas de torsion et de disjonction sont très-simples, et l'application des formules données aux n^{os} 577 à 579 ne présente aucune difficulté. Nous n'entrerons donc dans aucun développement à ce sujet.

DÉTERMINATION DES COEFFICIENTS D'ÉLASTICITÉ, DE RUPTURE ET DES LIMITES DES CHARGES PERMANENTES.

L'emploi des formules précédemment démontrées exige la connaissance des coefficients E, R et R', R, et R', T et T', D et D' pour les différents corps. Nous allons indiquer comment on les détermine.

I. — DÉTERMINATION DES COEFFICIENTS D'ÉLASTICITÉ.

642. Le coefficient d'élasticité E peut s'obtenir par deux procédés distincts : le premier consiste à réduire le corps en barre prismatique dont les dimensions sont

exactement relevées, à le soumettre à un effort de traction directe qu'on mesure exactement, et à observer l'allongement produit. Introduisant ces valeurs dans la formule du n° 561,

$$\alpha = \frac{Q\lambda}{E\Omega},$$

on en tire :

$$E = \frac{Q\lambda}{\Omega\alpha}.$$

Le second procédé consiste à soumettre le corps réduit en barre prismatique à un effort de flexion, et à observer sa flèche de courbure sous l'action d'un poids connu. Les formules des n^os^ 591 à 606, dans lesquelles tout est connu sauf E, permettent de tirer ensuite la valeur de ce coefficient.

Supposons, par exemple, qu'on expérimente sur une pièce de section carrée, posée sur deux appuis et chargée d'un poids P en son milieu, la formule du n° 602 donnera :

$$E = L^3 \frac{8P + 5pL}{32 \times a^4 f},$$

p étant le poids du solide par unité de longueur.

Cette deuxième méthode est plus commode que la précédente, parce qu'on observe plus aisément les flèches de courbure que les allongements directs, qui sont toujours très-petits ; mais elle est peut-être moins exacte.

Dans tous les cas, on doit avoir soin de constater si le poids au moyen duquel on a allongé ou courbé le solide n'a pas altéré son élasticité, et pour cela, il faut qu'étant complétement déchargé, il revienne exactement à sa forme primitive.

On admet généralement, comme nous l'avons déjà fait observer au n° 663, que la valeur de E relative au corps comprimé est la même que celle qui convient au corps tiré dans le sens de sa longueur. Cette hypothèse suffisamment exacte pour la plupart des cas, n'est cependant pas démontrée ; les valeurs, souvent très-différentes pour un même corps, des coefficients de rupture, suivant qu'ils ont rapport à la compression ou à l'extension, semblent indiquer, au contraire, qu'elle manque de fondement.

II. — DÉTERMINATION DES COEFFICIENTS DE RUPTURE.

643. Extension. — On peut déterminer, au moyen d'observations du même genre que celles dont on vient de parler, le coefficient R. Il suffit de pousser les allongements et les flexions jusqu'à la rupture, et de tenir note du poids sous lequel elle a lieu.

Quand on a opéré par traction directe, la formule $Q = R\Omega$ du n° 662 donne :

$$R = \frac{Q}{\Omega}.$$

Quand on a opéré par flexion, les formules relatives à la rupture des n^os^ 591 à 606,

où tout est connu sauf R, donnent aussi le moyen de déterminer cette constante, mais d'une manière approximative seulement.

Supposons, par exemple, que l'on ait fait rompre par flexion une barre rectangulaire posée sur deux appuis, au moyen d'un poids P placé en son milieu; la formule du n° 602 donnera, en remplaçant σ par sa valeur $\frac{R\,ab^2}{6}$ (L étant la distance entre les appuis),

$$R = \frac{6}{ab^2}\left\{\frac{PL}{4} + \frac{pL^2}{8}\right\},$$

p étant le poids du solide par unité de longueur.

Il est facile de saisir les causes qui rendent la valeur de R ainsi déterminée, simplement approximative : d'un côté, les forces de réaction, qui agissent normalement à la courbe au point d'appui, ne peuvent plus être censées verticales, comme dans le cas où l'on considère une flexion très-petite, et devraient être remplacées, dans l'expression ci-dessus, par la valeur de leurs composantes verticales (*fig.* 843).

D'autre part, l'hypothèse qui place l'axe neutre au centre de gravité de la section transversale, et qui revient, comme nous l'avons fait observer, à prendre $R = R_1$ s'éloigne beaucoup de la vérité dans un grand nombre de cas.

Pour écarter ces deux causes d'erreur, il faudrait :

1° Déterminer l'angle avec l'horizon de la tangente à la courbe au point B, au moment de la rupture, et décomposer les forces de réaction, suivant cette tangente (1) et suivant la verticale, pour avoir les véritables valeurs de P et de p à introduire dans la formule précédente.

2° Déterminer par expérience et avec exactitude la position de l'axe neutre au moment de la rupture. Au moyen de cette donnée, et en remarquant que l'équilibre exige que l'on ait :

$$\frac{R}{z}\int_0^a du \int_0^{f(u)} v\,dv = \frac{R_1}{z'}\int_0^a du \int_0^{f'(u)} v'\,dv'$$

en même temps que

$$\frac{R}{z}\int_0^a du \int_0^{f(u)} v^2\,dv + \frac{R_1}{z'}\int_0^a du \int_0^{f'(u)} v'^2\,dv' = \frac{PL}{4} + \frac{pL^2}{8}. \quad \ldots\ldots (A)$$

on tirerait :

$$R_1 = \frac{Rz'}{z} \times \frac{\displaystyle\int_0^a du \int_0^{f(u)} v\,dv}{\displaystyle\int_0^a du \int_0^{f'(u)} v'\,dv'},$$

et cette valeur étant introduite dans l'équation (A), en même temps que les vraies valeurs de P et p que nous représenterons par P' et p', on aurait pour déterminer R :

(1) Cette composante, suivant la tangente, devrait encore à la rigueur entrer en ligne de compte, puisqu'elle tend à produire l'écrasement direct.

$$\frac{R}{z}\left(\int_0^a du\int_0^{f(u)} v^2dv+\int_0^a du\int_0^{f'(u)} v'^2dv'\,\frac{\int_0^a du\int_0^{f(u)} vdv}{\int_0^a du\int_0^{f'(u)} v'dv'}\right)=\frac{P'L}{4}+\frac{p'L^2}{8}.$$

644. Compression. Ce que nous venons de dire quant à la manière de déterminer R s'applique exactement à la détermination de R_1 ou du coefficient de rupture par compression.

Ce coefficient peut donc être connu en écrasant la substance par une compression directe ou au moyen de la flexion. Si l'on veut par ce dernier moyen trouver des valeurs qui concordent sensiblement avec celles qu'on obtient par l'autre méthode, il faut se servir de la formule

$$\frac{R_1}{z'}\left(\int_0^a du\int_0^{f(u)} dvv^2+\int_0^a du\int_0^{f'(u} dv'v'^2\,\frac{\int_0^a du\int_0^{f(u)} dvv}{\int_0^a du\int_0^{f'(u)} dv'v'}\right)=\frac{P'L}{4}+\frac{p'L^2}{8}$$

après avoir déterminé par expérience la valeur de z'.

645. Torsion. — Le coefficient de la résistance à la rupture par torsion se détermine en faisant rompre de cette manière au moyen d'un poids connu, placé à l'extrémité d'un levier dont la longueur a été exactement mesurée, des prismes ou des cylindres de diverses matières, dont les dimensions transversales ont été exactement relevées.

Supposons qu'on ait opéré sur des barreaux de section carrée, la formule du n° 578 où tout est connu sauf T, donnera :

$$T=\frac{PL}{a^3}\times 3\sqrt{2}.$$

646. Disjonction. — Finalement on détermine le coefficient D de la résistance à la rupture par disjonction, en faisant rompre de cette manière des solides de dimensions transversales connues. La formule du n° 579 donne :

$$D=\frac{Q}{\Omega}.$$

III. — LIMITES DES CHARGES PERMANENTES.

Comme nous l'avons déjà dit, les limites des charges permanentes se déduisent de la connaissance des coefficients de rupture, mais d'après des considérations purement pratiques.

647. EXTENSION. — Pierres. L'expérience a indiqué qu'il serait dangereux de charger les matériaux pierreux, soumis à l'extension, au-delà de $\frac{1}{10}$ du poids qui en occasionne la rupture ; on fait $R'=\frac{1}{10}R$.

Bois. On peut adopter en moyenne la limite $R'=\frac{1}{7}R$ pour le chêne et le sapin, et $R'=\frac{1}{10}R$ pour les autres essences.

Cordages. Pour les cordages on fait $R' = \frac{1}{4} R$, ou $\frac{1}{2} R$, ou $\frac{2}{3} R$ tout au plus; ces dernières limites ne s'emploient que lorsque les cordages sont soumis à des tensions momentanées.

Fonte. Pour la fonte, on fait $R' = \frac{1}{4} R$ tout au plus, et pour autant que les pièces ne soient soumises ni à des secousses ni à des chocs.

Fer. Pour le fer, les opinions sont encore très-partagées.

Suivant les auteurs anglais, on peut, quelles que soient leur qualité et leur fonction, faire supporter aux diverses pièces qui entrent dans la construction des ponts suspendus le tiers de la charge qui en occasionne la rupture, pourvu qu'on les ait, au préalable, soumises chacune à une traction de 16 à 18 kilogrammes par millimètre carré de la section transversale.

Suivant les constructeurs français, il n'est pas prudent de soumettre les *chaînes* de suspension à une tension plus forte que le septième ou le sixième de celle qui cause la rupture, et les *tiges* de suspension à plus du vingtième de cette même charge, à cause des secousses et des charges momentanées qu'elles peuvent avoir à supporter lors du passage de voitures pesamment chargées.

La première de ces limites peut paraître trop hardie, et la seconde trop peu, surtout en ce qui concerne les tiges de suspension. Navier a proposé en conséquence d'adopter en général, pour toutes les pièces de fer soumises à des efforts de traction, la limite $R' = \frac{1}{7} R$, ou $\frac{1}{6} R$ tout au plus, quand elles sont soumises à une charge qui ne varie pas, et $R' = \frac{1}{5} R$ ou $\frac{1}{4} R$, quand elles sont soumises à une charge en partie permanente et en partie accidentelle, comme dans tous les ponts suspendus.

648. COMPRESSION. — Les constructeurs fixent ainsi qu'il suit la limite des charges permanentes pour les différents corps soumis à des efforts de compression.

Pierres. $R_1 = \frac{1}{10} R_1$, lorsque la construction est en pierres de grande dimension parfaitement appareillées, et que la hauteur totale ne dépasse pas 10 à 12 fois la plus petite dimension transversale. Quand il s'agit de maçonnerie faite en petits matériaux, on doit prendre $R'_1 = \frac{1}{15} R_1$ et même $\frac{1}{20} R_1$.

Bois :

$R'_1 = \frac{1}{10} R_1$ quand la longueur des prismes n'excède pas 8 fois la plus petite dimension transversale.

$R'_1 = \frac{1}{12} R_1$ quand la hauteur = 12 fois la plus petite dimension transversale.

$R'_1 = \frac{1}{20} R_1$ — = 24 — —

$R'_1 = \frac{1}{30} R_1$ — = 36 — —

$R'_1 = \frac{1}{60} R_1$ — = 48 — —

$R'_1 = \frac{1}{120} R_1$ — = 60 — —

$R'_1 = \frac{1}{240} R_1$ — = 72 — —

La loi de décroissement du coefficient R'_1, en raison de la proportion qui existe entre la hauteur et la plus petite dimension transversale des prismes en bois comprimés dans le sens des fibres, est exprimée par une courbe dont les abscisses seraient

égales à 0, 8, 12, 24, 36, 48. . . . etc., et dont les ordonnées seraient respectivement 10, 10, 12, 20, 30, 60, etc..... Elle servira à trouver les valeurs pour les proportions intermédiaires.

Fer forgé. La valeur de R'_1 diminue aussi très-rapidement avec le rapport qui existe entre la hauteur et la plus petite dimension transversale.

Suivant Rondelet, la loi de ce décroissement serait, à peu de chose près, la même que pour le bois. Généralement on fait R'_1 égal à

$\frac{1}{5} \cdot \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{10} \cdot \frac{1}{15} \cdot \frac{1}{30} \cdot \frac{1}{60} \cdot \frac{1}{120}$, etc., de R_1 pour des barres dont la longueur est égale à 8, 12, 24, 36, 48, 60, 72, etc., fois l'épaisseur.

Fonte. On fait généralement $R'_1 = \frac{1}{5} R_1$ quand la longueur est moindre que 4 fois la plus petite dimension transversale. Cette valeur doit être réduite à

$\frac{2}{15} R_1$ quand la longueur = 4 fois la plus petite dimension transversale.

$\frac{1}{10} R_1$ — = 8 — —

$\frac{1}{25} R_1$ — = 20 — —

$\frac{1}{75} R_2$ — = 36 — —

On trouverait approximativement les valeurs intercalaires en construisant une courbe dont les abscisses seraient 4, 8, 20, 36, et les ordonnées 7, 50, 10, 25, 75.

649. Torsion. — On fait généralement $T' = \frac{1}{10} T$ pour toutes les substances.

650. Disjonction. — On n'a aucune donnée quant à la fixation de D'.

651. Valeurs moyennes de ces divers coefficients. — La détermination des coefficients d'élasticité et de ruptures propres aux divers matériaux de construction a fait l'objet de nombreuses expériences, dont les résultats se trouvent consignés dans les écrits de Buffon, Musschenbroeck, Perronnet, Rondelet, Gautey, Vicat, Barlow, Rainie, Tredgold, Navier et beaucoup d'autres. Il serait superflu de les rapporter ici, et nous nous bornons à présenter dans le tableau qui termine cette section, des moyennes déduites de ces diverses expériences. Pour ce qui concerne les détails, nous renvoyons aux ouvrages des expérimentateurs.

IV. — MACHINES EMPLOYÉES POUR ÉPROUVER LA RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX.

652. Les expériences ont été faites généralement au moyen de machines à levier ou à vis capables de produire de grands efforts, ou avec la presse hydraulique.

Nous donnons comme exemple celles imaginées par Perronnet et par Rondelet pour mesurer la résistance des pierres à l'écrasement.

La première est représentée, *fig.* 892 ; elle se compose : 1° d'un fort bâti en charpente ou en fonte sur lequel on plaçait, en *m*, la pierre à éprouver réduite en cube d'environ 5 centimètres de côté ; 2° d'un levier GH tournant autour d'un boulon G, et agissant sur le cube, par l'intermédiaire d'un étançon vertical I, taillé en coin à sa partie supérieure. Les poids destinés à produire l'écrasement étaient placés dans un plateau de balance suspendu en H.

Abstraction faite des frottements et des autres causes d'erreur, la pression exercée par l'étançon I était égale à

$$\frac{GH}{GK}\left(P + p\,\frac{GH}{2}\right);$$

P étant le poids du plateau et de la charge qu'on y plaçait, p étant le poids par unité de longueur du levier.

Les erreurs provenaient principalement de ce que, quand le poids P était considérable, il y avait autour du boulon G un frottement très-grand, dont on ne tenait pas compte, et de ce que la matière se comprimant plus ou moins avant de s'écraser, il en résultait que l'étançon prenait une position oblique et n'agissait plus normalement aux faces comprimées.

Ces inconvénients sont en grande partie évités par la machine de Rondelet que représente la *fig.* 893. Sa pièce principale est une forte vis à filet carré AB, terminée inférieurement par une section bien perpendiculaire à l'axe, et supérieurement par un quart de cercle en fonte CD muni d'une gorge à sa périphérie. Cette gorge reçoit un cordon CE qui passe sur une poulie E, et à l'extrémité duquel est suspendu un plateau de balance K pour recevoir des poids. Les matières à éprouver, réduites en cubes, sont placées bien au-dessous de la vis sur la table d'un bâti constitué à peu près comme dans la machine précédente.

Pour estimer l'action réelle de la vis, on se servait d'un levier FG (*fig.* 894), qu'on maintenait dans une position horizontale au moyen d'une tringle H légèrement inclinée. Un plateau de balance, placé à l'extrémité de ce levier, était d'abord chargé d'un poids connu ; puis l'on faisait agir la vis en chargeant le plateau K jusqu'à ce que la pression exercée en F fît équilibre aux poids placés en G. L'équilibre était annoncé par la chute de la pièce H, qui n'était plus retenue dès que la branche du levier tendait à se soulever.

La pression exercée par la vis était ainsi à très-peu de chose près égale à

$$T = \frac{XG\left(P + p\,\frac{XG}{2}\right) - p\,\frac{FX^2}{2}}{FX},$$

P et p ayant les mêmes significations que ci-dessus.

La pression T étant produite par le poids Q placé dans le plateau K, on admettait la constance du rapport $\frac{T}{Q}$, ce qui était très-sensiblement exact, et l'on avait pour exprimer une pression quelconque T' produite par un poids Q' placé dans le plateau K :

$$T' = \frac{T}{Q} \times Q'.$$

Ces machines, légèrement modifiées, peuvent servir à mesurer les résistances à l'extension. On concevra aisément de quelle nature doivent être ces modifications.

DEUXIÈME SECTION

DÉTERMINATION DE L'ÉPAISSEUR DES MURS

Suivant la manière dont ils sont employés, les murs peuvent avoir à supporter des efforts de compression ou des poussées latérales. Quelquefois ils sont soumis à la fois à ces deux genres d'efforts.

La détermination de leur épaisseur, dans ces différents cas, a fait l'objet de recherches et de théories dont l'exposition fera l'objet de cette section.

ARTICLE PREMIER

MURS SOUMIS A DES PRESSIONS VERTICALES.

653. Considérations générales. — La plupart des murs des édifices ordinaires n'ont à subir que des pressions verticales qui tendent à les écraser sur leur base. Si l'on n'avait à craindre l'effet des tassements inégaux et des déversements qui peuvent en résulter, et si, d'un autre côté, les murs ne devaient être doués d'un certain degré de stabilité sur leur base, la solution de la question qui nous occupe serait excessivement simple. Appelant e l'épaisseur inconnue du mur, supposée uniforme dans toute son étendue, h sa hauteur, π le poids du mètre cube de maçonnerie, P la charge par mètre courant qu'il peut avoir à supporter, R'_1 la limite des charges permanentes convenant aux matériaux dont il est formé, on aurait, en faisant usage de la formule du n° 563,

$$e = \frac{\pi e h + P}{R'_1};$$

d'où :

$$e = \frac{P}{R'_1 - \pi h}.$$

Mais il est très-rare que l'épaisseur ainsi déterminée puisse suffire. On ne peut la considérer que comme une limite inférieure qu'il serait, dans tous les cas, dangereux de dépasser.

654. Règles empiriques de Rondelet. — Comme il serait impossible de soumettre au calcul les autres causes qui ont quelque influence sur l'épaisseur à assigner aux murs, on s'est trouvé forcé de recourir, pour se guider à cet égard, aux données de l'expérience.

En mesurant l'épaisseur donnée à un grand nombre de murs dans divers lieux et pour des cas de toute nature, il a été possible de déduire, de la comparaison et du classement de toutes ces observations, des règles empiriques extrêmement utiles que nous allons faire connaître.

Ces règles empiriques sont dues à Rondelet : elles comprennent à peu près tous les cas qui peuvent se présenter.

655. Murs complétement isolés. — L'épaisseur à donner aux murs complétement isolés dépend uniquement de leur hauteur. On la fait égale au huitième, au dixième ou au douxième de cette hauteur, selon qu'on veut qu'ils aient une stabilité forte, moyenne ou faible.

Cette règle suffira dans le plus grand nombre de cas ; toutefois, il faut observer que si le mur était exposé à des vents violents, il serait prudent de calculer, avant d'adopter l'épaisseur même la plus forte, s'il est capable d'y résister suffisamment.

Cette recherche ne présente aucune difficulté. Nommons *fig.* 895 :

p la pression exercée par le vent sur un mètre carré de superficie,

h la hauteur du mur AB,

π le poids de l'unité de volume de maçonnerie,

e l'épaisseur inconnue AC.

Remarquons que le mur étant dans les mêmes conditions dans toute son étendue, il suffit d'examiner ce qui aura lieu pour un mètre de longueur.

La pression du vent sur un mètre de longueur sera exprimée par ph. Elle agira avec un bras de levier égal à $\frac{1}{2}$ h pour renverser le mur en le faisant tourner autour de son arête C ; le moment de cette force sera donc $\frac{1}{2} p\text{h}^2$.

Le poids du mur sera égal à πhe, et il agira par rapport à l'arête C avec un bras de levier égal à $\frac{1}{2}$ e. Son moment sera donc exprimé par $\frac{1}{2} \pi\text{he}$.

L'équation d'équilibre

$$\frac{1}{2} p\text{h}^2 = \frac{1}{2} \pi\text{he}^2$$

donnera :

$$\text{e} = \sqrt{\frac{p\text{h}}{\pi}}.$$

Faisant, par exemple, $p = 186^{k},08$, pression produite par un vent d'ouragan, h $= 3^{m}$, $\pi = 2200^{k}$ (ce qui convient à de la maçonnerie en briques), on trouvera e $= 0^{m},50$ à peu près, tandis que la formule de Rondelet e $= \frac{1}{8}$ h, donnerait seulement e $= 0^{m},38$ environ. Nous avons fait, il est vrai, abstraction de la cohésion des mortiers, mais il est toujours prudent d'en agir ainsi.

656. Murs d'enceintes non couvertes. — On conçoit sans peine qu'un mur tout à fait isolé est placé dans les conditions les plus défavorables de résistance. Si on le combine avec un autre mur, il en recevra un soutien qui en rendra le renversement plus difficile, et sa stabilité augmentera encore s'il est relié avec un second mur placé à son autre bout. On conçoit, de plus, que l'appui que lui prêtent les deux autres sera d'autant plus grand qu'ils seront plus rapprochés, et que si la longueur du mur devenait très-grande, le bénéfice qui résulterait de cette disposition serait presque nul.

La construction graphique suivante, et la formule qui s'en déduit, tiennent très-bien compte de toutes ces circonstances.

Soit à déterminer l'épaisseur des divers murs qui forment la clôture polygonale

ABCDE (*fig.* 896) ; supposons que tous ces murs aient une hauteur uniforme représentée par A'H (*fig.* 897). Pour trouver l'épaisseur de la partie AB, portons AB de A' en B', et construisons le rectangle A'HH'B'. Tirons la diagonale HB', et portons de H en *m* un huitième, un dixième ou un douxième de la hauteur A'H, suivant que nous voulons une stabilité forte, moyenne ou faible ; finalement menons l'horizontale *mn* ; elle sera l'épaisseur cherchée. On trouverait l'épaisseur de la partie CD en portant CD de A' en D' menant HD' et opérant comme ci-dessus, *m'n'* serait l'épaisseur cherchée. On trouverait de la même manière l'épaisseur des autres parties de l'enceinte.

Cette construction graphique peut être remplacée par la formule :

$$e = \left(\frac{h}{8}, \frac{h}{10} \text{ ou } \frac{h}{12}\right) \frac{l}{\sqrt{l^2 + h^2}}$$

qu'on trouvera facilement en comparant les triangles semblables A'HB' et *m*H*n*, et dans laquelle e exprime l'épaisseur cherchée, h la hauteur au-dessus de la retraite des fondations, et *l* la longueur du côté de l'enceinte que l'on considère.

Cette formule reproduit celle relative aux murs isolés quand *l* est infiniment grand par rapport à h. Elle fait voir de plus que, pour une même hauteur, l'épaisseur du côté de l'enceinte diminue en même temps que sa longueur, et qu'elle devient égale à zéro pour le cas où l'on a $l = 0$.

Il résulte de là qu'un mur d'enceinte circulaire qu'on peut considérer comme formé d'un nombre infini de côtés infiniment petits, peut se soutenir avec une épaisseur infiniment petite.

Cette dernière conclusion, qui semble absurde au premier coup d'œil, se trouve cependant confirmée jusqu'à un certain point par l'expérience. Une feuille de papier, tournée en cylindre, se tient debout sur sa tranche, tandis qu'il serait impossible de la tenir dans la même position, déployée en ligne droite.

On peut très-bien admettre dans tous les cas que la forme circulaire est plus favorable que toute autre à la stabilité des murs d'enceinte, et qu'elle permet de leur donner le *minimum* d'épaisseur. Rondelet fixe ce *minimum* en donnant aux murs de cette espèce la même épaisseur que celle qu'on assignerait à une enceinte carrée dont le côté serait égal à la moitié du rayon de l'enceinte circulaire de même hauteur, de façon que si l'on nomme *r* ce rayon, on aura pour l'épaisseur cherchée :

$$e = \left(\frac{h}{8}, \frac{h}{10} \text{ ou } \frac{h}{12}\right) \frac{\frac{1}{2} r}{\sqrt{\frac{1}{2} r^2 + h^2}}.$$

Les épaisseurs données par les formules qui précèdent s'appliquent à toute la longueur des diverses portions de l'enceinte ; mais comme il est parfois plus avantageux de la composer d'une succession de piliers espacés les uns des autres de 3 à 4 mètres et dont l'intervalle est rempli par une maçonnerie plus légère, on pourra, dans ce cas, déterminer ainsi qu'il suit l'épaisseur des diverses parties. On considérera les piliers comme s'ils étaient totalement isolés, et on leur donnera pour côté le $\frac{1}{8}$ de la hauteur,

afin de leur assurer une forte stabilité. Quant aux murs de remplissage, on les regardera comme des murs soutenus aux deux bouts par d'autres murs, et l'on réglera leur épaisseur au moyen de la formule :

$$e = \left(\frac{h}{8}, \frac{h}{10} \text{ ou } \frac{h}{12}\right) \frac{l}{\sqrt{l^2 + h^2}},$$

dans laquelle on fera l égal à l'intervalle des piliers.

Ces prescriptions ne sont pas de Rondelet, mais elles nous paraissent se déduire naturellement des règles qu'il donne.

657. Murs de bâtiments couverts par un simple toit. — Lorsque les fermes qui composent la charpente du toit sont munies de tirants ou d'entraits qui empêchent les pieds des albalétriers de s'écarter et de pousser contre les murs, et quand les chevrons et les autres pièces sont convenablement disposés, ces charpentes, loin de nuire à la stabilité des murs, tendent au contraire à l'augmenter.

Pour déterminer l'épaisseur des murs en pareille circonstance, il y a deux cas à considérer :

1° Si ces murs sont tout à fait isolés, jusque sous le toit, portez leur hauteur de A en H (*fig.* 898), et la distance qui les sépare de A en B ; tirez la diagonale HB et portez de H vers I et de B vers K une longueur égale au $\frac{1}{12}$ de AH : les projections horizontales H*n*, B*n'* de HI et BK, sont les épaisseurs des murs longitudinaux.

A cette construction correspond la formule suivante, dans laquelle D représente la distance AB qui sépare les murs :

$$e = \frac{h}{12} \times \frac{D}{\sqrt{D^2 + h^2}},$$

On peut faire, relativement aux épaisseurs données par cette formule, une observation analogue à celle qui termine le numéro précédent. A la rigueur, l'épaisseur trouvée n'est nécessaire qu'aux parties du mur sur lesquelles posent directement les fermes de charpente, les autres ne sont en réalité que de remplissage et l'on peut y employer une moindre épaisseur de maçonnerie, ou les évider en tout ou en partie par des portes, des fenêtres ou des arcades. L'épaisseur du remplissage strictement nécessaire serait donnée par la formule $e = \left(\frac{h}{8}, \frac{h}{10} \text{ ou } \frac{h}{12}\right) \frac{l}{\sqrt{l^2 + h^2}}$, dans laquelle l exprimerait la distance qui sépare les fermes.

2° Si les murs sont contre-boutés jusqu'à une certaine hauteur par des constructions latérales (*fig.* 899, pl. XXX), portez sur HB prolongée, HI et BK égales à $\frac{1}{24}$ (AH + HH'), et prenez pour épaisseur la projection horizontale de ces grandeurs. Cette construction est représentée par la formule :

$$e = \frac{h + h'}{24} \times \frac{D}{\sqrt{D^2 + (h + h')^2}},$$

dans laquelle h' exprime la distance HH'

Rondelet ne donne pas de règle particulière pour déterminer, dans ce dernier cas, l'épaisseur des murs extérieurs RS, UV; il fait remarquer seulement que celle qu'on obtient au moyen de la règle $e = \frac{h}{12} \frac{D}{\sqrt{D^2 + h^2}}$, en y faisant $D = RU$, ne concorde pas toujours avec celles qu'il a observées dans les édifices qui lui ont servi de type. A Saint-Paul hors les murs, à Rome, cette épaisseur était plus du double de celle trouvée au moyen de la règle; mais cette sur-épaisseur était rendue nécessaire par des dispositions toutes particulières à cet édifice, et elle peut être considérée comme une limite qu'il sera très-rare de voir dépasser.

Rondelet ne donne pas non plus de règle pour déterminer l'épaisseur des murs de pignon dans ces sortes d'édifices; mais il est évident qu'elle doit l'être d'après des considérations analogues à celles sur lesquelles repose la détermination de l'épaisseur des diverses portions d'une enceinte non couverte, c'est-à-dire qu'elle sera la même que celle des murs longitudinaux, si la longueur des pignons est égale à celle de ces murs, et qu'elle sera augmentée ou diminuée dans une certaine proportion, si elle est plus longue ou plus courte.

Pour faire cette proportion, la même que pour les murs de clôture, il n'y aura qu'à tracer (*fig.* 897) le rectangle A'HH'B', qui est l'élévation du mur longitudinal, tirer ensuite la diagonale HB', puis chercher le point de rencontre de cette diagonale avec une horizontale *mn*, ayant une longueur égale à celle de l'épaisseur trouvée pour ce mur au moyen des formules précédentes; on tracera avec H*m* pour rayon un quart de cercle, on portera à partir de A' sur la ligne A'B' prolongée, si c'est nécessaire, la longueur de pignon, puis on joindra le point H avec le nouveau point déterminé. De cette façon, la projection horizontale de la portion de cette dernière diagonale, comprise entre H et le quart de cercle, sera l'épaisseur cherchée.

Nous n'avons pas besoin d'ailleurs de faire observer que si, contrairement à ce qui se fait d'habitude, les pignons n'étaient pas reliés à la toiture par des ancrages, ou ne s'élevaient pas jusqu'à la rencontre du toit, ils ne recevraient aucun soutien de cette construction, et que leur épaisseur se déterminerait simplement comme s'ils appartenaient à une enceinte non couverte.

658. Murs des maisons d'habitation. — Dans les constructions de cette espèce, il y a à considérer les murs extérieurs, qui ne sont maintenus que d'un côté par les planchers, et les murs intérieurs, qui sont maintenus de part et d'autre.

Pour un corps de logis simple (*fig.* 900,) c'est-à-dire, dont les pièces occupent toute la profondeur de l'édifice, on obtiendra l'épaisseur des murs de façade AB, CD en ajoutant à la distance $AC = D$, qui les sépare, la moitié de leur hauteur $AH = h$; le $\frac{1}{24}$ de cette somme donnera l'épaisseur cherchée. Cette règle peut être exprimée par la formule :

$$e = \frac{D + \frac{h}{2}}{24},$$

Il faut observer cependant que l'épaisseur ainsi déterminée ne convient, suivant

Rondelet, que pour une construction légère. Pour une construction de force moyenne, il faut l'augmenter de $0^m,027$, et pour une construction solide, de $0^m,054$.

Pour un corps de logis double (*fig.* 901), c'est-à-dire, divisé en deux par un mur de cloison, parallèlement aux murs de face, on obtient l'épaisseur de ces derniers en ajoutant à la distance $AC = D'$ qui les sépare, la hauteur $AH = h'$, et en prenant le $\frac{1}{48}$ de cette somme, ce qui donne la formule :

$$e = \frac{D' + h'}{48}.$$

Pour les corps de logis doubles, aussi bien que pour les maisons simples, l'épaisseur des murs de cloisons ou de refend se détermine en ajoutant à la longueur de l'espace qu'ils divisent la hauteur qui sépare le pavé du rez-de-chaussée, du plancher du premier étage, et en prenant le $\frac{1}{36}$ de cette somme ; règle qu'on peut traduire par la formule :

$$e = \frac{D'' + h''}{36}.$$

Supposons qu'il s'agisse du mur EF (*fig.* 900), on fera $D'' = AG$, et $h'' = Ah$; pour le mur GE (*fig.* 901), on ferait $D'' = AC$ et $h'' = Ah'$, et ainsi de suite.

Cette règle pourra également servir pour déterminer l'épaisseur des murs mitoyens.

Il faut observer que l'épaisseur trouvée au moyen de la formule précédente ne convient qu'au mur dont la hauteur ne dépasserait pas celle du premier étage. Lorsqu'il s'étend au delà, Rondelet prescrit d'ajouter à l'épaisseur trouvée autant de fois $0^m,014$ qu'il y a d'étages au-dessus du rez-de-chaussée. Représentant par n le nombre d'étages, l'épaisseur sera donc donnée, en général, par la formule :

$$e = \frac{D'' + h''}{36} + n\,(0^m,014).$$

Enfin, il faut encore noter que la quantité n $(0^m,014)$ devra être doublée, si au lieu d'employer de bonne maçonnerie en pierres ou en briques, on fait usage de moellons très-tendres ou de briques mal cuites.

Quand les murs intérieurs sont remplacés par des cloisons légères en pans de bois, ou formées d'un bâti en charpente, dont les cases sont remplies de maçonnerie, il suffit de leur donner la moitié et même le quart de l'épaisseur trouvée au moyen de la formule ci-dessus.

659. Observation. — Les épaisseurs trouvées au moyen des diverses règles que nous venons de rapporter doivent souvent être modifiées légèrement en plus ou en moins, lorsqu'on emploie la maçonnerie en briques, dont les dimensions sont données. Il faut observer à cet égard que l'augmentation d'épaisseur des murs en briques se fait toujours par demi-brique panneresse, et qu'ainsi il faut prendre, parmi les épaisseurs 1, $1\frac{1}{2}$, 2, $2\frac{1}{2}$, 3, $3\frac{1}{2}$ briques et ainsi de suite, celle qui se rapproche le plus de l'épaisseur donnée par la formule.

ARTICLE II.

MURS SOUMIS A DES POUSSÉES HORIZONTALES OU OBLIQUES.

I. — MURS SOUTENANT DES CHARPENTES SANS ENTRAIT.

660. Détermination de l'épaisseur théorique. — Lorsque la grandeur des poussées, leur direction et leurs points d'application sont connus, la détermination de l'épaisseur des murs n'offre aucune difficulté. Nous en avons déjà donné un exemple au n° 655, en considérant un mur isolé soumis à la pression du vent. Le cas suivant se traite avec tout autant de facilité.

Soit à déterminer l'épaisseur de deux murs, supportant une charpente formée de fermes sans entrait.

Chacune de ces fermes exerce, par le pied et contre chaque mur, une poussée horizontale, dont la grandeur dépend de la charge du toit et de sa répartition sur les arbalétriers. Nous avons indiqué aux n^{os} 617 et 625 comment on estimait cette poussée dans les différents cas. Représentons-la par Q et nommons (*fig.* 902) :

h la hauteur AB ;

H la hauteur A'C ;

e l'épaisseur de la maçonnerie de C en B' ;

x l'épaisseur du mur à la base ;

Π le poids de l'unité de volume de la maçonnerie ;

n le nombre de fermes ;

L la longueur du mur ;

P le poids total de la toiture.

La poussée des fermes tend à culbuter le mur autour de l'arête extérieure A'. Le poids de la toiture et celui du mur lui-même tendent à empêcher ce mouvement. Le moment de la poussée des fermes par rapport à l'arête A' est n Qh. Le moment de la pression verticale qu'exerce sur chaque mur le poids de la toiture est $\frac{P}{2}e$. En supposant que ce poids agisse en B', le moment du poids du mur est :

$$\frac{\Pi x^2}{2} hL + \frac{\Pi e^2}{2} (H - h) L.$$

L'équation d'équilibre est d'après cela :

$$nQh = \frac{P}{2} e + \left(\frac{x^2 h}{2} + \frac{e^2}{2} (H - h) \right) \Pi L. \quad \ldots\ldots\ldots (A)$$

En supposant e connu, on en tire :

$$x = \sqrt{\frac{2nQh - Pe - e^2(H - h)\Pi L.}{h\Pi L.}}$$

661. Détermination de l'épaisseur pratique. — L'épaisseur fournie par l'équation précédente est celle qui convient à l'*équilibre strict* et à l'hypothèse d'un mur parfaitement construit, et dont le mortier a pris suffisamment de consistance et d'adhérence avec les autres matériaux, pour qu'on puisse supposer qu'il résistera comme s'il était d'une seule pièce.

Comme il n'est pas prudent de compter sur une pareille résistance, il convient de la réduire dans une certaine proportion. L'expérience indique que pour de bonne maçonnerie, il ne faut pas compter sur plus des $\frac{3}{4}$; elle indique, de plus, que pour se mettre au-dessus des effets des surcharges accidentelles, comme celle que produirait une chute de neige par exemple, et des chocs comme ceux que le vent peut occasionner, il est nécessaire de tripler le moment de la poussée.

D'après ces remarques, l'équation (A) du numéro précédent doit être écrite :

$$3n\mathrm{Qh} = \frac{\mathrm{P}e}{2} + \frac{3}{4}\left(\frac{x^2\mathrm{h}}{2} + \frac{e^2}{2}(\mathrm{H}-\mathrm{h})\right)\mathrm{HL};$$

et l'on en tire :

$$x = \sqrt{\frac{8n\mathrm{Qh} - \frac{3}{4}\mathrm{P}e - e^2(\mathrm{H}-\mathrm{h})\mathrm{HL}}{h\mathrm{HL}}}$$

Faisons par exemple :

$n = 18$, $\mathrm{P} = 158400^{k}$, $\mathrm{L} = 57^{m}$, $\mathrm{h} = 3^{m}$, $\mathrm{H} = 10^{m},30$, $e = 0^{m},60$, $\mathrm{H} = 2000^{k}$,

on trouvera (626) : $\mathrm{Q} = 0,22$, $\mathrm{P} = 34848^{k}$, et $x = 1^{m},17$ environ.

Ces données conviennent au hangar de Marac dont il est question dans l'ouvrage du colonel Émy, tome II, page 190. Le constructeur a fait $x = 1^{m},20$.

Il est bien entendu que s'il existait des vides dans les murs, il faudrait en tenir compte.

Nous avons supposé d'ailleurs que l'on prendrait garde de disposer la charpente de façon que ses parties situées vers les reins ne puissent porter en aucune manière contre le mur ; nous avons indiqué au n° 626 ce qu'il y avait à faire pour cela.

II. — MURS DE TERRASSE ET DE REVÊTEMENT.

662. L'épaisseur des murs qui ont à soutenir des terres coupées à pic ou sous des talus très-roides se détermine par des procédés tout à fait semblables aux précédents, quand la grandeur de la poussée, sa direction et son point d'application sont connus.

Mais la détermination de ces données, indispensables à la solution de la question, repose sur une théorie qui a longtemps exercé la sagacité des constructeurs et des géomètres et que nous allons exposer.

THÉORIE ANALYTIQUE DE LA POUSSÉE DES TERRES.

663. On sait que quand on coupe verticalement un massif de terre, il ne tarde pas à s'en détacher un prisme à base triangulaire, qui tombe au pied de l'excavation.

Ce phénomène est connu sous le nom d'*éboulement*, et le prisme détaché sous celui de *prisme d'éboulement*.

Ordinairement la chute du premier prisme d'éboulement est suivie de celle de plusieurs autres de plus en plus petits, jusqu'à ce que la terre ait atteint un certain talus sous lequel elle peut se maintenir indéfiniment, et que pour cette raison, on a nommé son *talus naturel*.

Quelle est la grandeur de la force qu'il faudrait appliquer contre une paroi plane soutenant un massif de terre pour empêcher toute espèce d'éboulement, ou, en d'autres termes, quelle est la plus grande force de *poussée* résultant de la tendance des terres à s'ébouler ? Telle est la question qu'il s'agit de résoudre.

Si la position du talus d'éboulement par rapport à l'horizon ou au plan de la paroi de soutènement était connue, la chose serait extrêmement simple. Il n'y aurait qu'à décomposer le poids du prisme qui tend à s'ébouler, perpendiculairement et parallèlement au talus d'éboulement, et cette dernière composante, déduction faite des résistances dues au frottement et à la cohésion des terres, donnerait évidemment la grandeur de la force cherchée.

A la première vue, il semblerait que puisque les terres ne prennent leur état d'équilibre lorsqu'elles sont complétement abandonnées à elles-mêmes, que quand elles ont atteint leur talus naturel, tout le prisme situé au-dessus de ce talus est celui dont la tendance à s'ébouler occasionnera la plus grande poussée.

D'après cela, il suffirait, pour résoudre la question, de déterminer par expérience l'angle avec l'horizon du talus naturel des terres de diverses espèces.

C'est de cette façon qu'avaient en effet procédé les anciens géomètres ; mais en y réfléchissant bien et en tenant compte du jeu de toutes les résistances, on peut aisément se convaincre, ainsi que l'a montré Colomb, que cette appréciation porte sur une base erronée.

Le phénomène de l'éboulement, tel que nous l'avons décrit plus haut, indique déjà suffisamment par lui-même que le prisme limité par le talus naturel n'est pas celui qui a le plus de tendance à s'ébouler. Les raisonnements suivants feront clairement voir qu'il n'est pas non plus celui qui occasionnerait la plus forte poussée.

664. Détermination du prisme de la plus grande poussée. — Considérons (*fig.*903) un prisme quelconque ABX, limité à l'intérieur de la masse de terre par le plan AX, faisant, avec la paroi plane AB qui s'oppose à l'éboulement, un angle ω.

Nommons :

Q le poids de ce prisme ;

ε l'angle que forme avec la verticale AC, la paroi résistante ;

α l'angle avec la verticale du talus naturel des terres dont la trace est AD ;

f le coefficient de frottement, ou le rapport du frottement à la pression pour l'espèce de terre que l'on considère ;

γ le coefficient de la cohésion, ou la force nécessaire pour rompre la terre par disjonction rapportée à l'unité de la surface ;

P la force égale à la poussée qu'il faut appliquer perpendiculairement à la paroi pour empêcher l'éboulement.

Supposons d'ailleurs la masse de terre homogène dans toute son étendue.

Décomposons le poids Q du prisme ABX parallèlement et perpendiculairement au plan AX.

La composante parallèle sera exprimée par $Q \cos(\omega - \varepsilon)$, et la composante normale par $Q \sin(\omega - \varepsilon)$.

Décomposons de la même manière la force P, on aura :

$P \sin \omega$ pour la composante parallèle au plan AX, et $P \cos \omega$ pour la composante normale au même plan.

La composante $Q \cos(\omega - \varepsilon)$ tend seule à faire glisser le prisme sur le talus AX.

La composante $P \sin \omega$ agit directement en sens contraire, et quand aux composantes normales $Q \sin(\omega - \varepsilon)$, $P \cos \omega$, elles engendrent sur le plan AX un frottement égal à $f[Q \sin(\omega - \varepsilon) + P \cos \omega]$ qui agit dans le même sens que $P \sin \omega$.

Remarquons enfin que la force de cohésion suivant AX est exprimée par γAX, et qu'elle agit aussi dans le même sens que $P \sin \omega$.

D'après cela, on pourra poser l'équation d'équilibre :

$$Q \cos(\omega - \varepsilon) = P \sin \omega + f[P \cos \omega + Q \sin(\omega - \varepsilon)] + \gamma AX,$$

et l'on en tire :

$$P = \frac{Q[\cos(\omega - \varepsilon) - f \sin(\omega - \varepsilon)] - \gamma AX}{\sin \omega + f \cos \omega} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(A)}.$$

Cette égalité fait voir que la valeur de P dépend de l'angle ω, et qu'il doit y avoir une certaine valeur de cet angle qui rend P *maximum*. En déterminant cette valeur de ω par les méthodes connues, on trouvera qu'elle s'éloigne beaucoup de celle de l'angle du talus naturel des terres avec la paroi intérieure du mur.

Pour trouver la valeur de ω qui jouit de la propriété de rendre P *maximum*, il n'y a, comme on le sait, qu'à différencier l'expression (A) par rapport à ω, et égaler le coefficient différentiel $\frac{dP}{d\omega}$ à zéro ; on obtiendra ainsi une équation qui permettra de tirer la valeur cherchée en fonction de quantités connues.

Avant de procéder à la différenciation, exprimons en fonction de l'angle ω les quantités Q et AX, qui en dépendent évidemment, et pour cela nommons :

δ le poids de l'unité du volume de la terre ;

h la hauteur du triangle AXB ou de la verticale AC ;

Q sera égal, pour l'unité de longueur, à surf AXB $\times \delta$, ou à :

$$\frac{\delta h^2}{2}\left[\text{tang}(\omega - \varepsilon) + \text{tang}\,\varepsilon\right].$$

$$AX = \frac{h}{\cos(\omega - \varepsilon)}.$$

D'après cela, l'équation (A) devient :

$$P = \frac{\frac{\delta h^2}{2}\left\{\text{tang}\,(\omega-\varepsilon)+\text{tang}\,\varepsilon\right\}\left\{\cos(\omega-\varepsilon)-f\sin(\omega-\varepsilon)\right\}-\frac{\gamma h}{\cos(\omega-\varepsilon)}}{\sin\omega+f\cos\omega} \quad \text{(B)}.$$

Afin d'obtenir, si c'est possible, une relation entre ω et l'angle α du talus naturel des terres, introduisons cette dernière quantité dans l'expression (B), et à cet effet remarquons que, quand les terres ont pris leur talus naturel, il y a équilibre, sur le plan incliné, entre le poids d'une particule de terre qui tend à la faire descendre, et le frottement qui tend à la retenir.

Soit p le poids de cette particule : décomposons-le parallèlement et perpendiculairement au talus AD. La composante parallèle, équilibrée par la résistance due au frottement, est $p\cos\alpha$; la composante normale ou la pression exercée sur le plan AD est $p\sin\alpha$. D'après cela, le rapport du frottement à la pression est égal à :

$$\frac{p\cos\alpha}{p\sin\alpha}, \text{ d'où } f = \cot\alpha$$

Remplaçant donc f par cotg α dans l'équation (B) il vient :

$$P = \frac{\frac{\delta h^2}{2}\left\{\text{tang}\,(\omega-\varepsilon)+\text{tang}\,\varepsilon\right\}\left\{\cos(\omega-\varepsilon-\frac{\cos\alpha}{\sin\alpha}\sin(\omega-\varepsilon)\right\}-\frac{\gamma h}{\cos(\omega-\varepsilon)}}{\sin\omega+\frac{\cos\alpha}{\sin\alpha}\cos\omega}.$$

Pour mettre cette équation sous une forme plus commode à la différenciation, réduisons d'abord tout au même dénominateur et multiplions haut et bas par $\sin\alpha$, il vient :

$$P = \frac{\frac{\delta h^2}{2}\left\{\text{tang}\,(\omega-\varepsilon)+\text{tang}\,\varepsilon\right\}\left\{\cos(\omega-\varepsilon)\sin\alpha-\cos\alpha\times\sin(\omega-\varepsilon)\right\}-\frac{\gamma h\sin\alpha}{\cos(\omega-\varepsilon)}}{\sin\omega\sin\alpha+\cos\omega\cos\alpha}$$

qu'on peut écrire :

$$P = \frac{\frac{\delta h^2}{2}\left\{\text{tang}\,(\omega-\varepsilon)+\text{tang}\,\varepsilon\right\}\left\{\sin(\alpha-\omega+\varepsilon)\right\}-\frac{\gamma h\sin\alpha}{\cos(\omega-\varepsilon)}}{\cos(\alpha-\omega)}$$

ou bien :

$$P = \frac{\delta h^2}{2}\left\{\text{tang}\,(\omega-\varepsilon)+\text{tang}\,\varepsilon\right\}\left\{\frac{\sin[(\alpha-\omega)+\varepsilon]}{\cos(\alpha-\omega)}\right\}-\frac{\gamma h\sin\alpha}{\cos(\omega-\varepsilon)\cos(\alpha-\omega)};$$

ou bien encore :

$$P = \frac{\delta h^2}{2}\left\{\text{tang}\,(\omega-\varepsilon)+\text{tang}\,\varepsilon\right\}\left\{\text{tang}\,(\alpha-\omega)\cos\varepsilon+\sin\varepsilon\right\}-\frac{\gamma h\sin\alpha}{\cos(\omega-\varepsilon)\cos(\alpha-\omega)}$$

ou bien enfin, en mettant dans le premier terme $\cos\varepsilon$ en facteur commun :

$$P = \frac{\delta h^2}{2}\left\{\text{tang}\,(\omega-\varepsilon)+\text{tang}\,\varepsilon\right\}\left\{\text{tang}\,(\alpha-\omega)+\text{tang}\,\varepsilon\right\}\cos\varepsilon-\frac{\gamma h\sin\alpha}{\cos(\omega-\varepsilon)\cos(\alpha-\omega)}.$$

Effectuant les opérations indiquées et supprimant les termes indépendants de ω qui disparaissent dans la différenciation, il vient :

$$P = \frac{\delta h^2}{2}\left\{\operatorname{tang}(\omega-\varepsilon)\operatorname{tang}(\alpha-\omega)+\operatorname{tang}(\alpha-\omega)\operatorname{tang}\varepsilon+\operatorname{tang}(\omega-\varepsilon)\operatorname{tang}\varepsilon\right\}\cos\varepsilon$$

$$-\frac{\gamma h \sin\alpha}{\cos(\omega-\varepsilon)\cos(\alpha-\omega)}.$$

Différenciant et égalant à zéro le coefficient différentiel $\frac{dP}{d\omega}$, il vient :

$$\frac{dP}{d\omega}=0=\frac{\delta h^2}{2}\left\{\frac{\operatorname{tang}(\alpha-\omega)}{\cos^2(\omega-\varepsilon)}-\frac{\operatorname{tang}(\omega-\varepsilon)}{\cos^2(\alpha-\omega)}+\frac{\operatorname{tang}\varepsilon}{\cos^2(\omega-\varepsilon)}-\frac{\operatorname{tang}\varepsilon}{\cos^2(\alpha-\omega)}\right\}\cos\varepsilon$$

$$+\gamma h\sin\alpha\,\frac{\left\{-\sin(\omega-\varepsilon)\cos(\alpha-\omega)+\cos(\omega-\varepsilon)\sin(\alpha-\omega)\right\}}{\cos^2(\omega-\varepsilon)\cos^2(\alpha-\omega)}.$$

Cette condition sera visiblement satisfaite, si l'on fait $\alpha-\omega=\omega-\varepsilon$, car alors tous les termes des facteurs entre parenthèses se détruiront.

On en tirera :

$$2\omega=\alpha+\varepsilon;\quad \omega=\frac{\alpha+\varepsilon}{2}.$$

Ainsi, *l'angle du talus du prisme de plus grande poussée est égal à la moitié de l'angle du talus naturel avec la paroi intérieure du mur.*

Ce beau théorème a été démontré la première fois par M. de Prony, mais pour le cas d'une paroi verticale seulement ; il a été étendu au cas que nous avons examiné, par M. Français, dans un mémoire inséré au *Mémorial de l'officier du Génie.*

665. Expression de la poussée maximum. — Maintenant, si l'on remplace dans l'expression de P, ω par la valeur $\frac{\alpha+\varepsilon}{2}$, l'on aura pour l'expression de la poussée *maximum* que nous représentons par P_m :

$$P_m=\frac{\delta h^2}{2}\left\{\operatorname{tang}\frac{(\alpha-\varepsilon)}{2}+\operatorname{tang}\varepsilon\right\}\left\{\operatorname{tang}\frac{(\alpha-\varepsilon)}{2}+\operatorname{tang}\varepsilon\right\}\cos\varepsilon$$

$$-\frac{\gamma h\sin\alpha}{\cos\frac{(\alpha-\varepsilon)}{2}\cos\frac{(\alpha-\varepsilon)}{2}},$$

ou :

$$P_m=\frac{\delta h^2}{2}\left\{\operatorname{tang}\tfrac{1}{2}(\alpha-\varepsilon)+\operatorname{tang}\varepsilon\right\}^2\cos\varepsilon-\frac{\gamma h\sin\alpha}{\cos^2\frac{1}{2}(\alpha-\varepsilon)}.$$

Si la paroi était inclinée vers l'intérieur des terres, il suffirait de changer le signe de l'angle ε, et l'on aurait :

$$P_m=\frac{\delta h^2}{2}\left\{\operatorname{tang}\tfrac{1}{2}(\alpha+\varepsilon)-\operatorname{tang}\varepsilon\right\}^2\cos\varepsilon-\frac{\gamma h\sin\alpha}{\cos^2\frac{1}{2}(\alpha-\varepsilon)}.$$

Si elle était verticale, on aurait $\varepsilon=0$, et

$$P_m=\frac{\delta h^2}{2}\times\operatorname{tang}^2\tfrac{1}{2}\alpha-\frac{\gamma h\sin\alpha}{\cos^2\frac{1}{2}\alpha}.$$

Tout est connu dans ces formules, à l'exception de γ, qu'on peut déterminer ainsi qu'il suit.

On sait que si toutes les terres s'éboulent, lorsqu'on les entaille plus ou moins profondément, sous un talus plus roide que le talus naturel, un grand nombre peuvent cependant se tenir de cette manière sur une certaine hauteur. Nommons h' la hauteur limite passé laquelle l'éboulement a lieu ; il est visible que pour cette hauteur la poussée est nulle, et comme les équations précédentes conviennent à une hauteur quelconque, on pourra poser en général, en supposant ε positif ou négatif,

$$0 = \frac{\delta h'^2}{2}\left\{\operatorname{tang}\tfrac{1}{2}(\alpha \mp \varepsilon) \pm \operatorname{tang}\varepsilon\right\}^2 \cos\varepsilon - \frac{\gamma h' \sin\alpha}{\cos^2\frac{1}{2}(\alpha \mp \varepsilon)}.$$

On en tirera :

$$\gamma = \frac{\delta h'}{2\sin\alpha}\left\{\operatorname{tang}\tfrac{1}{2}(\alpha \mp \varepsilon) + \operatorname{tang}\varepsilon\right\}^2 \cos\varepsilon \times \cos^2\tfrac{1}{2}(\alpha \mp \varepsilon).$$

Si la paroi est verticale, on aura simplement :

$$\gamma = \frac{\delta h'}{2\sin\alpha} \times \operatorname{tang}^2\tfrac{1}{2}\alpha \times \cos^2\tfrac{1}{2}\alpha = \frac{\delta h'}{2\sin\alpha} \times \sin^2\tfrac{1}{2}\alpha$$

$$\gamma = \frac{\delta h'}{4}\operatorname{tang}\tfrac{1}{2}\alpha.$$

L'expression de la poussée devient, par la substitution de ces valeurs :

1° Dans le cas où la paroi est inclinée du dedans en dehors,

$$P_m = \frac{\delta h}{2}(h - h')\left\{\operatorname{tang}\tfrac{1}{2}(\alpha - \varepsilon) + \operatorname{tang}\varepsilon\right\}^2 \cos\varepsilon ;$$

2° Quand la paroi est inclinée du dehors en dedans,

$$P_m = \frac{\delta h}{2}(h - h')\left\{\operatorname{tang}\tfrac{1}{2}(\alpha + \varepsilon) - \operatorname{tang}\varepsilon\right\}^2 \cos\varepsilon ;$$

3° Quand la paroi est verticale,

$$P_m = \frac{\delta h}{2}(h - h')\operatorname{tang}^2\tfrac{1}{2}\alpha,$$

h' étant la plus grande hauteur, sous laquelle on peut couper la terre suivant l'angle $\mp\varepsilon$ ou suivant la verticale (selon le cas), sans qu'elle s'éboule.

666. Expression du moment de la poussée maximum autour de l'arête de rotation. — Si l'on veut faire usage de cette donnée pour résoudre la question de l'épaisseur à assigner à un mur de terrasse ou de revêtement, il faudra, comme précédemment, égaler le moment de la poussée pris par rapport à l'arête extérieure de la base du mur autour de laquelle elle tend à le renverser, au moment du poids de ce mur, pris par rapport à la même arête.

Pour trouver le moment de la poussée, remarquons que l'on a pour une hauteur quelconque z comptée à partir de DB :

$$P_m = \frac{\delta z}{2}(z - h') \left\{ \operatorname{tang} \tfrac{1}{2}(\alpha \mp \varepsilon) \pm \operatorname{tang} \varepsilon \right\}^2 \cos \varepsilon.$$

En différenciant, on aura pour la poussée d'un élément dz du prisme ABX :

$$dP_m = \frac{\delta}{2} \operatorname{tang} \tfrac{1}{2}(\alpha \mp \varepsilon) \pm \operatorname{tang} \varepsilon \left\}^2 \right\{ 2z - h' \left\} dz \cos \varepsilon.$$

Multipliant cette poussée élémentaire par la perpendiculaire FH abaissée du pied extérieur du mur sur la direction de la poussée, on aura son moment ; observant d'ailleurs que

$$FH = AK \mp AI = \frac{h - z}{\cos \varepsilon} \mp x \sin \varepsilon, \qquad (1)$$

x étant l'épaisseur AF du mur.

Le moment de la poussée élémentaire sera :

$$dP_m \times FH = \left\{ \frac{\delta}{2} [\operatorname{tang} \tfrac{1}{2}(\alpha \mp \varepsilon) \pm \operatorname{tang} \varepsilon]^2 (2z - h') dz \cos \varepsilon \right\} \left\{ \frac{h - z}{\cos \varepsilon} \mp \sin \varepsilon \right\}.$$

En intégrant cette quantité entre les limites $z = 0$ et $z = h$, on aura pour le moment total de la poussée exercée contre le mur, moment que nous représentons par M :

$$M = \frac{\delta}{2} \left\{ \operatorname{tang} \tfrac{1}{2}(\alpha \mp \varepsilon) \pm \operatorname{tang} \varepsilon \right\}^2 \left\{ h^2 \left(\frac{h}{3} - \frac{h'}{2} \right) \pm h (h - h') x \sin \varepsilon \cos \varepsilon \right\}.$$

667. Expression du moment du poids du mur autour de l'arête de rotation. — Il ne s'agit plus actuellement que de déterminer le moment du poids du mur par rapport à l'arête de rotation. Supposons, pour plus de généralité, que le mur soit à parements inclinés aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur.

Nommons :

Δ le poids de l'unité de volume de la maçonnerie, supposée homogène ;

x l'épaisseur AF du mur, à la base ;

n l'angle du talus extérieur avec la verticale ;

$\pm \varepsilon$ celui du talus intérieur, comme nous l'avons admis précédemment ;

H la hauteur verticale AC′ du mur.

Le moment du poids du mur, pris par rapport à l'arête F, sera égal au moment du prisme rectangulaire AC′GF, diminué de ceux des prismes triangulaires C′AB′, EFG.

Le moment du premier sur l'unité de longueur est $\frac{Hx^2\Delta}{2}$; le moment du prisme C′AB′ est $\frac{H^2 \operatorname{tang} \varepsilon \Delta}{2}(x \mp \frac{1}{3} H \operatorname{tang} \varepsilon)$; le moment du prisme EFG est $\frac{H^3 \operatorname{tang}^2 n \Delta}{6}$.

---

(1) Le signe — est relatif au cas représenté par la fig. 903, où le parement intérieur est incliné de dedans en dehors, et le signe + à celui où ce parement serait incliné en sens inverse.

Le moment du poids du mur est donc :

$$\frac{Hx^2\Delta}{2} \mp \frac{H^2 \operatorname{tang} \varepsilon \Delta}{3} \left(x \mp \tfrac{1}{3} H \operatorname{tang} \varepsilon\right) - \frac{H^3 \operatorname{tang}^2 n \Delta}{6},$$

ou en réduisant,

$$\frac{\Delta H}{2}\left[x^2 \mp H \times x \times \operatorname{tang} \varepsilon + \frac{H^2}{3}(\operatorname{tang}^2 \varepsilon - \operatorname{tang}^2 n)\right].$$

668. Équation d'équilibre et détermination de l'épaisseur théorique du mur à la base. — Égalant le moment du poids du mur au moment de la poussée des terres M (666), il vient pour déterminer x :

$$\frac{\Delta H}{2}\left\{x^2 \mp Hx \operatorname{tang} \varepsilon + \frac{H^2}{3}(\operatorname{tang}^2 \varepsilon - \operatorname{tang}^2 n)\right\}$$

$$= \frac{\delta}{2}\left\{\operatorname{tang} \tfrac{1}{2}(\alpha \mp \varepsilon) \pm \operatorname{tang} \varepsilon\right\}^2 \left\{h^2\left(\frac{h}{3} - \frac{h'}{2}\right) \mp h(h - h')x \sin \varepsilon \cos \varepsilon\right\}, \quad (A)$$

équation complète du second degré qu'on peut mettre sous la forme

$$x^2 + x\left(\mp H \operatorname{tang} \varepsilon \pm \frac{\delta}{\Delta H}\left\{\operatorname{tang} \tfrac{1}{2}(\alpha \mp \varepsilon) \pm \operatorname{tang} \varepsilon\right\}^2 \left\{h(h - h') \sin \varepsilon \cos \varepsilon\right\}\right)$$

$$= \frac{\delta}{3\Delta H}\left\{\operatorname{tang} \tfrac{1}{2}(\alpha \mp \varepsilon) \pm \operatorname{tang} \varepsilon\right\}^2 \left\{h^2(h - \tfrac{3}{2}h')\right\} - \frac{H^3}{3} \operatorname{tang}^2 \varepsilon - \operatorname{tang}^2 n),$$

expression d'où l'on tire :

$$x = \pm \tfrac{1}{2}\left[H \operatorname{tang} \varepsilon - \frac{\delta}{\Delta H}\left\{\operatorname{tang} \tfrac{1}{2}(\alpha \mp \varepsilon) \pm \operatorname{tang} \varepsilon\right\}^2 \left\{h(h - h') \sin \varepsilon \cos \varepsilon\right\}\right]$$

$$+ \sqrt{\left(\tfrac{1}{4}\left[H \operatorname{tang} \varepsilon - \frac{\delta}{\Delta H}\left\{\operatorname{tang} \tfrac{1}{2}(\alpha \mp \varepsilon) \pm \operatorname{tang} \varepsilon\right\}^2 \left\{h(h - h') \sin \varepsilon \cos \varepsilon\right\}\right]^2\right.}$$

$$\left. + \frac{\delta}{3\Delta H} \operatorname{tang} \tfrac{1}{2}(\alpha \mp \varepsilon) \pm \operatorname{tang} \varepsilon\right\}^2 \left\{h^2(h - \tfrac{3}{2}h')\right\} - \frac{H^2}{2}(\operatorname{tang}^2 \varepsilon - \operatorname{tang}^2 n)\Big)\Big]. \quad (B)$$

Cette expression est assez compliquée, mais elle est aussi très-générale. En simplifiant les données de la question, elle prend une forme beaucoup plus simple :

1° *Quand la paroi intérieure du mur est verticale et la paroi extérieure inclinée*, ce qui est le cas le plus fréquent, on a $\varepsilon = 0$, $\operatorname{tang} \varepsilon = 0$, $\sin \varepsilon = 0$, et l'expression précédente se réduit à :

$$x = \sqrt{\frac{\delta}{3\Delta} \frac{h^2}{H}(h - \tfrac{3}{2}h') \operatorname{tang}^2 \tfrac{1}{2}\alpha + \tfrac{1}{2} H^2 \operatorname{tang}^2 n} \ldots\ldots\ldots \quad (C)$$

2° *Quand les deux parois sont verticales*, on a à la fois $\varepsilon = 0$, $n = 0$, et il vient :

$$x = \operatorname{tang} \tfrac{1}{2}\alpha \times h \sqrt{\frac{\delta}{3\Delta H} \times (h - \tfrac{1}{3}h')} \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (D)$$

Si l'on ne tient pas compte de la cohésion des terres, tous les termes affectés de h' disparaissent dans les formules précédentes et elles deviennent :

3° *Quand les deux parements du mur sont inclinés*

$$x = \pm\tfrac{1}{2}\left[\mathrm{H}\,\mathrm{tang}\,\varepsilon - \frac{\delta h^2}{\Delta \mathrm{H}}\left\{\mathrm{tang}\,\tfrac{1}{2}(\alpha \mp \varepsilon) \pm \mathrm{tang}\,\varepsilon\right\}^2 \sin\varepsilon\cos\varepsilon\right]$$
$$+ \sqrt{\left(\tfrac{1}{4}\left[\mathrm{H}\,\mathrm{tang}\,\varepsilon - \frac{\delta h^2}{\Delta \mathrm{H}}\left\{\mathrm{tang}\,\tfrac{1}{2}(\alpha \mp \varepsilon) \pm \mathrm{tang}\,\varepsilon\right\}^2 \sin\varepsilon\cos\varepsilon\right]^2 + \frac{\delta h^3}{3\Delta \mathrm{H}}\left\{\mathrm{tang}\,\tfrac{1}{2}(\alpha \mp \varepsilon) \pm \mathrm{tang}\,\varepsilon\right\}^2 - \frac{\mathrm{H}^2}{3}(\mathrm{tang}^2\,\varepsilon - \mathrm{tang}^2 n)\right)} \quad \ldots\ldots\ (\mathrm{E})$$

4° *Quand la paroi extérieure seule est inclinée, l'autre étant verticale*

$$x = \sqrt{\frac{\delta}{3\Delta}\frac{h^3}{H}\,\mathrm{tang}^2\,\tfrac{1}{2}\alpha + \tfrac{1}{3}\mathrm{H}^2\,\mathrm{tang}^2 n} \quad \ldots\ldots\ (\mathrm{F})$$

5° Enfin *quand les deux parements du mur sont verticaux*

$$x = \mathrm{tang}\,\tfrac{1}{2}\alpha \times h\sqrt{\frac{\delta}{3\Delta} \times \frac{h}{H}} \quad \ldots\ldots\ (\mathrm{G})$$

Supposons :

Le poids moyen du mètre cube de terre ou δ = 1500 kilogrammes.

— — de maçonnerie ou Δ = 2200 —

L'angle moyen du talus naturel des terres ou α = 45°

Les deux dernières formules, qui sont celles dont on fait le plus fréquemment usage, deviennent respectivement :

$$x = \sqrt{0{,}0374\frac{h^3}{H} + 0{,}33\mathrm{H}^2\,\mathrm{tang}^2 n} \quad \ldots\ldots\ (\mathrm{H})$$

$$x = 0{,}192h\sqrt{\frac{h}{H}} \quad \ldots\ldots\ (\mathrm{I})$$

669. Détermination de l'épaisseur pratique. — Les épaisseurs de murs que l'on obtient au moyen des formules précédentes ne peuvent être considérées que comme des limites purement théoriques. On conçoit en effet que, basées sur la condition de *l'équilibre strict*, elles seraient insuffisantes pour maintenir le mur sur sa base, dès que la moindre force accidentelle viendrait à se produire. Ainsi, l'ébranlement produit par une décharge d'artillerie, la plus légère surcharge, l'augmentation fortuite du poids des terres, produite soit par l'effet du tassement, soit par l'infiltration des eaux pluviales, le gonflement occasionné par la gelée, etc., seraient autant de causes propres à déterminer immédiatement la chute du mur, si l'on ne prenait la précaution de lui donner un surcroît de stabilité ou d'épaisseur pour parer à ces éventualités.

A cet effet, et pour obtenir les épaisseurs applicables à la pratique, on multiplie le moment de la poussée dans l'équation (A) du numéro précédent, par un certain coefficient k, que l'on nomme *coefficient de stabilité*, et dont la détermination peut se faire de la manière suivante :

On connaît la règle empirique, donnée par Vauban, pour trouver l'épaisseur des murs de revêtement des ouvrages de fortification. Cette règle revient à ceci : *Donner au sommet du mur une épaisseur constante de* $1^m,624$, *quelle que soit sa hauteur, faire le talus intérieur vertical, et donner un cinquième d'inclinaison au talus extérieur.*

On peut la traduire par la formule :

$$x = 1^m,624 + 0,20H.$$

Les murs construits suivant cette règle ont toujours parfaitement résisté depuis plus d'un siècle.

Pour un revêtement d'une hauteur moyenne de 10 mètres, surmonté d'un parapet de 2 mètres de haut, la formule précédente donnerait :

$$x = 3^m,624.$$

Si l'on voulait obtenir une égale épaisseur, ou ce qui revient au même, un égal degré de stabilité, au moyen de la formule (F) du numéro précédent, qui convient à ce cas ; en supposant des terres et des maçonneries moyennes, il faudrait y faire $\delta = 1500$, $\Delta = 2200$, $\alpha = 45°$, $n = 0,20$, $H = 10^m$, $h = 12^m$, et de plus multiplier le terme affecté de δ (1) par le coefficient de stabilité k, dont la valeur pourra être ensuite déduite de la comparaison de celles de x.

Faisons ces opérations, il vient :

$$x = \sqrt{\frac{1500 \times k}{3 \times 2200} \times \overline{\frac{12}{10}}^3 \times \overline{0,4142}^2 + \overline{\frac{10}{3}}^2 \times \overline{0,20}^2} = \sqrt{6,75k - 1,33}.$$

Égalant cette valeur de x à la précédente, on en déduit

$$k = \frac{\overline{3,624}^2 - 1,33}{6,75} = 1,80 \text{ à peu près.}$$

Il suffira donc, pour rendre pratique les formules théoriques démontrées au numéro précédent, de multiplier par 1,80 tous les termes affectés de δ qui entrent dans l'expression de la valeur de x. L'épaisseur ainsi déterminée donnera au mur, quelle que soit sa hauteur, un degré de stabilité égal à celle du revêtement de Vauban de 10 mètres de hauteur.

Nous transcrivons ci-après ces formules pratiques.

1° *En tenant compte de la cohésion des terres,* on a :

Lorsque les parements, tant intérieur qu'extérieur, du mur sont inclinés :

$$x = \pm \frac{1}{2}\left[H \operatorname{tang} \varepsilon - \frac{1,80\delta}{\Delta H}\left\{\operatorname{tang} \frac{1}{2}(\alpha \mp \varepsilon) \pm \operatorname{tang} \varepsilon\right\}^2 \left\{h\,(h - h')\sin \varepsilon \cos \varepsilon\right\}\right]$$

(1) Remarquons, en effet, que dans l'équation (A) du n° 668 le moment de la poussée se trouve en entier multiplié par δ. En multipliant tous les termes affectés de δ par k dans l'expression des diverses valeurs de x tirées de l'équation d'équilibre, on arrive évidemment au même résultat que si l'on avait d'abord multiplié ce moment par k dans l'équation d'équilibre avant de dégager x.

$$+\sqrt{\left(\tfrac{1}{4}\left[\text{tang.}\,\varepsilon-\frac{1,80\delta}{\Delta H}\left\{\text{H tang}\,\tfrac{1}{2}(\alpha\mp\varepsilon)\pm\text{tang}\,\varepsilon\right\}^2\left\{\text{h}(\text{h}-\text{h}')\sin\varepsilon\cos\varepsilon\right\}\right]^2\right.}$$

$$\left.+\frac{1,80\delta}{3\Delta H}\left\{\text{tang}\,\tfrac{1}{2}(\alpha\mp\varepsilon)\pm\text{tang}^2\varepsilon\right\}^2\left\{\text{h}^2(\text{h}-\tfrac{1}{2}\text{h}')\right\}-\tfrac{1}{2}\text{H}^2(\text{tang}^2\varepsilon-\text{tang}^2 n)\right). \quad (A)$$

Lorsque le parement intérieur est vertical et le parement extérieur incliné :

$$x=\sqrt{\frac{1,80\delta}{3\Delta}\frac{\text{h}^2}{\text{H}}(\text{h}-\tfrac{2}{3}\text{h}')\,\text{tang}^2\tfrac{1}{2}\alpha+\tfrac{1}{3}\text{H}^2\text{tang}^2 n}\ldots\ldots\ldots\ldots (B)$$

Lorsque les deux parements sont verticaux :

$$x=\text{tang}\,\tfrac{1}{2}\alpha\,\text{h}\sqrt{\frac{1,80\delta}{3\Delta H}(\text{h}-\tfrac{2}{3}\text{h}')}\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (C)$$

2° *En ne tenant pas compte de la cohésion des terres*, on a :
Quand les parements, tant intérieur qu'extérieur, sont inclinés :

$$x=\pm\tfrac{1}{2}\left[\text{H tang}\,\varepsilon-\frac{1,80\delta}{\Delta H}\text{h}^2\left\{\text{tang}\,\tfrac{1}{2}(\alpha\mp\varepsilon)\pm\text{tang}\,\varepsilon\right\}^2\sin\varepsilon\cos\varepsilon\right]$$

$$+\sqrt{\left(\tfrac{1}{4}\left[\text{tang}\,\varepsilon\,\text{H}-\frac{1,80\delta\text{h}^2}{\Delta H}\left\{\text{tang}\,\tfrac{1}{2}(\alpha\mp\varepsilon)\pm\text{tang}\,\varepsilon\right\}\sin\varepsilon\cos\varepsilon\right]^2\right.}$$

$$\left.+\frac{1,80\delta\text{h}^3}{3\Delta H}\left\{\text{tang}\,\tfrac{1}{2}\alpha\mp\varepsilon)\pm\text{tang}\,\varepsilon^2\right\}-\frac{\text{H}^2}{3}(\text{tang}^2\varepsilon-\text{tang}^2 n)\right)\ldots\ldots (D)$$

Quand le parement intérieur est vertical et le parement extérieur incliné :

$$x=\sqrt{\frac{1,80\delta\text{h}^3}{3\Delta H}\,\text{tang}^2\tfrac{1}{2}\alpha+\frac{\text{H}^2}{3}\,\text{tang}^2 n}\ldots\ldots\ldots\ldots (E)$$

Quand les deux parements sont verticaux :

$$x=\text{tang}\,\tfrac{1}{2}\alpha\,\text{h}\sqrt{\frac{1,80\delta}{3\Delta}\frac{\text{h}}{\text{H}}}\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (F)$$

3° *Pour les terres et les maçonneries moyennes*, on a :
Quand le parement intérieur est vertical et l'autre incliné :

$$x=\sqrt{0,063\frac{h^3}{\text{H}}+0,33\,\text{H}^2\,\text{tang}^2 n}\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (G)$$

Quand les deux parements sont verticaux :

$$x=0,258\,\text{h}\sqrt{\frac{\text{h}}{\text{H}}}\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (H)$$

Ces diverses formules conviendraient encore au *cas où les terres seraient remplacées par un liquide*. Il suffirait d'y faire l'angle $\alpha=90°$, et $\delta=1000$, ou $\frac{\delta}{\Delta}=0,45$.

Les deux dernières deviennent pour ce cas :

$$x = \sqrt{0{,}27\frac{h^3}{H} + 0{,}33\ H^2 \tan g^2 n} \quad \text{(I)}$$

$$x = 0{,}52\ h\sqrt{\frac{h}{H}} \quad \text{(K)}$$

Ces formules offrent cela d'avantageux, qu'elles établissent une commune mesure de stabilité et de résistance pour tous les murs de soutènement, quelles que soient leur hauteur et la grandeur de la poussée à laquelle ils sont soumis. La formule de Vauban, quoique d'un emploi très-avantageux pour les cas ordinaires des fortifications, ne saurait leur être comparée sous ce rapport. Non-seulement elle ne peut tenir compte des différentes natures de terres qui poussent contre les revêtements, mais on remarque que si, comme on l'admet généralement, l'épaisseur donnée par cette formule, pour l'escarpe de 10 mètres de haut, assure une stabilité suffisante au mur, cette épaisseur devient trop faible pour des escarpes plus élevées, et trop forte pour des murs d'une moindre hauteur (1). A la vérité, Vauban prescrivait quelques autres règles qui faisaient disparaître, jusqu'à un certain point, cette dernière anomalie ; mais ces règles étaient en définitive au moins aussi difficiles à appliquer que des formules qui n'exigent que des calculs très-simples et qui peuvent être mises d'ailleurs sous forme d'échelles, dont on comprendra aisément la construction.

670. Contre-forts des murs de revêtement des ouvrages de fortifications. — Les épaisseurs trouvées au moyen de ces formules pratiques, comme celles données par la formule empirique de Vauban, suffiront pour les murs de terrasses ordinaires ; mais pour les murs d'escarpe et de contrescarpe des ouvrages de fortifications, on doit encore augmenter la résistance du mur par un système de contre-forts, dont la forme, l'espacement et les dimensions, ont été fixés ainsi qu'il suit par Vauban.

Forme. — La forme est celle d'un prisme droit à base de trapèze, dont le côté le plus large est appliqué contre le revêtement. Plusieurs ingénieurs, et notamment Simon Stévin et Belidor, ont proposé de faire l'inverse ; mais l'expérience a constaté que les contre-forts ainsi construits se séparaient très-aisément du mur, par suite des tassements inégaux qui ont presque toujours lieu dans les maçonneries, et qu'alors leur effet devenait presque nul.

Espacement. — 15 à 18 pieds (4m,87 à 5m,85) d'axe en axe.

Dimensions. — Elles sont données par les formules suivantes :

$$\text{Longueur ou queue AB (\textit{fig.} 915)} = \frac{H + 3^m{,}25}{5};$$

(1) Pour une carpe de 20 mètres de haut, la formule de Vauban ne donne que 5,624 d'épaisseur à la base, tandis que la formule (E) donne 6,230. Pour une escarpe de 5 mètres, la formule de Vauban donne 2m,624, tandis que 2,14 suffisent pour lui assurer même stabilité qu'à l'escarpe de 10 mètres.

Grande base ou racine CD..... $= \frac{H + 6^m,50}{10}$;

Petite base EF..... $= 0,66 \times CD$.

Dans les deux premières formules H = hauteur du mur.

671. Cas auxquels s'appliquent les formules précédentes. — Nous avons supposé dans les formules précédentes, H différent de h, afin de pouvoir les rendre applicables non-seulement à la détermination de l'épaisseur des murs soutenant des terrasses arasées au niveau de leur sommet, mais encore de ceux qui n'auraient à subir la pression des terres que sur une portion de leur hauteur. Quand la hauteur des terres dépasse celle du mur, alors elles ne sont plus qu'approximatives, et même si la hauteur des terres est beaucoup plus grande que celle du mur, elles pourraient ne plus donner des indications suffisamment exactes. On admet qu'elles peuvent encore servir, par exemple, pour déterminer l'épaisseur des escarpes ordinaires de 10 à 12 mètres de hauteur, surmontées d'un parapet en terre qui dépasse le cordon de 3 à 4 mètres (*fig.* 904) (1) ; mais elles pourraient donner des indications tout à fait fausses, s'il s'agissait de ce qu'on appelle en fortification des *demi-revêtements*, c'est-à-dire de murs soutenant des massifs de terre d'une hauteur considérable, élevés en talus, comme dans la *fig.* 905. Dans ce dernier cas, le prisme de poussée n'est plus le même que précédemment, et toutes les quantités qui en dépendent prennent conséquemment des valeurs différentes.

672. Modifications que doivent subir les formules précédentes pour le cas des demi-revêtements ou de fortes surcharges. — Soit H la hauteur AB d'un demi-revêtement à parement intérieur vertical ; a l'épaisseur B'C' du massif des terres excédantes supposé terminé par un plan horizontal ou peu incliné, se raccordant avec le talus extérieur ; θ l'angle que fait, avec la verticale, ce talus extérieur que l'on suppose aboutir à la ligne du sommet intérieur du mur ; α l'angle du talus naturel des terres ; ω l'angle du prisme de plus grande poussée ; Q le poids de ce prisme ; δ le poids du mètre cube de terre et P la poussée.

En faisant, pour plus de simplicité, abstraction de la cohésion des terres, on aura, d'après ce qu'on a vu au n° 664 (2).

$$P = \frac{Q(\cos\omega - f\sin\omega)}{\sin\omega + f\cos\omega},$$

ou bien en remplaçant f par sa valeur cotang α,

$$P = Q\,\text{tang}(\alpha - \omega) = Q\,\frac{\text{tang}\,\alpha - \text{tang}\,\omega}{1 + \text{tang}\,\alpha\,\text{tang}\,\omega}.$$

---

(1) Dans ce cas, la hauteur h est celle AB' d'un triangle AB'C' équivalant en superficie à ABC ; on néglige le poids du petit prisme de terre Bxy.

(2) Cette théorie est de M. Audoy, auquel nous l'avons empruntée presque textuellement ; elle a été développée dans un mémoire inséré au *Mémorial de l'officier du génie*, auquel nous renvoyons pour plus de détails.

Remplaçant Q par sa valeur

$$Q = \frac{\delta}{2}\left\{(a+H)^2 \operatorname{tang}\omega - a^2 \operatorname{tang} 0\right\},$$

il viendra :

$$P = \frac{\delta}{2}\left\{\frac{\operatorname{tang}\alpha - \operatorname{tang}\omega}{1+\operatorname{tang}\alpha\operatorname{tang}\omega}\right\}\left\{(a+H)^2\operatorname{tang}\omega - a^2\operatorname{tang} 0\right\}.$$

On tire de là pour la condition du *maximum* :

$$\operatorname{tang}\omega = -\frac{1}{\operatorname{tang}\alpha} + \frac{1}{(a+H)\sin\alpha}\sqrt{(a+H)^2 + a^2\operatorname{tang} 0\operatorname{tang}\alpha}.$$

Mettant cette valeur de tang ω dans l'expression de P, il vient :

$$P_m = \frac{\delta}{2\sin^2\alpha}\left\{(a+H) - \cos\alpha\sqrt{(a+H)^2 + a^2\operatorname{tang} 0\operatorname{tang}\alpha},\right\} \quad \ldots\ldots \quad (A)$$

Substituant dans cette expression, à la place de la hauteur H, une portion quelconque z de cette hauteur comptée à partir du sommet du mur, elle devient :

$$P_m = \frac{\delta}{2\sin^2\alpha}\left\{(a+z) - \cos\alpha\sqrt{(a+z)^2 + a^2\operatorname{tang} 0\operatorname{tang}\alpha}\right\}^2.$$

Différenciant cette dernière et multipliant le résultat par le bras du levier $H - z$, on obtient, en intégrant subséquemment depuis $z = 0$ jusqu'à $z = H$, le moment de la poussée sur la hauteur H. Soit M, ce moment, on a :

$$M = \frac{\delta}{\sin^2\alpha}\left\{\frac{(1+\cos^2\alpha)}{6}(H+3a)H^2\right.$$

$$+ \frac{\cos\alpha}{3}\left[a(a+3H) + a^2\operatorname{tang} 0\operatorname{tang}\alpha\right]\sqrt{a^2 + a^2\operatorname{tang} 0\operatorname{tang}\alpha}.$$

$$\left. - \frac{\cos\alpha}{3}\left[(H-a)^2 + a^2\operatorname{tang} 0\operatorname{tang}\alpha\right]\sqrt{a + H^2 + a^2\operatorname{tang} 0\operatorname{tang}\alpha}\right\} \quad \ldots \quad (B)$$

Si l'on supposait que le talus extérieur du remblai fût le même que le talus naturel des terres, les expressions (A) et (B) se changeraient en celles-ci :

$$P_m = \frac{\delta}{2\sin^2\alpha}\left\{(a+H) - \sqrt{(a+H)^2\cos^2\alpha + a^2\sin^2\alpha}\right\}^2 \ldots \quad (C)$$

$$M = \frac{\delta}{\sin^2\alpha}\left\{\frac{1+\cos^2\alpha)}{6}(H+3a)H^2 + \frac{[a(a+3H) + a^2\operatorname{tang}^2\alpha]a}{3}\right.$$

$$\left. - \frac{[(a+H)^2 + a^2\operatorname{tang}^2\alpha]}{3}\sqrt{(a+H)^2\cos^2\alpha + a^2\sin^2\alpha}\right\} \ldots \quad (D)$$

et enfin pour un angle $\alpha = 45^\circ$ on aurait :

$$P_m = \delta\left\{(a+H) - \sqrt{\frac{(a+H)^2 + a^2}{2}}\right\}^2 \ldots\ldots \quad (E)$$

$$M = \frac{\delta}{6}\left\{3(a+H)^3 + a^2(3H+5a) - [4a^2 + 4aH + 2H^2]^{\frac{3}{2}}\right\}; \ldots \quad (F)$$

formules qui se réduisent d'ailleurs à celles précédemment démontrées, quand on y fait $a = 0$, auquel cas on a $H = h$.

Appelons maintenant x l'épaisseur du demi-revêtement à sa base, n l'angle du talus extérieur du mur avec la verticale, Δ le poids du mètre cube de maçonnerie, k le coefficient de stabilité déterminé comme précédemment, on pourra poser, pour déterminer x, l'équation d'équilibre :

$$\frac{\Delta H}{2}\left\{x^2 - \frac{\operatorname{tang}^2 n H^2}{3}\right\} = kM \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (G)$$

Lorsque le talus du remblai qui surmonte le demi-revêtement, au lieu d'aboutir au parement intérieur de la maçonnerie, recouvrira son sommet jusqu'à la ligne de berme, comme on l'a marqué par une ligne pointillée bc dans la *fig.* 905, il faudra remplacer H dans les formules ci-dessus de la poussée et de son moment par $H' = AV$, faire $a = VD$, et ajouter dans le premier membre de l'équation (G) un terme qui tienne compte, dans la résistance du mur, du moment du poids du prisme triangulaire de terre BbV, qui concourt au même effet que le mur. Dans ce cas, comme H', bB et BV sont fonctions de l'inconnue x, l'équation d'équilibre atteint un degré très-élevé ; mais on peut éviter cet inconvénient en se donnant approximativement Bb, sauf à rejeter sur la berme l'excès de largeur qu'on trouverait pour le revêtement, ou à recommencer l'opération d'après une hypothèse plus favorable s'il y a lieu.

673. Possibilité d'un glissement du mur sur sa base. Détermination de l'épaisseur dans ce cas. — Les dernières formules supposent, comme celles qui ont été démontrées dans les n° 668 et 669, que le mur se renversera en tournant en entier autour de l'arête extérieure de sa base. C'est en effet de cette manière que le mur résiste le moins dans les cas ordinaires, et qu'il y a le plus à craindre, par conséquent, de le voir culbuté ; mais lorsque le massif de terre qu'il soutient s'élève à une hauteur beaucoup plus considérable que lui, la tendance du mur à glisser sur sa base d'appui AL peut être plus grande que sa tendance à tourner autour de son arête extérieure, et il y alors à vérifier s'il n'est pas nécessaire de lui donner un surcroît d'épaisseur, que l'hypothèse précédente n'aurait pas indiqué.

Pour procéder à cette nouvelle recherche, voici comment il faut s'y prendre :

Nommons f le coefficient de frottement de la maçonnerie contre elle-même, P la *poussée* déterminée comme précédemment, k' le *coefficient de stabilité* relatif à ce cas, D le coefficient de résistance de la maçonnerie à la rupture par disjonction ; conservons, de plus, les notations adoptées plus haut.

Le poids du mur sera exprimé par

$$\Delta H\left(x - \frac{\operatorname{tang} n H}{2}\right);$$

Et sa résistance sur sa base sera exprimée par

$$\Delta H\left(x - \frac{\operatorname{tang} n H}{2}\right) f + Dx.$$

Cette résistance doit être égale à la poussée multipliée par le coefficient de stabilité, ce qui donne, pour déterminer x,

$$\Delta H\left(x - \frac{\text{tang } n H}{2}\right) f + Dx = k' P ;$$

ou, en faisant abstraction de la cohésion des maçonneries, ce qui est prudent dans beaucoup de cas,

$$\Delta H\left(x - \frac{\text{tang } n H}{2}\right) f = k' P,$$

d'où l'on tire :

$$x = \frac{k' P + \frac{1}{2} H^2 \Delta \text{ tang } n \times f}{\Delta H f} ;$$

ou en remplaçant P par sa valeur

$$x = \frac{\frac{k' \delta}{2 \sin^2 \alpha} \left\{ (a + H) - \cos \alpha \sqrt{(a + H)^2 + a^2 \text{ tang } \theta \text{ tang } \alpha} \right\}^2 + \frac{H^2 \Delta \text{ tang } n f}{2}}{\Delta H f}.$$

On fait dans cette formule $f = 0{,}75$, d'après les données d'expérience.

k' se détermine en faisant $H = 10$ mètres, $a = 2$ mètres, et en remplaçant x par la valeur correspondante, donnée par la règle de Vauban. On trouve ainsi $k' = 2{,}40$ à peu près, et la formule de l'épaisseur pratique devient, par la substitution de cette valeur et de celle de f,

$$x = \frac{1{,}605}{\Delta H \sin \alpha} \left\{ (a + H) \cos \alpha . \sqrt{(a + H)^2 + a^2 \text{ tang } \theta \text{ tang } \alpha} \right\}^2 + \frac{H \text{ tang } n}{2}.$$

674. Règle pratique de Vauban pour déterminer l'épaisseur des demi-revêtements. — La règle pratique de Vauban, pour déterminer l'épaisseur des demi-revêtements, peut se résumer ainsi qu'il suit :

Régler l'épaisseur du demi-revêtement comme s'il faisait partie d'un revêtement entier.

Elle peut se traduire par la formule :

$$x = 1^m{,}624 + 0{,}20 (H + a).$$

Cette règle avait paru conduire à des épaisseurs exagérées, aux premiers géomètres qui se sont occupés de la théorie dont il s'agit; mais c'était parce qu'ils n'admettaient que la possibilité du renversement autour de l'arête extérieure de la base. L'hypothèse du glissement, qui tend plus souvent à se réaliser dans ces sortes de murs, justifie, au contraire, pleinement les indications de Vauban.

En effet, les épaisseurs trouvées au moyen de la formule précédente concordent avec celles données par la règle de Vauban, non-seulement pour la hauteur de 10 mètres et la surcharge de 2 mètres, mais elles s'en rapprochent encore sensiblement pour des hauteurs de revêtement et des surcharges quelconques.

675. Contre-forts des demi-revêtements. — On ajoute aux demi-revêtements,

comme aux revêtements entiers, un système de contre-forts, dont les dimensions sont réglées, d'après Vauban, comme s'ils faisaient partie d'un revêtement de hauteur $H + a$.

Ces contre-forts pourraient être supprimés pour des murs de terrasse ordinaire.

676. Observation. — La théorie que nous avons exposée en dernier lieu, quoique beaucoup plus générale que celle que nous avons développée avant elle, ne saurait pourtant s'appliquer à tous les cas. Il suffit, pour s'en convaincre, de remarquer que si l'angle θ était très-grand, c'est-à-dire, que si les terres qui surmontent le mur étaient coupées suivant une pente très-douce (cas qui se présente fréquemment dans les ouvrages de fortifications), l'angle ω pourrait prendre une plus grande valeur que l'angle α, ce qui est évidemment absurde.

Frappé de ce défaut de généralité et en même temps de la presque impossibilité de résoudre, au moyen du calcul, les questions relatives aux cas de cette espèce (tant les calculs deviennent longs et compliqués), M. Poncelet, auquel la science était déjà redevable de tant d'utiles découvertes, a imaginé une théorie purement géométrique, qui permet de résoudre toutes les questions relatives à la détermination de la poussée et de son moment au moyen de constructions graphiques aussi simples qu'élégantes.

Nous allons essayer de donner ici une idée de la théorie de M. Poncelet, en renvoyant pour les détails à son mémoire inséré au *Mémorial de l'officier du génie*.

THÉORIE GÉOMÉTRIQUE DE PONCELET.

677. Détermination du prisme de plus grande poussée. — Soit AB (*fig.* 906) la paroi intérieure verticale d'un mur de revêtement soutenant un prisme de terre ABCDE.

Représentons par AM la trace du plan du talus naturel des terres faisant avec l'horizon un angle φ, et par AX′ la trace encore inconnue du plan qui limite le prisme de plus grande poussée.

On pourra considérer le prisme ABCDXA comme maintenu, contre sa tendance à descendre par l'effet de son poids Q, au moyen de deux forces N et N′ appliquées perpendiculairement aux plans BA, AX′, lesquelles forces engendrent, dans le sens AB et AX′, des frottements fN et f'N′ (f et f' représentant le rapport du frottement à la pression des terres contre la maçonnerie et des terres sur elles-mêmes), qui s'opposent aussi à la descente du prisme.

Pour plus de simplicité, nous négligerons, comme dans la théorie précédente, le frottement des terres contre la maçonnerie, ainsi que la force de cohésion des terres, mais nous tiendrons compte du frottement des terres sur elles-mêmes.

Partant de là, il est visible que les forces N′ et f'N′, auront une résultante F′, dont il sera facile de déterminer la direction en menant par le point o une droite o F′ faisant avec ON′ l'angle du frottement ou du talus naturel avec l'horizon φ. En effet, pour chacune des valeurs qu'on assigne à N′, on aura toujours l'ordonnée pq ou $oq' = N' \operatorname{tg} \varphi = f' N'$.

Le prisme ABCDX'A sera donc soutenu, d'après ces considérations, par les forces N et $F' = \frac{N'}{\cos\varphi}$, tandis qu'il sera sollicité à descendre par l'effet de son poids Q. Cherchons d'abord à exprimer les forces N et F' d'une manière plus explicite.

Pour cela, par le point A, menons une droite indéfinie Aa, perpendiculaire à la direction de la force F', et traçons l'horizontale indéfinie aa', recoupant les droites Aa et Ba, de manière à former un triangle Aaa', dont les côtés soient respectivement perpendiculaires aux forces N, F' et Q.

Ce triangle pourra être considéré comme invariablement lié au système dont il dérive, et en équilibre comme le système lui-même sous l'action des trois forces N, F', Q, quand les deux conditions suivantes se trouveront remplies :

1° Lorsque ces trois forces seront dirigées de dehors en dedans, ce qui exige d'abord que la ligne AX' soit comprise dans l'angle BAM ;

2° Lorsque ces forces seront respectivement proportionnelles aux côtés du triangle, auxquels elles sont perpendiculaires.

Cette dernière condition fournit les relations suivantes :

$$F' = Q\frac{Aa}{aa'}. \qquad N = Q\frac{BA}{aa'}.$$

Pour obtenir des valeurs plus explicites encore, faisons tourner le triangle Aaa' autour du point A, comme charnière, jusqu'à ce que le côté Aa soit venu se confondre avec AX'. Par ce mouvement, chacun des côtés du triangle décrit un angle $= \varphi$; car par construction, l'angle X'Aa, dont les côtés sont respectivement perpendiculaires à F'o et à FN', est égal à φ.

Si donc par le point A on mène une droite AO venant recouper DE prolongée, et faisant avec AB l'angle φ et si par le point X' on trace X'x' parallèle à AM, on formera un triangle AX'x' semblable au grand triangle Aaa', et l'on pourra, dans les expressions précédentes, remplacer les rapports $\frac{Aa}{aa'}$ $\frac{Ba}{aa'}$ respectivement par

$$\frac{AX'}{X'x'} \times \frac{Ax'}{X'x'},$$

et elles deviendront :

$$F' = Q\frac{AX'}{X'x'} \qquad N = Q\frac{Ax'}{X'x'}.$$

La force F' tendant uniquement à comprimer les terres dans l'intérieur du massif, nous pouvons nous abstenir de nous en occuper, et nous procéderons actuellement uniquement sur N, qui est la force de *poussée* que nous avons intérêt à connaître.

Remplaçons d'abord, dans l'expression de N trouvée ci-dessus, Q par sa valeur,

$$= \delta \text{ surf ABCDX'A},$$

δ représentant le poids du mètre cube.

Transformons ensuite la surface ABCDX'A en un triangle AKX' d'une surface équivalente, et dont la hauteur est mesurée par AT, on aura :

$$Q = \frac{\delta}{2} AT \times KX',$$

$$N = \tfrac{1}{2}\,\delta AT \times KX' \times \frac{Ax'}{X'x'}.$$

Remarquons maintenant que les triangles $OX'x'$, OMA sont semblables et donnent

$$X'x' : AM = OX' : OM$$

$$X'x' = \frac{AM \times OX'}{OM}.$$

Substituant dans l'équation ci-dessus, on a :

$$N = \tfrac{1}{2}\,\delta AT \times OM \times \frac{KX'Ax'}{AM \times OX'};$$

mais $\frac{1}{2}$ AT. OM représente la surface du grand triangle OAM, qui peut aussi s'exprimer par

$$\tfrac{1}{2} \sin OAM \times OA \times AM.$$

Il vient d'après cela :

$$N = \tfrac{1}{2}\,\delta \sin OAM \times OA \times \frac{KX' \times Ax'}{OX'}.$$

Du point K déterminé ainsi qu'on l'a vu plus haut par la formation du triangle AKX', équivalent à l'aire ABCDX'A, menons KY parallèle à OA et Ky parallèle à AX', on aura, à cause de la similitude des triangles KX'Y et X'OA, et en remarquant que KY = Ay,

$$OX' = \frac{OA \times KX'}{Ay},$$

et en substituant dans l'équation ci-dessus

$$N = \tfrac{1}{2}\,\delta \sin OAM \times Ax' \times Ay ;$$

puis finalement en observant que par construction l'angle OAM est droit,

$$N = \tfrac{1}{2}\,\delta\, Ax' \times Ay.$$

Telle est l'expression dont il faut chercher le *maximum*, lequel dépendra visiblement du seul produit variable $Ax' . Ay$, $\frac{1}{2}\,\delta$ étant constant.

Pour parvenir à découvrir ce maximum, menons KK' parallèle à AM, et sur AK' comme diamètre décrivons le demi-cercle KtA. Si du point O nous menons à ce cercle la tangente Ot, on aura :

$$Ot^2 = OK' \times OA.$$

Ce produit OK′ . OA peut se remplacer par $Oy \cdot Ox$, à cause de la similitude des triangles OyK, OAX′, OKK′, OX′x', qui donnent

$$Oy : OA = OK : OX'$$

$$OK : OX' = OK' : Ox'.$$

$$Oy \times Ox' = OA \times OK'.$$

Il en résulte que si l'on décrit un nouveau cercle tangent à Ot, et passant par l'un des points x' ou y, il passera nécessairement par l'autre, et quelle que soit la position relative de ces deux points déterminés comme on l'a fait précédemment, on aura toujours :

$$\overline{Ot}^2 = Oy \times Ox'.$$

Actuellement menons du point A, Au tangente au cercle K′$x'y$, on aura :

$$\overline{Au}^2 = Ay \times Ax'.$$

Cette valeur, étant introduite dans la dernière expression de N, à laquelle nous sommes parvenus, lui donnera la forme

$$N = \tfrac{1}{2}\delta\,\overline{Au}^2,$$

et son *maximum*, qui dépendra maintenant du carré de la tangente Au, aura visiblement lieu, quand les points y et x' se confondront, c'est-à-dire quand le cercle tyx', sans cesser d'être tangent à Ot, sera également tangent à OA. Ce maximum, que nous représentons par P, sera donc :

$$P = \tfrac{1}{2}\delta\,\overline{Ax}^2.$$

Si nous voulons maintenant connaître la véritable position du plan qui limite à l'intérieur des terres le prisme de plus grande poussée, il suffira de mener par le point x une droite parallèle à X′x' ou à AM ; et en menant par le point X ainsi déterminé la droite AX, cette droite sera évidemment la trace du plan cherché.

La position du point x se trouvera d'ailleurs très-aisément en rabattant sur OA la tangente Ot. Car pour le cas du maximum, on aura visiblement en même temps que $\overline{Au}^2 = \overline{Ax}^2$ ou $Au = Ax$,

$$\overline{Ot}^2 = \overline{Ox}^2 \text{ ou } Ot = Ox.$$

La position du point X, et par suite du point x, peut encore se trouver en construisant sur KM, comme diamètre, le demi-cercle KZM, menant la tangente OZ, et la rabattant en X. Il est facile en effet, de démontrer, comme suit, que le point X ainsi déterminé appartient à la droite menée par le point x, parallèlement à la ligne AM.

Par suite des constructions, on a :

$$\overline{OZ}^2 = OK \times OM,$$

$$\overline{Ot}^2 = OK' \times OA,$$

et :

$$\frac{\overline{OZ}^2}{\overline{Ot}^2} = \frac{OK \times OM}{OK' \times OA},$$

D'un autre côté, à cause des parallèles K'K, xX, AM,

$$OA = \frac{OK' \times OM}{OK}$$

Donc en substituant,

$$\frac{\overline{OZ}^2}{\overline{OT}^2} = \frac{\overline{OK}^2}{\overline{OK'}^2}$$

$$\frac{OZ}{OT} = \frac{OK}{OK'} = \frac{OX}{Ox'},$$

résultat qui fait voir que les triangles OXx, OKK' sont semblables, et que la ligne Xx est parallèle à K'K parallèle elle-même par construction à AM.

Ainsi l'on voit qu'en définitive en adoptant cette dernière construction, la solution des questions relatives à la détermination du prisme de plus grande poussée, et de la plus grande poussée elle-même, se réduit aux opérations suivantes :

1° Par le point A, mener une parallèle AM au talus naturel des terres jusqu'à la rencontre de DE prolongée si c'est nécessaire ;

2° Par le même point A mener AO, faisant avec le parement vertical intérieur du mur l'angle φ, ou un angle de 90° avec AM, et déterminer par ce moyen le point O sur le prolongement de ED ;

3° Transformer le polygone ABCDA en un triangle équivalent AKD ;

4° Sur KM, comme diamètre, décrire le demi-cercle KZM ;

5° Mener la tangente OZ à ce cercle et la rabattre sur OM ;

6° Par le point X, ainsi déterminé, mener AX, qui donne la limite du prisme de plus grande poussée ;

7° Enfin par le même point X mener Xx parallèle à AM, afin d'avoir Ax, dont le carré, multiplié par la moitié du poids de l'unité de volume du terrassement, donnera la valeur

$$P = \tfrac{1}{2}\,\delta \overline{Ax}^2$$

de la plus grande poussée.

Ces constructions font voir, d'une manière palpable en quelque sorte, la marche des valeurs de N suivant la position que l'on assigne au plan de rupture AX.

Si l'on fait coïncider d'abord la ligne AX avec celle du talus naturel AM, on voit que le point x, se confond avec A, tandis que y se confond avec K', et que la tangente Au au cercle qui passe par ces points et par le point t est nulle, ce qui donne une valeur de N ou une poussée nulle. En faisant ensuite marcher la ligne AX dans l'angle MAB, on voit que les points x' et y vont en se rapprochant continuellement jusqu'à ce

qu'elle ait atteint la position AX, pour laquelle ils se confondent, et que par suite les valeurs de Ay. Ax ou de $\overline{Au}^2$ vont continuellement en croissant jusqu'à atteindre leur *maximum* relatif à cette dernière position ; qu'à partir de là, et en continuant à rapprocher la ligne AX de AB, les points x' et y vont de nouveau en s'éloignant, le premier en marchant vers K', et le second vers A, et qu'ils finissent, encore une fois, par venir se confondre avec K' et A, et par donner une valeur nulle quand le point X se confond avec K.

678. Démonstration géométrique du théorème n° 664. — On peut démontrer aisément que quand le terrassement est arasé de niveau au sommet du mur, la position du plan virtuel de rupture fait, avec le parement intérieur de ce mur, un angle égal à la moitié de celui que cette paroi forme avec le talus naturel des terres.

En effet, déterminons (*fig.* 907) la position du plan de rupture AX, ainsi qu'on vient de l'indiquer, nous remarquerons d'abord que AM est diamètre d'un cercle ABM et que OA est tangente à ce cercle. Il en résulte que $OZ = OA$, puisqu'on a en même temps $\overline{OZ}^2 = OB \times OM$ et $\overline{OA}^2 = OB \times OM$; donc si l'on décrit un nouveau cercle du point O comme centre, et avec OZ pour rayon, il passera tout à la fois par les points Z, X et A.

Observons maintenant que l'angle $BAM = \alpha$, angle du talus naturel des terres avec la paroi intérieure du mur ; que l'angle $AOX = \alpha$, ses côtés étant perpendiculaires à ceux de l'angle BAM, et finalement que l'angle OXA a pour mesure la moitié de $180° - \alpha$, ou $90° - \frac{\alpha}{2}$. Cet angle appartient au triangle ABX dans lequel $ABX = 90°$; donc l'angle $BAX = \frac{\alpha}{2}$.

La même chose peut se démontrer, mais par une marche un peu plus compliquée, pour le cas où la paroi du mur est inclinée.

679. Transformation des profils. — Pour compléter la solution des questions traitées au n° 677, nous devons maintenant indiquer comment on trouve le point K, résultant de la transformation de l'aire polygonale ABCDXA en un triangle AKX, de superficie équivalente.

Prenons pour exemple un profil semblable à celui que nous avons considéré jusqu'ici.

Joignons (*fig.* 908) B et D, et par le point C traçons CB' parallèle à BD. Le point B', ainsi déterminé, pourra être considéré comme le sommet d'un triangle DBB' équivalent au triangle BCD, et la surface triangulaire AB'D sera équivalente à la surface polygonale ABCD, puisque cette surface est égale elle-même à surface ABD — surface BCD.

Après cela, si l'on mène B'K parallèle à AD, le point K sera le sommet d'un triangle AKD équivalent à AB'D, puisqu'ils ont même base et même hauteur, et le polygone ABCDXA sera définitivement transformé en un triangle AKX, puisque la partie ADX est commune aux deux figures.

On suivra une marche analogue dans tous les cas. On se rappellera d'ailleurs qu'il est toujours facile de réduire, au moyen de procédés géométriques connus, une figure de n côtés en une autre de $n - 1$ côtés et de superficie équivalente, et que, par des réductions successives, on peut arriver à la transformation en un triangle équivalent.

680. Détermination du moment et du bras de levier de la poussée. — La détermination du moment et du bras de levier de la poussée s'effectue d'une manière parfaitement analogue à celle que nous avons précédemment indiquée ; c'est-à-dire que l'on recherche d'abord, mais d'une manière géométrique encore, la poussée qui s'exerce sur un élément de la hauteur AB, qu'on multiplie cette poussée élémentaire par son bras de levier, et qu'on somme ensuite tous les moments élémentaires pour en faire le moment total. En divisant ce moment total par la poussée, on trouve son bras de levier.

L'expression de la poussée maximun

$$P = \tfrac{1}{2}\,\delta\,\overline{Ax^2},$$

est relative au prisme ABCDXA, qui s'appuie sur la hauteur totale AB du mur. Si l'on voulait obtenir la poussée relative à un prisme quelconque A'BCDX'A' (*fig.* 909), poussant contre la partie BA' de la paroi, on trouverait, en procédant comme précédemment, une nouvelle grandeur A'x' dont le carré multiplié par $\frac{1}{2}\,\delta$, donnerait la poussée cherchée. En opérant de la même manière pour diverses hauteurs BA''. BA'''... on déterminerait une suite de points x formant une courbe continue, laquelle est souvent une branche d'hyperbole équilatère, dégénérant, dans certains cas, en une droite passant par le point B et par le point x extrême. Cette courbe jouit de la propriété: que le carré d'une ordonnée oblique quelconque parallèle à Ax, multiplé par $\frac{1}{2}\,\delta$, donne la valeur de la poussée maximum, exercée sur une hauteur égale à son abscisse compté de B vers A.

Lorsqu'on procède à la détermination de cette courbe, pour résoudre la question qui nous occupe actuellement, il se présente quelquefois une circonstance qui exige une explication.

Dans quelques cas, et c'est celui de la *fig.* 909, après avoir construit un certain nombre de plans virtuels de rupture AX et de points x correspondants, on remarque que ces plans cessent de recouper la face du terrassement, par rapport à laquelle on avait jusqu'alors opéré, mais qu'ils viennent en rencontrer une autre. Ainsi, dans notre figure, le dernier d'entre ces plans qui rencontre ED est A''D, et pour toutes les hauteurs comprises de B en A'', ces plans viendront recouper la face BC. Cette ligne devant limiter dorénavant les prismes de poussée, c'est elle qu'il faudra prendre comme base des opérations qui serviront à déterminer les autres points de la courbe relative à la hauteur BA'', en suivant une marche tout à fait semblable à celle indiquée ci-dessus, mais qui peut se simplifier comme nous le verrons par la suite.

D'ailleurs, il est à observer que ces plans virtuels de ruptures ne pourraient rencontrer aucune face qui, comme CD, aurait un talus plus roide que celui que pren-

nent naturellement les terres, puisque, en le supposant seulement aussi roide, il ne saurait être recoupé par AM qu'à l'infini, ce qui rendrait la construction du point X impossible (1).

Lorsqu'on a tracé la courbe xB, il est facile de passer à la détermination du moment et du bras de levier de la poussée.

Pour éviter la confusion des lignes sur l'épure, transportons la ligne AB, et toutes les constructions qui s'y rapportent, en A_1B ; de plus, faisons pivoter toutes les ordonnées de la courbe xB, de manière à les rendre normales à A_1B_1, nous aurons ainsi formé une nouvelle courbe $\chi_1 B_1$, qui jouira de toutes les propriétés assignées à la première.

D'après cela, la pression ou poussée exercée sur B_1A_1'', sera exprimée par :

$$\tfrac{1}{2}\,\delta\,\overline{A_1''\chi''^2},$$

et celle exercée sur la hauteur Bz qui diffère infiniment peu de la première, sera :

$$\tfrac{1}{2}\,\delta\,\overline{zy}^2.$$

La différence de ces deux pressions donnera celle exercée sur l'élément infiniment petit zA_1'' :

$$dP = \tfrac{1}{2}\,\delta\,(\overline{zy}^2 - \overline{A_1''\chi''^2})$$

$$= \tfrac{1}{2}\,\delta\,(zy + A_1''\chi'')\,(zy - A_1''\chi'');$$

ou parce que yx est sensiblement égal à $A_1''\chi''$ et $yx - A_1\chi'' = yo$,

$$dPL = \delta A_1''\chi'' \times yo.$$

En prenant son moment par rapport à A, et nommant L le bras de levier de la poussée, on a pour le moment différentiel :

$$dPL = \delta A_1''\chi'' \times yo \times A_1A_1'',$$

Cette expression peut être mise sous une forme plus commode. Si l'on mène par les points χ'' et y des parallèles $\chi'' m'$ et yn à A_1B_1, on remarquera que la surface du petit trapèze $\chi''mny$ est sensiblement égale à celle du petit rectangle $omny$; qu'ainsi elle a aussi pour expression $A_1A_1 \times yo$ et que son moment par rapport à A_1 est :

$$\delta A_1''\chi'' \times yo \times A_1A_1''.$$

Elle pourra donc être représentée par :

$$dPL = \delta \text{ surf. } y\chi'' mn \times g,$$

---

(1) Si le talus CD était plus roide que le talus naturel, son intersection par AM pourrait avoir lieu en dessous du point A, mais la construction du point X n'en serait pas moins impossible.

g représentant la distance horizontale du centre de gravité de la surface élémentaire $y\chi''mn$ à la verticale du point A_1. Maintenant, si l'on opère sur tous les éléments compris dans la hauteur A_1B_1, comme on l'a fait sur l'élément particulier A_1x, on aura ainsi divisé tout le grand triangle mixtiligne en une série de trapèzes, infiniment petits, dont le moment par rapport à A_1 sera exprimé d'une façon analogue. La somme ou l'intégrale de tous ces moments élémentaires, qui n'est rien autre chose que celle des moments des poussées exercées contre le mur de B en A, sera exprimée par

$$PL = \delta \text{ surf. } \chi B_1A_1 \times G,$$

G étant la distance horizontale du centre de gravité de la surface χB_1A_1 à la ligne A_1B_1.

Cette dernière expression, divisée par

$$P = \tfrac{1}{2}\,\delta\,\overline{A_1\chi^2}$$

donnera pour L, ou la distance du point d'application de la résultante des poussées partielles au point A :

$$L = \frac{2 \text{ surf. } \chi A_1B_1 \times G}{A_1\chi^2}.$$

L'évaluation de l'aire des surfaces des polygones χB_1A_1, et la détermination de leurs centres de gravité, sont des opérations généralement fort simples, les courbes qui les limitent différant le plus souvent assez peu de lignes droites pour pouvoir être confondues avec elles sans erreur bien sensible. Lorsque ces courbes sont assez prononcées pour qu'on ne puisse se contenter d'une telle approximation, on peut se servir avantageusement des méthodes connues de Thomas Simpson, qui donneront, dans tous les cas, des résultats suffisamment approchés. Lorsqu'on ne tient pas à opérer avec une rigoureuse exactitude, on peut prendre moyennement $L = \frac{1}{3}AB$.

681. Détermination de l'épaisseur du mur. — Lorsqu'on a ainsi déterminé la grandeur de la poussée et son bras de levier, on peut résoudre la question de l'épaisseur à donner au mur de soutènement, soit en introduisant la valeur $PL = M$ dans les formules des nos 668 et 673, soit au moyen d'une construction graphique que nous allons indiquer.

Prenons le cas de la *fig.* 909.

Soient :

A le poids du mètre cube de maçonnerie ;

H la hauteur AB du mur ;

E son épaisseur à la base ;

LN la base de son talus extérieur $=$ H tang n ;

Ax l'ordonnée déterminée comme précédemment, par le carré de laquelle il faut multiplier $\frac{1}{2}\delta$, pour avoir la poussée sur la paroi AB ;

AU $=$ L une certaine fraction qH de AB, le bras de levier de cette poussée ;

k = le coefficient de stabilité = 1,80.

L'équation d'équilibre dans le cas de la rotation autour de l'arête L' sera :

$$\frac{1}{2}\,\Delta\Pi E^2 - \frac{1}{6}\,\Delta\overline{LN}^2 \times \Pi = \frac{1}{2}\,q^2k\,\overline{Ax}^2 \times \Pi.$$

Divisant tous les termes de cette équation par $\frac{1}{2}\,\Delta H^2$, elle prend cette forme :

$$\frac{E^2}{\Pi} - \frac{\overline{LN}^2}{3\Pi} = \frac{q^2k}{\Delta} \times \frac{\overline{Ax}^2}{\Pi} \qquad \text{(A)}$$

Tous ces termes sont facilement constructibles.

En effet : 1° sur une verticale indéfinie passant par le point A, portons au compas de A vers b, trois fois la longueur AB ou 3H ; et sur l'horizontale passant par le même point A, marquons une longueur AN' = LN. Joignons N' et b au moyen d'une droite, puis menons N'S perpendiculaire à N'b, nous aurons :

$$AS = \frac{\overline{AN}^2}{3H} = \frac{\overline{LN}^2}{3\Pi};$$

2° Prolongeons bA d'une quantité $AV = \frac{\Delta H}{q^2k}$, rabattons Ax sur l'horizontale AL, joignons Vx_1 et menons x_1R perpendiculaire à Vx_1, nous aurons :

$$AR = \frac{q^2k}{\Delta} \times \frac{\overline{Ax}^2}{H},$$

et l'équation (A) deviendra :

$$\frac{E^2}{H} = AR + AS$$

$$E^2 = (AR + AS)\,H\,;$$

il restera donc, pour avoir E, à construire une moyenne proportionnelle à (AR + AS) et H.

Pour cela, descendons SR de la quantité SA, de manière que S coïncide en A et R en R', puis sur BR' comme diamètre décrivons une demi-circonférence BL'R', la ligne AL' sera l'épaisseur cherchée, puisqu'on aura $\overline{AL'}^2 = (AR + AS)\,H$.

682. Observations. — Cette solution des diverses questions relatives à la détermination de la poussée des terres, de son moment, de son bras de levier et de l'épaisseur à donner au mur de soutènement, s'applique à tous les cas qui peuvent se présenter ; seulement elle se simplifie ou se complique selon les diverses données de la question, mais sans cependant cesser d'être possible sans de grandes difficultés. Il nous suffira de donner quelques indications à cet égard, en renvoyant, pour plus de détails, à l'ouvrage remarquable dans lequel nous avons puisé ceux qui précèdent :

1° Lorsque les terres, au lieu d'aboutir (comme dans le cas pris pour exemple) à la ligne intérieure du sommet du mur, viennent le recouvrir en laissant une berme plus

ou moins large, la poussée doit être comptée, comme on en a déjà fait l'observation (672), sur la hauteur AV (*fig.* 905), et l'on doit ajouter, au moment du poids du mur, celui du triangle de terre bBV qui le surmonte. On évite toutes ces difficultés inhérentes à cette question en se donnant la base bB et la hauteur BV de ce triangle, et en réduisant cette hauteur dans le rapport $\frac{\delta}{\Delta}$, ce qui revient à remplacer le triangle de terre bBV par un triangle équivalent de maçonnerie bBV'.

Moyennant ces dispositions, l'équation des moments est :

$$\text{mom}^t \text{ ALNB} - \text{mom}^t \text{ LNb} + \text{mom}^t \text{ bBV}' = k\text{PL},$$

ou bien en employant les notations précédentes et faisant Ns égal au bras de levier du petit triangle bBV' :

$$\frac{\Delta E^2 H}{2} - \frac{\Delta \times \overline{Nb}^2 \times H}{6} + \frac{bB \times BV' \times \Delta \times Ns}{2} = \frac{q\delta k}{2} \overline{Ax}^2 \times H.$$

Divisant tout par $\frac{\Delta H^2}{2}$, l'équation prend cette forme :

$$\frac{E^2}{H} - \frac{\overline{Nb}^2}{3H} + \frac{bB \times BV' \times Ns}{H^2} = \frac{q\delta k}{\Delta} \times \frac{\overline{Ax}^2}{H},$$

qui permet d'en construire tous les termes par des procédés tout à fait semblables à ceux qui viennent d'être exposés.

2° Si, au lieu d'être verticale, la paroi intérieure du mur était inclinée, la détermination de P, de M et de L se ferait de la même manière que précédemment, mais dans ce cas, la poussée, agissant normalement à la paroi AB, au lieu d'être horizontale, serait exprimée par :

$$P = \tfrac{1}{2} \delta \cos \varepsilon \overline{Ax}^2,$$

ε étant l'angle de la paroi avec la verticale. Cette poussée et son moment ne devraient être comptés que jusqu'en t (pied de la perpendiculaire abaissée de F sur AB (*fig.* 903), parce qu'au delà, loin de tendre à culbuter le revêtement, elle tend au contraire à l'affermir sur la base.

Cette circonstance introduit quelque complication dans la solution de la question, parce que AI dépend de l'épaisseur inconnue du mur, mais il est fort rare qu'elle se présente dans la pratique. Généralement le parement intérieur des murs de soutènement est vertical, ou trop peu incliné pour qu'il soit nécessaire de tenir compte de l'inclinaison.

3° Quand les terres viennent aboutir au sommet intérieur du mur (*fig.* 910) en pente plus douce que le talus naturel, la détermination de PL se simplifie considérablement. Il suffit alors de chercher un des points x de la courbe limite des valeurs de Ax et de faire passer une droite par ce point x et le point B. Cette droite est la courbe limite elle-même. En effet, il est visible d'abord que cette courbe doit passer

par le point B, puisque pour ce point la poussée est nulle et qu'on doit avoir $Ax = 0$.

En second lieu, remarquons que dans le cas présent, il n'y a pas de transformation de profil à faire, et que le point K, qui dépend de cette transformation, se confond avec le point B. D'après cela, tous les points K' sont donnés par une seule et même droite BK' parallèle à AM. D'ailleurs, comme tous les points x, x' sont déterminés de manière qu'on ait :

$$\overline{0t}^2 = \overline{0x}^2 = 0K' \times 0A,$$

$$\overline{0't'}^2 = \overline{0'x'}^2 = 0'K'' \times 0'A',$$

il sera visible, attendu la proportionnalité qui existe, en vertu des autres constructions, entre 0k', 0'K'', 0A, 0'A', que la ligne xx'B sera elle-même une droite.

Le moment de la poussée sera donc représenté, dans ce cas, par l'aire triangulaire ABx multipliée par la distance de son centre de gravité à la droite BA et multipliée par δ (poids ou mètre cube de terre), c'est-à-dire par :

$$PL = \frac{\overline{\delta}\, A\overline{x}^2 H}{6},$$

et le bras de levier de la poussée ou L sera égal à $\frac{H}{3}$.

4° Quand le terrassement est terminé par deux plans diversement inclinés, mais dont l'un aboutit en pente douce au sommet du mur, comme dans le cas représenté (*fig.* 911), on commence par déterminer la portion Bx'' de la courbe relative aux poussées exercées de B en A'', par le procédé qui vient d'être indiqué, puis on construit le restant par la méthode générale.

5° La solution de la question de l'épaisseur à donner au mur, quand on suppose qu'il pourra glisser sur sa base, se fait, comme on l'a indiqué dans la théorie analytique, en égalant la force de poussée au frottement qui s'exerce sur la base. Ainsi désignant par f le coefficient de frottement sur la base, on aura, dans le cas où le mur est chargé de terre (*fig.* 905) et en supposant son talus extérieur incliné :

$$EH - \frac{\Delta \times LN \times H}{2} + \frac{\Delta \times bB \times BV'}{2} = \frac{\delta k' \overline{Ax}^2}{2f}.$$

Et en divisant tous ces termes par ΔH :

$$E - \frac{LN}{2} + \frac{bB \times BV'}{2H} = \frac{\delta k'}{2f\Delta} \times \frac{\overline{Ax}^2}{H},$$

expression qui se construira d'une manière analogue à celles des n^{os} 681 et 682.

683. Formes des revêtements et des contreforts. — Les recherches des géomètres sur la poussée des terres ont eu non-seulement pour objet de déterminer l'épaisseur qu'il convient de donner aux murs de terrasse ou de revêtement, mais encore de jeter quelque lumière sur les questions suivantes :

1° Quelle est la forme la plus avantageuse à donner aux murs de revêtement ?

2° Quelles sont les formes et les dimensions les plus convenables à donner aux contre-forts ?

A l'égard de la première question, une discussion que nous ne croyons pas devoir reproduire ici, montre que de toutes les formes de revêtement, celle qui aurait le talus extérieur le plus grand, tandis qu'elle offrirait un talus intérieur renversé de 1 de base pour 6 de hauteur, présenterait, sous un volume égal de maçonnerie la plus grande stabilité, ou exigerait, pour une même stabilité, le *minimum* de volume.

Mais diverses considérations pratiques s'opposent à l'emploi de ces dispositions. Un fort talus extérieur a le grave inconvénient d'être une cause de dégradation très-active, et un talus intérieur renversé entraînerait dans des difficultés de construction qu'il est bon d'éviter. D'ailleurs, la forme ci-dessus indiquée suppose que le mur culbuterait autour de l'arête extérieure de la base, et l'on ne paraît pas avoir observé qu'elle favorise le glissement sur cette même base au point de le rendre imminent dans des cas où cela ne serait nullement à redouter, si la paroi intérieure était verticale. Ces motifs doivent engager à ne pas s'écarter de la forme généralement reçue, et qui consiste à faire la paroi intérieure verticale, et la paroi extérieure très-peu inclinée. Vauban donnait à cette paroi une inclinaison de $\frac{1}{5}$; mais l'expérience a fait connaître qu'elle était trop forte, et dans les murs de revêtement de fortifications, construits plus récemment, on a rarement outre-passé la pente de $\frac{1}{20}$.

Quant à la deuxième question, la théorie indique que les contre-forts devraient avoir une forme précisément inverse de celle qu'on leur donne ordinairement, d'après les descriptions de Vauban (670). On peut voir, en effet, que si on les faisait de forme triangulaire (*fig.* 915), ce qui revient à réduire à zéro la largeur de la petite base, leur bras de levier serait égal à l'épaisseur du mur à la base, augmentée des *deux tiers* de leur longueur de queue, tandis que dans le système de Vauban il est égal à la même épaisseur augmentée du *tiers* seulement de la longueur de queue. Mais l'expérience a démontré, comme nous l'avons déjà dit au numéro cité plus haut, qu'il était plus à redouter de voir les contre-forts se détacher du mur, que culbutés avec lui, et c'est un motif suffisant pour donner à la surface de liaison le plus grand développement possible. D'ailleurs, entre les *formes pratiques* que l'on pourrait adopter dans le premier système, et celles assignées par Vauban, la différence des moments est à peu près insignifiante. On fera donc sagement de s'en tenir aux formes et aux dimensions précédemment indiquées. Elles ont pour elles l'épreuve d'une longue expérience.

La théorie démontre au surplus qu'il y aurait non-seulement surcroît de dépense, mais encore, moins d'obstacles à la formation des brèches, en remplaçant les contre-forts par une sur-épaisseur uniforme de maçonnerie.

684. Revêtements en décharge. — Les revêtements en décharge sont composés (*fig.* 912, 913, 914) d'un mur de masque M armé de contre-forts rectangulaires B, supportant une ou plusieurs rangées de voûtes en plein cintre ou en arc de cercle V.

La théorie de la poussée des terres peut s'appliquer à la détermination de leurs

principales dimensions. Il nous suffira de donner à cet égard quelques prescriptions générales.

1° On doit donner aux contre-forts ou pieds-droits B au moins 6 mètres de longueur. Dans tous les cas, on ne peut leur en donner une moindre que celle qui leur procurerait une stabilité pour le moins égale à celle du revêtement de Vauban de 10 mètres de hauteur, en les considérant comme pressés par un prisme de terre ADC (*fig.* 912), agissant contre la surface couverte de hachures dans la *fig.* 914. Leur épaisseur transversale doit être calculée de manière à ce qu'ils puissent résister aux efforts d'écrasement provenant du poids des voûtes et des terres qui les surmontent. Quand ces pieds-droits sont percés de portes ou de créneaux, il est bien entendu que la section transversale prise à un niveau xy (*fig.* 912), tel qu'on recoupe à la fois tous ces évidements, doit être au moins égale à celle qui serait donnée par la formule $P = R_1'\Omega$, dans laquelle P exprime la charge totale R_1' la limite de la charge permanente pour la maçonnerie soumise à l'écrasement, et Ω la section transversale. On prescrit de tenir les baies de portes éloignées de 2 mètres au moins de la paroi intérieure du mur de masque.

2° L'épaisseur des voûtes de décharge se règle d'après leur portée et la surcharge de terre à laquelle elles sont soumises. Dans les fortifications, on prescrit de leur donner au moins 70 à 80 centimètres, si elles n'ont qu'une petite portée, et de leur assigner 90 centimètres à 1 mètre, si elles sont grandes. Dans tous les cas, l'étage supérieur doit être assez épais pour résister au choc et à l'explosion des bombes.

3° L'épaisseur des murs de masque, depuis la fondation jusqu'au niveau du sol de la galerie (EF), doit être calculée comme si elle faisait partie d'un revêtement ordinaire de la hauteur EK, soumis à la poussée d'un prisme HEI. Quant à la partie excédante, si l'extrados du dernier étage de voûtes est arasé de niveau avec le sommet du mur, on peut régler son épaisseur comme celle d'un simple mur de clôture, soutenu de distance en distance par des murs en retour d'équerre ; si au contraire le mur de masque dépasse l'arasement des voûtes, il faudra le considérer comme sollicité à culbuter autour du point z par l'effet d'une force de poussée due au prisme HGL, et déterminer son épaisseur en conséquence.

4° Les murs de soutènement D, situés au fond des arceaux de décharge, doivent avoir une épaisseur capable de résister au prisme de terre qui pèse sur eux ; mais cette poussée est très-difficile à apprécier d'une manière tant soit peu exacte à cause des arcs-boutements qui s'établissent à l'intérieur du prisme Dopq, en vertu de la pression exercée sur la surface Sq par le prisme DSq. D'ailleurs, il est à observer que ces murs sont reliés aux pieds-droits des voûtes, ce qui leur communique un surcroît de résistance dont il serait bien difficile de tenir compte. On estime généralement qu'il suffit, pour les cas ordinaires, de leur donner 60 à 80 centimètres d'épaisseur, quand ils présentent, comme dans la *fig.* 913, une arcature de $\frac{1}{10}$ de flèche contre la poussée des terres, et un mètre quand ils sont construits en ligne droite.

TROISIÈME SECTION

THÉORIE DE L'ÉQUILIBRE DES VOUTES.

685. Définitions. — On nomme *voûte*, un assemblage de pierres cunéiformes appelées *voussoirs* ou *claveaux* (*fig.* 916), disposées de manière à se soutenir les unes les autres, au-dessus d'un espace vide, et reposant, le plus souvent, sur des murs ou piliers verticaux appelés *pieds-droits*, *piles* ou *culées*. Les voussoirs portent eux-mêmes différents noms. On appelle :

Clef. — Le voussoir qui occupe le sommet de la voûte A (*fig.* 916) ;

Contre-clefs. — Les deux voussoirs adjacents B,B ;

Coussinets. — Les dernières assises des pieds-droits, contre lesquelles se posent les premiers voussoirs C.

La surface de joint qui sépare le coussinet du premier voussoir porte le nom de *naissance de la voûte ;*

Les parties situées entre les naissances et la clef ont celui de *reins* ;

On appelle encore *intrados* ou *surface de douelle* la surface inférieure de la voûte et *extrados* sa surface extérieure.

Il est assez rare que les surfaces d'*intrados* et d'*extrados* soient parallèles ou, en d'autres termes, que la voûte soit *extradossée parallèlement* comme dans la *fig.* 916 ; le plus souvent la surface d'extrados a pour génératrice une courbe d'un plus grand rayon que l'intrados (*fig.* 917), ou bien elle est formée de deux plans inclinés à la manière des versants d'un toit (*fig.* 918), ou bien encore elle est horizontale (*fig.* 919).

Les voûtes peuvent affecter un très-grand nombre de formes, dont les principales ont été étudiées dans les cours de géométrie descriptive et d'architecture. Dans ce qui va suivre, nous aurons principalement en vue les voûtes en *berceau*, c'est-à-dire celles qui ont pour génératrice un arc de cercle et dont l'axe est droit. Ce sont celles dont on fait le plus communément usage ; il sera facile d'étendre aux voûtes d'un autre genre les considérations qui s'appliquent à celles-ci.

La théorie de l'équilibre des voûtes, comme celle de la poussée des terres, a fourni un très-grand aliment à la curiosité et aux recherches des géomètres. Nous ne rapporterons ici de ces recherches que ce qui nous a paru particulièrement utile aux praticiens.

686. Questions proposées. — L'une des premières questions dont on s'est occupé consistait à déterminer, au moyen du calcul, les formes de voûtes les plus convenables, en supposant leurs voussoirs sollicités par des forces diversement réparties et dirigées ; mais ces recherches n'ont, en résumé, abouti à rien d'utile pour les applications pratiques, et nous nous dispenserons d'en parler.

D'autres questions beaucoup plus intéressantes pour les constructeurs ont été en-

suite soumises aux vérifications du calcul ; il s'agissait de déterminer, en prenant les formes généralement employées, l'épaisseur qu'il faut donner aux diverses parties d'une voûte pour qu'elle reste en équilibre, et qu'elle puisse résister aux forces accidentelles qui pourraient la menacer de destruction. La discussion de ces questions, bien qu'elle fasse abstraction de certaines conditions très-influentes, a fourni des indications de la plus haute utilité.

687. Observation fondamentale sur laquelle repose leur solution. — Il suffit de jeter un coup d'œil sur la *fig.* 916 pour s'apercevoir bien vite que les voussoirs de la clef et ceux qui se trouvent dans son voisinage ne sont maintenus dans leur position que par la réaction qu'ils éprouvent de la part des voussoirs placés près des naissances ; et que la voûte s'écroulerait infailliblement, si la tendance des premiers à descendre, en vertu de la pesanteur, n'était suffisamment contre-balancée par la tendance des seconds à les soulever en obéissant aux mêmes lois de la gravité.

On conçoit donc, sans difficulté, que les questions relatives à l'établissement des voûtes sont susceptibles d'être traitées par les principes ordinaires de la statique.

On doit à Parent et à La Hire les premières recherches à ce sujet.

688. Hypothèses de La Hire. — La Hire suppose : 1° qu'une voûte en plein cintre trop faible se rompt toujours au milieu des reins, c'est-à-dire suivant les lignes MN, mn (*fig.* 916), faisant avec la verticale un angle de 45° ;

2° Qu'une voûte surbaissée et en anse de panier, dont la flèche ou montée est égale au $\frac{1}{3}$ de la corde ou portée (disposition communément adoptée), se rompt dans le prolongement de deux rayons, faisant un angle de 30° avec la verticale (*fig.* 920), et appartenant à la partie supérieure de la courbe ;

3° Que, dans l'un et l'autre cas, la partie supérieure MN nm, agit comme un coin qui tend à descendre entre les deux plans MN, mn, en faisant pirouetter, de dedans en dehors, les parties inférieures de la voûte autour de l'arête extérieure de la naissance ou du pied-droit ;

4° Que les surfaces de glissement MN, mn sont infiniment polies, ce qui permet de faire abstraction du frottement.

Partant de ces hypothèses, il recherche quelle est la pression exercée perpendiculairement à chacun des plans MN, mn, et d'après cela l'épaisseur qu'il faut donner aux parties inférieures de la voûte, pour qu'elles aient assez de stabilité pour résister à cette pression. Les calculs sont alors d'une grande simplicité, et ils conduisent à des résultats reconnus immédiatement applicables à la pratique, ce qui, comme nous le verrons ultérieurement, n'est pas le cas de la théorie plus savante, mais aussi beaucoup plus compliquée, par laquelle on a remplacé celle dont nous venons de donner une idée.

Les hypothèses arbitraires de La Hire durent nécessairement être attaquées, et l'on entreprit des expériences, tant en petit qu'en grand, pour démontrer leur manque de fondement.

689. Faits d'expérience. — En 1732, M. Danisy démontra devant l'académie de

Montpellier, au moyen de petits modèles de voûtes, que généralement la rupture ne s'opérait pas ainsi que l'avait supposé le géomètre dont nous venons de parler. Il constata que lorsqu'une voûte se rompt par la prépondérance des parties supérieures sur les parties inférieures, elle se divise en quatre quartiers qui tendent à tourner, ainsi que l'indique la *fig.* 921, en agissant les uns contre les autres à la manière de leviers pesants.

Plus tard, ces résultats furent vérifiés en grand par M. Boistard, ingénieur des ponts et chaussées, qui constata, de plus, que quand les voûtes tendent à se rompre par la prépondérance des parties inférieures, la rupture s'opère encore d'une manière analogue, mais en sens inverse (*fig.* 922).

On constata, en outre, dans ces diverses expériences, que les joints de rupture MN, mn, ne se manifestent pas toujours au milieu des reins, ainsi que l'avait supposé La Hire, mais que leur position varie au contraire suivant différentes circonstances.

On reconnut enfin que la rupture pouvait aussi avoir lieu par glissement des diverses parties des voûtes les unes sur les autres ; mais que ce mode de rupture ne se produisait réellement que dans des cas tout à fait exceptionnels.

Ces diverses observations forment la base de la théorie actuelle, que nous allons maintenant exposer.

ARTICLE PREMIER.

EXPOSITION DE LA THÉORIE.

690 Hypothèses admises. — On suppose :

1° Qu'il se trouve au milieu de la clef un joint vertical, qui divise la voûte en deux parties égales ;

2° Qu'il existe aussi des joints aux points où la voûte est le plus disposée à se rompre ;

3° Que la maçonnerie de la voûte et de ses pieds-droits est homogène dans toute son étendue, d'où il résulte que les poids des divers quartiers qu'on a à considérer, sont proportionnels à leur surface de section.

691. Ce qu'on appelle poussée horizontale. — Soit (*fig.* 923) une voûte en berceau ABC, posant sur des pieds-droits AF, CE. On voit sans peine que les deux demi-voûtes, situées à droite et à gauche du point vertical BH, ne se tiennent dans la position où elles sont représentées qu'en vertu de l'action réciproque qu'elles exercent l'une contre l'autre, par suite de leur tendance à tomber en tournant autour des points E, F. On voit aussi qu'on ne changerait rien à l'état d'équilibre en supprimant l'une des deux moitiés, et en la remplaçant par une force horizontale P appliquée contre le joint BH.

Cette force P, provenant de la réaction des deux demi-voûtes l'une contre l'autre, est ce qu'on appelle la *poussée horizontale de la voûte*, et c'est de sa connaissance

que dépend la solution des principaux problèmes relatifs à la stabilité des voûtes.

692. Comment on la détermine. — 1° *En ne tenant pas compte de la cohésion du mortier.* Pour qu'il y ait équilibre dans toute la demi-voûte, il faut nécessairement que cette force satisfasse à la condition d'empêcher une portion BNMII quelconque de tourner autour de l'arête M ou de glisser dans le sens NM ; et de plus, il faut que cette force ne soit pas assez grande pour déterminer la rotation autour de l'arête N' d'une portion quelconque BN'M'H de la demi-voûte, ou pour la faire glisser dans le sens de M'N'.

Ces diverses conditions permettront toujours de déterminer la poussée horizontale de la voûte.

Nommons :

Q le poids de la portion de voûte BNMH, supposé concentré en son centre de gravité G ;

Q' le poids de la portion BN'M'H, supposé concentré en son centre de gravité G' ;

φ la distance Mx ;

φ' la distance $N'x'$;

y, y' les distances My, $N'y'$;

z l'angle du joint MN avec la verticale ;

z' l'angle du joint M'N' avec la verticale ;

f le coefficient de frottement convenable aux pierres de la voûte.

L'équilibre exigera, d'après ce qui vient d'être dit :

1° Que le moment de P par rapport à M soit égal au moment de Q, par rapport au même point, ou plus grand que lui, c'est-à-dire que l'on ait :

$$P\,y => Q\varphi ;$$

ou

$$P => \frac{Q\varphi}{y} ;$$

2° Que le moment de P par rapport à N' soit égal au moment de Q' par rapport au même point, ou plus petit que lui, c'est-à-dire que :

$$Py' <= Q\varphi'.$$

$$P <= \frac{Q'\varphi'}{y'} ;$$

3° Que la tendance au glissement suivant MN soit égale à la force qui tend à retenir le voussoir MNBH sur ce plan, ou plus petite qu'elle.

Décomposons les forces P et Q parallèlement et perpendiculairement au plan MN. Les composantes parallèles sont P sin z et Q cos z. Les composantes normales sont P cos z et Q sin z. La composante Q cos z tend seule à faire glisser le voussoir suivant NM. La composante P sin z s'oppose directement à ce mouvement, et les composantes normales P cos z et Q sin z engendrent sur ce plan un frottement représenté par f (P cos z + Q sin z) qui s'ajoute à P sin z. On devra donc avoir, d'après ce qui vient d'être dit :

$$Q \cos z <= P \sin z + f (P \cos z + Q \sin z),$$

ou bien :

$$P => Q \frac{\cos z - f \sin z}{\sin z + f \cos z}.$$

4° Que la tendance au glissement suivant M'N' soit plus petite que la force qui s'y oppose ou égale tout au plus à cette même force, c'est-à-dire que :

$$P \sin z <= Q \cos z + f (P \cos z + Q \sin z),$$

ou bien :

$$P <= Q \frac{\cos z + f \sin z}{\sin z - f \cos z}.$$

2° *En tenant compte de la cohésion du mortier.* Dans les équations précédentes nous n'avons pas tenu compte de la cohésion du mortier, mais il est facile de le faire ainsi qu'il suit :

Nommons :

R_1, le coefficient de résistance à la rupture par compression du mortier employé, coefficient que l'on peut prendre égal moyennement à 800,000^k ;

D le coefficient de la résistance du mortier à la rupture par disjonction = 7,000^k à peu près,

s la longueur du joint MN, M'N'.

La résistance à la rupture par rotation sera exprimée, ainsi qu'on l'a démontré dans la section précédente, par $\frac{Rs^2}{6}$, et la résistance à la rupture par disjonction par Ds.

Ces résistances s'ajoutent ou se retranchent, suivant leur mode d'action, des seconds membres des expressions ci-dessus qui deviennent :

$$P => \frac{Q\varphi}{y} - \frac{R_1 s^2}{6y}.$$

$$P <= \frac{Q\varphi'}{y'} + \frac{R_1 s^2}{6y'}.$$

$$P => \frac{Q (\cos z - f \sin z) - Ds}{\sin z + f \cos z}.$$

$$P <= \frac{Q (\cos z + f \sin z) + Ds}{\sin z - f \cos z}.$$

Ordinairement, dans les calculs relatifs à l'établissement des voûtes, on ne tient aucun compte de cette force de cohésion, parce qu'on suppose, en général, que les mortiers ne sauraient avoir fait une prise bien solide à l'époque du décintrement. Cependant il est évident qu'il est des cas où il serait très-convenable d'y avoir égard ; par exemple, lorsqu'on fait usage d'excellents mortiers hydrauliques, susceptibles de faire prise presque sur-le-champ. Du reste, c'est à l'ingénieur à faire relativement à cela ce qu'il convient, d'après le soin qu'il apporte au choix et à la préparation des matières qui entrent dans la composition des mortiers et le degré de confiance qu'il a dans la surveillance des agents placés sous ses ordres.

Pour nous, nous devons faire abstraction de la plus ou moins bonne exécution, et cette considération doit nous engager à ne tenir aucun compte de cette résistance dans les différents exemples que nous traiterons.

693. Détermination des plans de rupture. — Si l'on connaissait, ainsi que nous l'avons supposé jusqu'à présent, la position des plans de rupture MN, M'N', la recherche de la grandeur de la poussée et la solution des questions relatives à l'établissement des voûtes n'offriraient pas de grandes difficultés, même en les envisageant sous le point de vue le plus général. Mais la position de ces plans n'étant pas connue *à priori*, il faut commencer par la déterminer, et c'est en cela que réside, comme on le verra, la principale difficulté.

On aperçoit tout d'abord que, quel que soit le mode de rupture que l'on considère, la force P prendra autant de valeurs que l'on assignera de positions au joint MN, ou M''N''. Or, comme elle reste la même pour une même voûte, il est visible qu'elle devra être telle qu'elle soit capable de maintenir une position quelconque de la demi-voûte contre tout mouvement qui tendrait à s'y produire.

Considérons, par exemple, le cas où la rupture aurait lieu comme dans la *fig.* 925, c'est-à-dire par rotation des parties supérieures autour de l'arête située à l'intrados de la voûte ; il est clair que la valeur de P devra être au moins égale au *maximum* de $\frac{Q\varphi}{y}$, puisque, si elle était plus petite, il y aurait évidemment une position telle que le moment du poids du voussoir MNHB l'emporterait sur celui de la poussée horizontale, et pour laquelle l'équilibre n'aurait pas lieu.

Si au contraire la rupture tendait à se faire en sens inverse, la poussée P devrait être égale au *minimum* de l'expression $\frac{Q\varphi'}{y}$, parce que, si elle était plus grande, il y aurait, encore une fois, une position de joint pour laquelle l'équilibre serait rompu.

On appliquera aisément ces raisonnements au cas de la rupture par glissement, et l'on verra que, dans les cas où les parties supérieures tendent à descendre, la force P doit être égale au moins au *maximum* de l'expression,

$$Q\,\frac{\cos z - f \sin z}{\sin z + f \cos z},$$

et dans le cas contraire, au plus égale au *minimum* de l'expression,

$$Q\,\frac{\cos z + f \sin z}{\sin z - f \cos z}.$$

C'est donc de la recherche de ces *maximum* et *minimum* qu'il faut d'abord s'occuper.

694. Cas ordinaires de la pratique. — Afin de faciliter cette recherche, nous observerons :

1° Que dans les cas ordinaires de la pratique, il n'y a que deux modes de rupture possibles : ceux où les parties supérieures de la voûte tendent à descendre par l'effet de leur poids, soit en tournant autour de l'arête intérieure M, soit en glissant sur le plan NM, en repoussant ainsi les parties inférieures en dehors : les deux autres modes

de rupture n'ont chance de se produire que dans le cas de très-fortes surcharges placées sur les reins ;

2° Que dans les voûtes en plein cintre extradossées d'égale épaisseur, la rupture tend à se faire vers l'angle de 60° avec la verticale ;

3° Que dans les voûtes en anse de panier, décrites avec trois arcs de cercle de 60° environ et surbaissées au tiers ou au quart, la rupture tend à se faire vers l'angle de 45° ou de 55° à compter de la naissance du petit arc ;

4° Finalement que dans les voûtes en arc de cercle, le point de rupture est à l'intersection de l'arc et du pied droit, à moins que la voûte ne soit extradossée sur une très-petite épaisseur ou que l'amplitude de l'arc ne dépasse pas 120°.

ARTICLE II.

APPLICATIONS DE LA THÉORIE.

Nous allons maintenant montrer diverses applications de la théorie que nous venons d'exposer et indiquer les principales simplifications qui ont été imaginées pour la solution des questions (1).

§ 1. — VOUTE DEMI-CIRCULAIRE EXTRADOSSÉE PARALLÈLEMENT.

695. Données. — Les données pour ce genre de voûtes se réduisent au rayon R de l'extrados, et au rayon r de l'intrados.

696. Expression de la poussée dans l'hypothèse de la rotation. — Désignons par z (*fig.* 924) l'angle inconnu du plan de rupture avec la verticale, et supposons d'abord que la rupture se fasse par rotation autour du point M.

D'après ce qui a été dit plus haut, la poussée horizontale sera donnée par le *maximum* de l'expression

$$P = \frac{Q\varphi}{y}$$

dans laquelle P est la poussée, y le bras de levier de la poussée qu'on suppose appliquée au point H, Q le poids du voussoir (2) MNHB et φ le bras de levier de ce poids supposé concentré au centre de gravité du voussoir.

D'après ces notations, on a :

$$y = My = R - r\cos z ;$$

$$Q\varphi = \text{mom}^t \text{MNHB} = \text{mom}^t \text{ONH} - \text{mom}^t \text{OMB} ;$$

---

(1) Ces simplifications sont dues à M. Petit, elles font l'objet d'un mémoire inséré au *Mémorial de l'officier du génie*.

(2) *Voussoir* a ici la signification de partie de voûte. Nous en ferons souvent usage en ce sens pour abréger le discours.

$$\text{mom}^t\ \text{ONH} = \text{surf ONH} \times \text{MX} ;$$

$$\text{surf ONH} = \tfrac{1}{2} z\, R^2 ;$$

$$\text{MX} = \text{MO} - \text{OX} = r \sin z - \text{OG} \sin \tfrac{1}{2} z ;$$

$$\text{OG} = \frac{\frac{2}{3} R \times \text{NH}}{Rz} = \tfrac{2}{3} \frac{\text{NH}}{z} ; \text{ donc MX} = r \sin z - \tfrac{2}{3} \frac{\text{NH} \sin \frac{1}{2} z}{z},$$

$$\text{NH} = 2R \sin \tfrac{1}{2} z \text{ ; donc finalement MX} = r \sin z - \frac{4R \sin^2 \frac{1}{2} z}{3z}$$

D'après cela on a

$$\text{mom}^t\ \text{ONH} = \tfrac{1}{2} z\, R^2 \left(r \sin z - \frac{4R \sin^2 \frac{1}{2} z}{3z} \right).$$

On trouvera de même :

$$\text{mom}^t\ \text{OMB} = \tfrac{1}{2} z\, r^2 \left(r \sin z - \frac{4r \sin^2 \frac{1}{2} z}{3z} \right);$$

et d'après cela il vient :

$$P = \frac{\frac{1}{2} z R_2 \left(r \sin z - \frac{4R \sin^2 \frac{1}{2} z}{3z} \right) - \frac{1}{2} z\, r^2 \left(r \sin z - \frac{4r \sin^2 \frac{1}{2} z}{3z} \right)}{R - r \cos z}$$

$$P = \frac{\frac{1}{2} zr \sin z (R^2 - r^2) - \frac{2}{3} \sin^2 \frac{1}{2} z (R^3 - r^3)}{R - r \cos z}.$$

$$P = \frac{3z\, r \sin z (R^2 - r^2) - 2 (1 - \cos z) (R^3 - r^3)}{6 (R - r \cos z)}$$

Si l'on représente par $K = \frac{R}{r}$ le rapport du rayon de l'extrados à celui de l'intrados et si l'on remplace dans l'expression précédente R par sa valeur Kr, elle y prendra cette forme

$$P = r^2 \times \frac{\frac{1}{2} (K^2 - 1) z \sin z - \frac{1}{2} (K^3 - 1) (1 - \cos z)}{K - \cos z} \ldots\ldots\ldots (A)$$

C'est de cette expression qu'il faut trouver le *maximum*. Pour cela différencions-la par rapport à z et faisons $\frac{dP}{dz} = 0$, il viendra :

$$\frac{dP}{dz} = 0 = r^2 \times \left[\frac{(K - \cos z) \left\{ \frac{1}{2} (K^2 - 1) (\sin z + z \cos z) - \frac{1}{2} (K^3 - 1) \sin z \right\}}{(K - \cos z)} \right.$$

$$\left. - \frac{\sin z \left\{ \frac{1}{2} (K^2 - 1) z \sin z - \frac{1}{3} (K^3 - 1) (1 - \cos z) \right\}}{(K - \cos z)^2} \right]$$

Mettant en évidence tous les facteurs communs et faisant disparaître le facteur $\frac{r^2}{(K - \cos z)^2}$ commun à tous les termes, on obtient :

$$0 = \tfrac{1}{2} (K^2 - 1) \left\{ (\sin z + z \cos z) (K - \cos z) - z \sin^2 z \right\}$$

$$- \tfrac{1}{3} (K^3 - 1) \left\{ - (1 - \cos z) \sin z + (K - \cos z) \sin z \right\} ;$$

réduisant la deuxième parenthèse,

$$0 = \tfrac{1}{2}(K^2-1)\left\{(\sin z + z\cos z)(K-\cos z) - z\sin^2 z\right\} - \tfrac{1}{3}(K^3-1)(K-1)\sin z;$$

divisant tout par $K-1$ et réduisant

$$0 = (K+1)\left\{(\sin z + z\cos z)(K-\cos z) - z\sin^2 z\right\} - \tfrac{2}{3}(K^3-1)\sin z;$$

d'où l'on tire en développant, puis en divisant tout par $\sin z$:

$$K + Kz\frac{\cos z}{\sin z} - \cos z - z\frac{(\cos^2 z + \sin^2 z)}{\sin z} = \tfrac{2}{3}\frac{K^3-1}{K+1};$$

et enfin, en faisant passer K dans le second membre, changeant les signes de tous les termes et remarquant que $\cos^2 z + \sin^2 z = 1$:

$$\cos z + (1 - K\cos z)\frac{z}{\sin z} = K - \tfrac{2}{3}\frac{K^3-1}{K+1} \quad \text{(B)}$$

Cette expression donnera, en fonction de quantités connues, la valeur de l'angle de rupture z qui rend P *maximum* ; mais il est à remarquer que l'équation étant transcendante, il faudra la résoudre par tâtonnement, en assignant diverses valeurs à z jusqu'à ce qu'elle soit satisfaite.

Ayant trouvé cette valeur de l'angle z, on la substituera dans l'expression (A) de P, et l'on obtiendra ainsi son *maximum* P^m, qui sera la valeur réelle de la *poussée horizontale* de la voûte.

Ces tâtonnements et ces substitutions sont généralement fort longs à effectuer. On abrége un peu le calcul de P^m en remarquant que l'expression (A) est de la forme $\frac{f(z)}{\varphi(z)}$ et que la condition du *maximum* donne :

$$f(z) \times d\varphi(z) - \varphi(z) \times df(z) = 0,$$

d'où :

$$\frac{f(z)}{\varphi(z)} = \frac{df(z)}{d\varphi(z)};$$

c'est-à-dire que le *maximum* P^m de P est égal au rapport de la différentielle du numérateur à celle du dénominateur de l'expression (A). En formant ainsi cette valeur, on a :

$$P_m = r^2\left\{\tfrac{1}{2}(K^2-1)\left(1 + \frac{z}{\sin z}\cos z\right) - \tfrac{1}{3}(K^3-1)\right. \quad \text{(C)}$$

expression dans laquelle les substitutions de z se feront plus aisément et plus vite que dans l'équation (A).

697. Remarque importante. — Il ressort des formules (A), (B), (C), que pour toutes les voûtes pour lesquelles K est le même, et qu'on peut appeler semblables :

1° *La poussée est proportionnelle au carré du rayon de l'intrados ;*

2° *L'angle du plan de rupture avec la verticale est constant.*

698. Conséquence qui en dérive. — Ces deux remarques importantes, qui sont

dues à MM. Lamé et Clapeyron, ont permis, comme nous allons le voir, de former des tables qui, quoique peu étendues, servent à déterminer la poussée pour une très-grande quantité de voûtes différentes.

Supposons, par exemple, le rapport $K = \frac{R}{r} = 1{,}10$, ce qui peut convenir à des voûtes de 1 mètre d'épaisseur et 20 mètres de diamètre intérieur :

0m,90	id.	18	id.
0 ,80	id.	16	id.
0 ,70	id.	14	id.
0 ,60	id.	12	id.
0 ,50	id.	10	id.

et à une infinité d'autres.

En substituant ce rapport dans l'équation (B), elle donne :

$$\cos z + (1 - 1{,}10 \times \cos z)\frac{z}{\sin z} = 1{,}10 - \tfrac{2}{3}\frac{1{,}331 - 1}{1{,}10 + 1} = 0{,}995.$$

Faisons $z = 50$ degrés, le premier membre devient :

$$0{,}6428 + (1 - 1{,}10 \times 0{,}6428)\frac{0{,}87265}{0{,}766} = 0{,}9778.$$

Faisons $z = 55$ degrés, on trouve :

$$0{,}5735 + (1 - 1{,}10 \times 0{,}5735)\frac{0{,}9599}{0{,}8191} = 1{,}0018.$$

On voit, d'après cela, que la véritable valeur de z est comprise entre 50 et 55 degrés, et de nouveaux tâtonnements feraient voir qu'elle est égale à 53°,15'.

Cette valeur étant substituée dans l'équation (C) ainsi que celle de K, on trouve pour l'expression de la poussée convenant à toutes les voûtes qui ont le même rapport $K = 1{,}10$.

$$P_m = 0{,}06754 \times r^2.$$

699. Expression de la poussée dans l'hypothèse du glissement. — Les calculs qui précèdent ont été faits dans la supposition que la voûte se romprait par rotation. Mais, pour être certain de la véritable valeur de la poussée, il faut examiner encore si la voûte, en se rompant par glissement des parties supérieures sur les inférieures, n'engendrerait pas une poussée plus grande que celle trouvée ci-dessus.

Cette nouvelle recherche se fait en prenant le *maximum* de l'expres sion

$$P = Q\frac{\cos z - f \sin z}{\sin z + f \cos z}.$$

Faisons $f = \text{tang}\,\theta$; θ étant l'angle de frottement des pierres les unes sur les autres, angle que l'on prend moyennement égal à 30° avec l'horizon. La formule précédente peut se mettre sous la forme

$$P = \frac{Q}{\text{tang}(z - \theta)} = \frac{Q}{\text{tang}(z + 30°)} \quad \text{(A)}$$

Comme on a, en outre,

$$Q = \text{surf ONH} - \text{surf OMB},$$

$$Q = \tfrac{1}{2} z (R^2 - r^2),$$

et en remplaçant R par sa valeur Kr,

$$Q = \tfrac{1}{2} r^3 (K^2 - 1) z,$$

l'expression (A) devient :

$$P = \tfrac{1}{4} r^2 \frac{(K^2 - 1) z}{\text{tang}\,(z + 30^\circ)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (B)$$

Le *maximum* de cette expression ne peut s'obtenir que par tâtonnement. On trouve, par exemple, en prenant $K = 1{,}10$ que l'angle z qui rend P *maximum* est égal à 26°, et en substituant cette valeur dans l'expression (B) on trouve pour le *maximum* de P :

$$P_m = 0{,}03213 \times r^2.$$

On voit donc que pour toutes les voûtes de l'espèce considérée, la poussée serait bien moindre en supposant que la rupture s'effectuera par glissement, que quand on admet qu'elle aura lieu par rotation, et que c'est, en conséquence, la valeur déduite de cette dernière hypothèse qu'il faut adopter.

700. Table de M. Petit. — En opérant, ainsi que nous venons de le faire voir, sur une série de valeurs de K très-rapprochées les unes des autres, M. Petit a formé une table (A) que nous donnons à la fin de cette section, dans laquelle il a placé, en regard de la valeur de K, celle du coefficient numérique désigné par C, correspondant à l'hypothèse du glissement ou de la rotation, par laquelle il faut multiplier le carré du rayon de l'intrados pour obtenir la poussée (1). Cette table est extrêmement commode pour résoudre presque sans calculs le problème qui nous occupe.

701. Exemple de l'usage de cette table. — Donnons-en un exemple. On demande de déterminer la poussée exercée par une voûte de 5 mètres de diamètre et de $0^m{,}50$ d'épaisseur.

On a ici $r = 2^m{,}50$, $R = 3^m{,}00$ et $K = 1{,}20$. La plus grande valeur de C donnée par l'hypothèse de la rotation, est 0,11140 ; d'après cela, on a pour la poussée :

$$P = 0{,}11140 \times \overline{2{,}50^2} = 0{,}071255.$$

Si la même voûte avait 1,25 d'épaisseur, on aurait $K = 1{,}50$ et la plus grande valeur de C donnée par l'hypothèse du glissement serait 0,17254 d'où la poussée $= 1{,}078476$.

702. Questions à résoudre. — Une fois la poussée de la voûte déterminée, les questions relatives à sa stabilité se résolvent aisément.

Ces questions sont les suivantes :

---

(1) Outre le coefficient C, par lequel il faut multiplier r^2 pour obtenir P^m, cette table donne les angles de rupture correspondants aux diverses valeurs de K.

Première question. Les dimensions d'une voûte sans pieds-droits étant données, trouver si cette voûte pourra se soutenir sur les naissances après le décintrement.

Deuxième question. L'intrados d'une voûte étant donné, trouver la plus petite épaisseur que cette voûte puisse avoir pour se maintenir sur le plan des naissances supposé immobile.

Troisième question. Une voûte étant donnée avec la hauteur de ses pieds-droits, trouver l'épaisseur que doivent avoir ces derniers pour résister à la poussée.

703. Solution de la première question. — Pour résoudre la première question, il faut vérifier si le moment de la demi-voûte, pris par rapport à l'arête extérieure du plan des naissances, est au moins égal au moment de la poussée pris par rapport à la même arête. On conçoit que s'il n'en était pas ainsi, la voûte ne saurait se soutenir. Si le moment de la demi-voûte est plus grand que celui de la poussée, elle aura alors un excès de stabilité sur le plan des naissances. En représentant par C le coefficient constant, par lequel il faut multiplier le carré du rayon de l'intrados, le moment de la poussée est :

$$Cr^2 \times R = CKr^3.$$

Le moment de la demi-voûte est égal au moment du grand secteur OSH (*fig.* 924), diminué du moment du petit secteur OBV, c'est-à-dire à :

$$r^3 \left\{ \tfrac{1}{4}\pi K\,(K^2-1) - \tfrac{1}{3}(K^3-1) \right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Il faut donc que l'on ait :

$$\tfrac{1}{4}\pi K\,(K^2-1) - \tfrac{1}{3}(K^3-1) => CK.$$

En effectuant les calculs pour les diverses valeurs de K comprises entre K = 2 et K = 1,01, on trouve que l'égalité a lieu à peu près pour K = 1,114, c'est-à-dire pour un système de voûtes dans lequel le diamètre est à peu près égal à 17 $\frac{1}{2}$ fois l'épaisseur. Pour les valeurs de K plus grandes que 1,114, CK devient de plus en plus petit ue le premier membre de l'équation, et les voûtes auxquelles elles conviennent

---

(1) Mom^t OSH $= \frac{1}{4}\pi\ K^2r^2 \times SX = \frac{1}{4}\pi\ K^2r^2 \times Kr - OX.$

Mais

$$OX = OG \sin 45 = \frac{4}{3}\frac{Kr \sin^2 45}{\frac{\pi}{2}} = \frac{4}{3}\frac{Kr}{\pi};$$

donc :

$$\text{mom}^t\ OSH = \tfrac{1}{3}\pi K^2r^2 \times Kr \left\{ 1 - \frac{4}{3\pi} \right\} = K^3r^3 \left\{ \frac{1}{4}\pi - \frac{1}{3} \right\};$$

on trouverait de même :

$$\text{mom}^t\ OVB = \tfrac{1}{4}\pi r^2 \times SX' = \tfrac{1}{4}\pi r^2 \times Kr - OX' = \tfrac{1}{4}\pi r^2 \left\{ Kr - \frac{4}{3}\frac{r}{\pi} \right\} = r^3 \left\{ \frac{1}{4}\pi K - \frac{1}{3} \right\};$$

La différence des moments est, d'après cela, en rassemblant les facteurs communs,

$$\text{momt VSHB} = r^3 \left\{ \tfrac{1}{4}\pi K\,(K^2-1) - \tfrac{1}{3}(K^3-1) \right\}.$$

ont un excès de stabilité sur les naissances, tandis que pour les valeurs de K plus petites que 1,114, la valeur CK devient plus grande que le premier membre de l'équation, ce qui indique que les voûtes de cette espèce ne pourraient se soutenir.

D'après ces remarques, on résoudra immédiatement la question qui nous occupe en calculant le rapport K. Si on le trouve plus grand que 1,114, la voûte est stable et d'autant plus stable que l'on s'éloigne de cette limite ; si on le trouve égal à 1,114, la voûte sera en état de strict équilibre, et finalement si on le trouve plus petit que 1,114, la voûte sera impossible.

Ainsi, l'on demande si une voûte de 10 mètres de diamètre et de 40 centimètres d'épaisseur est possible ; le rapport K est ici 1,08 moindre que 1,114 ; on pourra répondre que la voûte s'écroulera au moment du décintrement (1).

704. Solution de la deuxième question. — La deuxième question se résout avec la plus grande facilité au moyen des observations qui précèdent.

Puisque K = 1,114 donne la limite des voûtes possibles, on aura, en représentant par e l'épaisseur *minimum* de la voûte et par r le rayon d'intrados,

$$\frac{r+e}{r} = 1{,}114,$$

d'où :

$$e = 0{,}114 \times r.$$

Ainsi, la moindre épaisseur à donner à une voûte de 10 mètres de diamètre serait égal à

$$0{,}114 \times 5 = 0^{m},57.$$

705. Solution de la troisième question ; épaisseur théorique des pieds-droits. — Quant à la troisième question, elle se résout exactement de la même manière que celle qui concerne des murs quelconques soumis à une poussée dont on connaît la grandeur et le point d'application. Il suffit d'égaler le moment de cette poussée pris par rapport à l'arête inférieure et extérieure du pied-droit, au moment de ce même pied-droit et de la demi-voûte qui forment système, par rapport à la même arête. On fait entrer dans l'évaluation du moment du poids des maçonneries, l'épaisseur inconnue x du pied-droit, et l'équation des moments donne une relation entre cette dernière quantité et des quantités toutes connues.

Nommons en effet :

h la hauteur du pied-droit EV (*fig.* 925) ;

x son épaisseur inconnue, AE ;

r le rayon de l'intrados de la voûte ;

Kr le rayon de l'extrados ;

$P^m = Cr^2$ la poussée horizontale appliquée au point H, C étant le coefficient numérique donné par la table (A).

---

(1) En supposant, bien entendu, qu'on n'aura pas fait usage de mortiers hydrauliques ou qu'on n'a pas laissé subsister le cintre plus longtemps que d'habitude.

Le moment de la pousée par rapport à l'arête extérieure et inférieure du pied-droit sera :

$$Cr^2 (h + Cr).$$

Le moment de la demi-voûte et de son pied-droit sera égale au moment de AKVE + moment de OSH — moment OVB.

Le moment de AKVE $= \frac{hx^2}{2}$.

La différence des moments OSH et OVB,

$$r^2x \left(\tfrac{1}{4}\pi (K^2 - 1) \right) + r^3 \left(\tfrac{1}{4}\pi (K^2 - 1) - \tfrac{1}{3}(K^3 - 1) \right);$$

on aura pour déterminer x

$$Cr^2 (h + Kr) = \frac{hx^2}{2} + r^2x \left(\tfrac{1}{4}\pi (K^2 - 1) \right) + r^3 \left(\tfrac{1}{4}\pi (K^2 - 1) - \tfrac{1}{3}(K^3 - 1) \right) \text{(A)}$$

u en divisant tous les termes par $\frac{h}{2}$

$$x^2 + \tfrac{1}{2}\pi (K^2 - 1) \frac{r^2}{h} x = 2Cr^2 + \frac{2r^3}{h} \left\{ KC + \tfrac{1}{3}(K^3 - 1) - \tfrac{1}{4}\pi (K^2 - 1) \right\}$$

d'où l'on tire :

$$x = -\tfrac{1}{4}\pi (K^2 - 1) \frac{r^2}{h}$$

$$+ r \sqrt{\tfrac{1}{16}\pi^2 (K^2 - 1)^2 \frac{r^2}{h^2} + 2 \left\{ K + \tfrac{1}{3}(KC^3 - 1) - \tfrac{1}{4}\pi (K^2 - 1) \right\} \frac{r}{h} + 2C.} \text{(B)}$$

ou bien :

$$\frac{x}{r} = -\tfrac{1}{4}\pi (K^2 - 1) \frac{r}{h}$$

$$+ \sqrt{\tfrac{1}{16}\pi^2 (K^2 - 1)^2 \frac{r^2}{h^2} + 2 \left\{ KC + \tfrac{1}{3}(K^3 - 1) - \tfrac{1}{4}\pi (K^2 - 1) \right\} \frac{r}{h} + 2C.} \text{(C)}$$

706. Épaisseur pratique. — La valeur de x déduite des calculs précédents ne pourrait toutefois être immédiatement applicable à la pratique, car elle ne donnerait aux maçonneries que tout juste la force nécessaire pour résister à l'effort de la poussée, et la moindre circonstance accidentelle qui tendrait à augmenter cette poussée suffirait pour détruire tout le système. Il faut donc, comme nous l'avons déjà fait remarquer à propos des murs de revêtement, avant d'égaler le moment de la poussée à celui de la demi-voûte et de son pied-droit, le multiplier par un coefficient de stabilité qui mette la construction a l'abri de toute éventualité.

En comparant les épaisseurs données par la formule (A), après avoir multiplié Cr^2 par un coefficient de stabilité μ, avec celles fournies par les formules de La Hire qui, jusqu'à présent ont été trouvées très-convenables par les constructeurs, on a trouvé $\mu = 1{,}90$

On voit, d'après cela, qu'on donnera une stabilité comparable à celle obtenue avec les formules de La Hire aux pieds-droits des voûtes calculés d'après la formule (C), en multipliant par 1,90 tous les termes affectés de C.

La formule pratique susceptible de donner une épaisseur x répondant à la stabilité de La Hire sera donc :

$$\frac{x}{r} = -\tfrac{1}{4}\pi\,(K^2-1)\frac{r}{h}$$

$$+\sqrt{\tfrac{1}{26}\pi^2(K^2-1)^2\frac{r^2}{h^2}+2\left\{1{,}90\,KC+\tfrac{1}{3}(K^3-1)-\tfrac{1}{4}\pi(K^2-1)\right\}\frac{r}{h}}+3{,}80C. \quad (D)$$

707. Table de M. Petit. — M. Petit a calculé une table (B) propre à donner les *épaisseurs théoriques* des pieds-droits pour des valeurs de K comprises entre 2,00 et 1,10. Nous la reproduisons à la suite de la précédente, mais après l'avoir complétée. Nous avons placé sous les termes du radical qui sont affectés du coefficient de stabilité les chiffres qu'il faut substituer, pour obtenir l'*épaisseur pratique*, à ceux de l'expression théorique placée immédiatement au-dessus.

708. Exemple de l'emploi de cette table. — L'exemple suivant suffira pour rendre l'usage de cette table familier à ceux mêmes qui n'auraient aucune notion théorique.

On demande l'épaisseur à donner aux pieds-droits d'une voûte extradossée parallèlement de 8 mètres de diamètre et d'un mètre d'épaisseur, portée sur des pieds-droits de 6 mètres de hauteur.

On a pour ce cas :

$$r = 4^m \times R = 5^m. \quad K = \tfrac{1}{4} = 1{,}25$$

$$\frac{r}{h} = \frac{4}{6} \times \frac{r^2}{h^2} = \frac{16}{36}.$$

En cherchant dans la table (B) la formule correspondante à la valeur de $K = 1{,}25$, on trouve :

1° Pour l'épaisseur théorique ou *minimum*,

$$\frac{x}{4} = -0{,}4418 + \sqrt{\left(0{,}1952 \times \frac{16}{36} + 0{,}0730 \times \frac{4}{6} + 0{,}2569\right)};$$

d'où $x = 1^m{,}33$ à peu près ;

2° Pour l'épaisseur pratique,

$$\frac{x}{4} = -0{,}4418 + \sqrt{\left(0{,}1952 \times \frac{16}{36} + 0{,}3620 \times \frac{4}{6} + 0{,}4881\right)};$$

d'ou $x = 2{,}44$ à peu près.

709. Remarque importante. — Au surplus, il est une remarque qui peut dispenser de ces calculs, lorsqu'on ne veut qu'une simple approximation.

Si, dans les équations (C), (D), on fait h infiniment grand, elles se réduisent à

$x = r\sqrt{2\,C}$ pour l'épaisseur théorique,

$x = r\sqrt{3{,}80\,C}$ pour l'épaisseur pratique.

Or on observe que l'épaisseur trouvée pour ce cas limite (surtout l'épaisseur pratique) diffère généralement assez peu de celle qu'on obtiendrait pour une hauteur h finie, pour qu'il y ait peu d'inconvénient à s'en servir, lorsqu'on ne craint pas de donner aux maçonneries quelques décimètres de plus que cela n'est rigoureusement nécessaire.

En effet, prenant les données de la voûte précédente, on trouve (table A)

$$C = 0{,}12847,$$

et

$x = 2^m{,}03$ pour l'épaisseur théorique,

$x = 2^m{,}79$ pour l'épaisseur pratique,

au lieu de $1^m{,}33$ et $2^m{,}44$ trouvées par les formules générales.

La table (A) de M. Petit est complétée par les diverses valeurs que prennent $\sqrt{2\,C}$ et $\sqrt{3{,}80\,C}$ pour les diverses valeurs de K. Cette table peut ainsi servir à elle seule à résoudre les trois questions proposées pour les voûtes à extrados parallèle.

§ 2. — VOUTE EN ARC DE CERCLE EXTRADOSSÉE PARALLÈLEMENT.

Les méthodes de solution que nous avons exposées dans ce qui précède s'appliquent sans difficulté aux voûtes à extrados parallèle, dont la génératrice est un arc de cercle de plus ou moins d'amplitude.

710. Données. — Les données pour ce genre de voûte sont ordinairement (*fig.* 926) l'épaisseur $BH = a$, la portée $2\,VT = L$, et la flèche ou montée $TB = f$.

Au moyen de ces données, on peut déterminer facilement la valeur de r, et par suite de R, ainsi que le demi-angle au centre α.

En effet l'on a :

$$1^\circ \ldots\ldots r^2 = \frac{L^2}{4} + \left(r - f\right)^2 = \frac{L^2}{4} + r^2 - 2rf + f^2;$$

d'où :

$$r = \frac{f}{2}\left(\frac{1}{4}\frac{L^2}{f^2} + 1\right);$$

$$2^\circ \ldots\ldots R = r + a = \frac{f}{2}\left(\frac{1}{4}\frac{L^2}{f^2} + 1\right) + a;$$

$$3^\circ \ldots\ldots \sin\alpha = \frac{\frac{L}{2}}{r} = \frac{\frac{L}{f}}{\frac{1}{4}\frac{L^2}{f^2} + 1}.$$

711. Solution des trois questions du n° 702. — Ces relations permettent de former immédiatement le rapport K, de trouver, au moyen de la table (A), la poussée qui y correspond, et par suite de résoudre, pour les voûtes de cette espèce, les trois questions ordinaires.

712. Stabilité de la voûte sur ses naissances. — Pour la première, on égalera le

moment de la poussée pris par rapport à l'arête extérieure du plan des naissances au poids de la demi-voûte par rapport à la même arête, et il faudra, pour que la voûte soit stable, que le premier moment soit plus petit ou tout au plus égal au second.

713. Moindre épaisseur à la clef. — Pour la deuxième question, on recherchera en comparant les moments de la poussée et de la demi-voûte pris comme ci-dessus, pour divers systèmes de voûtes, quelle est la valeur du rapport K passé laquelle les voûtes ont un surcroît de stabilité, et en deçà de laquelle le moment de la poussée l'emporte sur celui de la demi-voûte. On opérera ensuite comme au n° 704, pour connaître la plus petite épaisseur qu'on puisse assigner à la voûte donnée.

714. Epaisseur théorique et pratique des pieds-droits. — Pour la troisième question enfin, on égalera le moment de la poussée pris par rapport à l'arête extérieure de la base du pied-droit au moment de la demi-voûte et de son pied-droit par rapport à la même arête.

On aura ainsi, en négligeant le petit trapèze situé au-dessus de SV, ce qui est tout à l'avantage de la solidité :

$$\frac{x}{r} = -\frac{1}{2}\alpha(K^2-1)\frac{r}{h}$$

$$+\sqrt{\frac{1}{4}\alpha^2(K^2-1)^2\frac{r^2}{h^2}+2\left\{C(K-\cos\alpha)(1\cos\alpha)-\frac{1}{2}(K^2-1)\alpha\sin\alpha\right\}\frac{r}{h}+2C} \quad (A)$$

pour l'épaisseur théorique,

et

$$\frac{x}{r} = -\frac{1}{2}\alpha(K^2-1)\frac{r}{h}$$

$$+\sqrt{\frac{1}{4}\alpha^2(K^2-1)^2\frac{r^2}{h^2}+2\left\{1{,}90\,C(K-\cos\alpha)(1-\cos\alpha)-\frac{1}{2}(K^2-1)\alpha\sin\alpha\right\}}$$

$$\frac{r}{h}+3{,}80\,C \quad (B)$$

pour l'épaisseur pratique.

Ces deux expressions se réduiront d'ailleurs, pour $h=\infty$, la première à

$$\frac{x}{r}=\sqrt{2C},$$

et la seconde à

$$\frac{x}{r}=\sqrt{3{,}80\,C}.$$

Mais on doit observer qu'ici les valeurs de x données par ces formules s'éloigneraient trop des épaisseurs fournies par les formules (A), (B), pour qu'on puisse en faire usage. On devra donc recourir nécessairement à l'emploi de ces formules générales dans les cas de cette espèce.

715. Observation. — Les solutions que nous venons d'indiquer supposent que le demi-angle au centre α est plus grand que l'angle de rupture z. Si, après avoir formé

le rapport K et consulté la table (A), on trouvait que le contraire a lieu, on devrait en conclure que la rupture de la voûte tendrait à se faire dans le plan même des naissances, et la poussée serait immédiatement donnée par l'expression (A) démontrée au n° 696 :

$$P = r^2 \times \frac{\frac{1}{2}(K^2 - 1)\alpha \sin\alpha - \frac{1}{3}(K^3 - 1)(1 - \cos\alpha)}{K - \cos\alpha},$$

pour le cas de la rotation, et pour le cas de glissement par l'expression (B)

$$P = \frac{1}{2} r^2 \frac{(K^2 - 1)\alpha}{\text{tang}(\alpha + 30)},$$

démontrée au n° 699, et dans laquelle, ainsi que dans la précédente, on n'a fait que remplacer z par α.

716. Table de M. Petit. — Comme α dépend (710) du rapport de $\frac{L}{f}$, on voit que le coefficient constant C, par lequel il faut multiplier r^2 pour obtenir la poussée, dépend non-seulement de K, mais encore de ce rapport, $\frac{L}{f}$. A l'effet de compléter la table (A) pour ce qui concerne les voûtes en arc de cercle à extrados parallèle, M. Petit en a calculé une autre (table E), dans laquelle on trouve immédiatement les valeurs de C correspondantes aux rapports K pour des systèmes de voûtes dans lesquels on a :

$$\frac{L}{f} = 4, \frac{L}{f} = 5, \frac{L}{f} = 6, \frac{L}{f} = 7, \frac{L}{f} = 8, \frac{L}{f} = 10, \frac{L}{f} = 16,$$

qui sont les plus usités, et au moyen desquelles on peut immédiatement résoudre les trois questions proposées de la manière indiquée précédemment.

717. Résumé des numéros précédents. — Ainsi, pour résumer en quelques mots tout ce qui vient d'être dit, lorsqu'on voudra calculer une voûte surbaissée en arc de cercle, on commencera par déterminer ses rayons intrados et extrados, ainsi que le demi-angle au centre, au moyen des données L et f ; on formera le rapport K ; on cherchera, dans la table (A), la valeur de l'angle de rupture correspondant ; si cet angle est moindre que α, on prendra la valeur de C donnée par cette table pour en faire usage dans les équations des numéros 714 et 716. Si cet angle est plus grand que α, on formera le rapport $\frac{L}{f}$, et l'on aura alors recours à la table (E) pour avoir la valeur de C, par laquelle il faut multiplier r^2 pour obtenir la poussée.

Cette valeur se trouvera vis-à-vis de celle de K dans celle des 7 colonnes de la table qui est relative au rapport $\frac{L}{f}$ trouvé. On résoudra ensuite les trois questions de la manière ordinaire.

Remarque. — Au surplus, on pourra se dispenser, pour ces voûtes en arc de cercle, de s'occuper des deux premières questions relatives à la stabilité de la demi-voûte sur ces naissances et à son minimum d'épaisseur. Les calculs de M. Petit prou-

vent que du moment que la flèche est égale au $\frac{1}{4}$ de la portée et à plus forte raison pour tous les systèmes plus surbaissés, le moment de la stabilité de la demi-voûte sur son pied-droit l'emporte toujours, et quelle que soit la valeur de K, sur celui de la poussée, d'où il résulte que ces voûtes ne peuvent s'écrouler après leur décintrement, quelle que soit leur épaisseur. L'épaisseur *minimum* doit se régler d'après la considération des pressions normales aux surfaces des voussoirs, qui se déterminent comme on le verra plus loin.

718. Glissement des voûtes en arc de cercle vers le plan des naissances. — Les voûtes en arc de cercle sont parfois sujettes à un accident qui n'est pas à craindre dans celles en plein cintre. La poussée peut les faire glisser sur le plan VS situé près de leur naissance. Pour s'assurer si cet effet est à craindre, il n'y a qu'à examiner si la poussée est plus grande que la force de frottement engendrée sur le plan VS par le poids des maçonneries supérieures (on néglige, pour plus de sécurité, la cohésion des mortiers). Représentant le coefficient de frottement des pierres les unes sur les autres par $f = \text{tang } 30° = 0{,}60$ à peu près, et ne tenant pas compte du petit trapèze situé au-dessus de VS, on aura ainsi :

$$0{,}30\,\alpha\,(K^2 - 1)\,r^2 = P = Cr^2,$$

ou

$$0{,}30\,\alpha\,(K^2 - 1) = C,$$

comme une limite en deçà de laquelle le glissement sera à redouter, et où l'on devra employer des moyens d'art pour s'y opposer.

§ 3. VOUTES EXTRADOSSÉES EN CHAPE ET HORIZONTALEMENT.

Les calculs relatifs aux voûtes extradossées en chape ou horizontalement se font toujours en procédant d'une manière analogue à celle qui a été précédemment exposée, seulement les calculs deviennent beaucoup plus longs. Nous ne ferons plus, dans ce qui va suivre, qu'indiquer la marche générale. Les développements étendus dans lesquels nous sommes entrés précédemment peuvent nous dispenser de nous appesantir actuellement sur des opérations algébriques qui n'offrent d'ailleurs aucune difficulté.

719. Expression de la poussée dans l'hypothèse de la rotation. — Soit (*fig.* 927) SPAB une voûte en plein cintre extradossée en chape. On admet que le joint de rupture, MN, au lieu de se prolonger suivant Nq à travers la maçonnerie de la chape, se relève verticalement suivant Nu à sa sortie de l'extrados. On admet de plus que la poussée agit toujours en H à l'extrados de la clef. Désignant par I l'angle KAO de la chape avec la verticale, on a pour l'expression générale de $P = \frac{Q\varphi}{y}$, en remplaçant $Q\varphi$ par la différence des moments du trapèze ONuA et du secteur OMB autour du point M, et y par $Kr - r\cos z$:

$$P = r^2 \frac{\sin^2 z}{6\,(K - \cos z)} \left\{ \frac{K^2}{\sin I} \left[6 - 3K - (3 - 3K)\sin(I + z) \right] - \left(\frac{3z}{\sin z} - \frac{1}{\cos^2 \frac{1}{2} z} \right) \right\} \quad (A)$$

expression dans laquelle z représente l'angle d'un joint quelconque avec la verticale, r le rayon intrados de la voûte et K le rapport du rayon extrados au rayon intrados.

On ne peut obtenir le *maximum* de cette expression, qui donnera la vraie valeur de la poussée horizontale, qu'en y substituant directement diverses valeurs de z; celle de ces valeurs qui rendra l'expression (A) *maximum* donnera d'ailleurs la position du plan de rupture.

720. Expression de la poussée dans l'hypothèse du glissement. — Pour avoir l'angle de rupture et la poussée dans l'hypothèse du glissement suivant NM, il faudra, au moyen de substitutions, trouver le *maximum* de l'expression

$$P = \frac{Q}{\text{tang}\,(z + 30)}.$$

En y substituant pour Q la différence des surfaces du trapèze OMuA et du secteur OMB, elle devient :

$$P = r^2 \frac{\sin z}{\sin I \,\text{tang}\,(z+30)} \left\{ K^2 \left[1 - \tfrac{1}{2} \sin (I + z)\right] - \tfrac{1}{2} \sin I \frac{z}{\sin z} \right\} \ldots \quad (B)$$

721. Cas particulier de l'inclinaison de la chape à 45°. — En faisant dans les formules (A), (B), l'angle $I = 45°$, elles deviennent, à cause de $\sin I = \frac{1}{\sqrt{2}}$.

La première,

$$P = r^2 \frac{\sin^2 z}{6\,(K - \cos z)} \left\{ K^2 \sqrt{2}\,[6 - 3K - (3 - 3K)\,\sin (45° + z)] - \left(\frac{3z}{\sin z} - \frac{1}{\cos^2 \frac{1}{2} z} \right) \right\}$$

et la seconde en y faisant de plus l'angle $z = 22°$, valeur qui correspond à très-peu près au *maximum* :

$$P = r^2\,(0{,}22340\,K^2 - 0{,}14999).$$

722. Table de M. Petit. — Ces formules ont servi à M. Petit pour calculer la table (C), dans laquelle on trouve, pour chaque valeur de K, l'angle de rupture et le coefficient numérique C, par lequel il faut multiplier le carré du rayon de l'intrados pour avoir la poussée. Le coefficient relatif à l'hypothèse du glissement y est, comme dans la table (A), placé en regard du coefficient relatif à celle de la rotation, et l'on doit, pour avoir la véritable poussée de la voûte, prendre toujours le plus fort des deux.

723. Solution des trois questions du n° 702. — Les trois questions générales se résolvent, au moyen de ce tableau, de la manière ordinaire : les deux premières, qui n'en font qu'une en réalité, en vérifiant si le moment de la poussée pris par rapport à l'arête extérieure S de la demi-voûte est plus petit ou égal, tout au plus, au moment de cette demi-voûte. Or la comparaison fait connaître que, quelle que soit la valeur de K, le moment de la demi-voûte l'emporte toujours sur celui de la poussée. D'où il résulte que toutes les voûtes en plein cintre extradossées en chape à 45° sont stables, quelle que soit leur épaisseur.

724. Épaisseur théorique des pieds-droits. — Quant à la question de l'épaisseur à donner aux pieds-droits, elle se résout encore en égalant le moment de la poussée pris par rapport à l'arête extérieure de la base du pied-droit, à celui du poids de la demi-voûte et de son pied-droit. En négligeant, ce qui est favorable à la solidité, le petit triangle PSK (*fig.* 927), l'équation des moments donne, pour $I = 45°$, h étant la hauteur du pied-droit,

$$\frac{x}{r} = (K^2 - \tfrac{1}{4}\pi)\frac{r}{h} + \sqrt{(K^2 - \tfrac{1}{4}\pi)^2 \frac{r^2}{h^2} + 2\left[K\left(C + \tfrac{1}{3}K^2\sqrt{2} - K\right) + 0{,}452\right]\frac{r}{h} + 2C};$$

expression qui se réduit à

$$x = r\sqrt{2C},$$

pour $h = \infty$.

725. Épaisseur pratique. — L'épaisseur donnée par ces formules est celle qui convient à l'équilibre strict. Pour avoir l'épaisseur pratique, on a reconnu, par la comparaison avec le magasin à poudre de Vauban, qu'il fallait doubler le moment de la poussée avant de l'égaler à celui du pied-droit, ce qui revient à remplacer C par 2C, dans les expressions précédentes.

On obtient ainsi, pour calculer l'épaisseur pratique d'une voûte extradossée en chape à 45° :

$$\frac{x}{r} = (K^2 - \tfrac{1}{4}\pi)\frac{r}{h} + \sqrt{(K^2 - \tfrac{1}{4}\pi)^2 \frac{r^2}{h^2} + 2\left[K\left(2C + \tfrac{1}{3}K^2\sqrt{2} - K\right) + 0{,}452\right]\frac{r}{h} + 4C};$$

formule qui se réduit à $x = r\sqrt{4C}$, à la limite $h = \infty$.

Pour les voûtes de cette espèce, les épaisseurs limites diffèrent assez peu des épaisseurs convenant aux hauteurs ordinaires de h, pour qu'on puisse s'en servir sans inconvénient.

Les valeurs de $\sqrt{2C}$ et $\sqrt{4C}$ forment les deux dernières colonnes du tableau (C).

726. Cas particulier où l'inclinaison de la chape est nulle. — Lorsque l'inclinaison de la chape est nulle, c'est-à-dire, quand la voûte est extradossée de niveau, l'angle I est égal à 90°, $\sin I = 1$ et $\cos I = 0$.

L'expression (A) du n° 721 devient :

$$P = \frac{r^2 \sin^2 z}{6(K - \cos z)}\left\{K^2[6 - 3K - (3 - 2K)\cos z] - \frac{1}{2}\left(\frac{3z}{\sin z} - \frac{}{\cos^2 \tfrac{1}{2} z}\right)\right. \quad \text{(A)}$$

et l'expression (B) du même numéro :

$$P = \frac{r^2 \sin^2 z}{\operatorname{tang}(z + 30°)}\left\{K^2\left(1 - \tfrac{1}{2}\cos z\right) - \frac{z}{2\sin z}\right\} \quad \text{(B)}$$

dont le *maximum* se trouvera par tâtonnement en substituant diverses valeurs de z.

Le maximum de P est donné par l'angle $z = 20°$, cette expression devient ainsi :

$$P = r^2(0{,}16391\,K^2 - 0{,}15206) \quad \text{(C)}$$

Les formules (A) et (C) ont servi à former la partie de la table (D), à laquelle on aura recours pour résoudre les trois questions ordinaires de la même manière que dans les cas précédents.

On trouve, au moyen de la comparaison des moments de la poussée et de la demi-voûte, par rapport à l'arête extérieure du plan des naissances, que la limite inférieure des valeurs de K qui répondent à des systèmes de voûtes extradossées de niveau, qui peuvent se soutenir sur le plan des naissances, après le décintrement, est égale à 1,0435. On pourra donc résoudre immédiatement la première question, en calculant le rapport $\frac{R}{r}$. S'il est supérieur à 1,0435, la voûte aura un surcroît de stabilité d'autant plus grand qu'on s'éloignera de cette limite ; s'il est égal à 1,0435, la voûte sera en état d'équilibre strict, et enfin, s'il est moindre que 1,0435, la voûte ne pourra se soutenir.

Pour avoir le *minimum* d'épaisseur e, on fera : $\frac{R}{r} = \frac{r+e}{r} = 1{,}0435$,

d'où l'on tirera :

$$e = 0{,}0435 \times r.$$

L'épaisseur théorique des pieds-droits, déduite de l'équation des moments de la poussée et de la demi-voûte avec ses pieds-droits, pris par rapport à l'arête extérieure de la base du pied-droit, est :

$$\frac{x}{r} = -(K - \tfrac{1}{4}\pi)\frac{r}{h+Kr} + \sqrt{(K-\tfrac{1}{4}\pi)^2\left(\frac{r}{h+Kr}\right)^2 + \left(2KC - K + \frac{3\pi-4}{6}\right)\frac{r}{h+Kr} + 2C\,\frac{h}{h+Kr}};$$

expression qui, pour $h = \infty$, devient :

$$x = r\sqrt{2C}.$$

L'épaisseur pratique sera donnée en remplaçant dans ces expressions C par 1,90 C ; l'on aura de cette façon :

$$\frac{x}{r} = -(K - \tfrac{1}{4}\pi)\frac{r}{h+Kr} + \sqrt{(K-\tfrac{1}{4}\pi)^2\left(\frac{r}{h+Kr}\right)^2 + \left(3{,}80\,KC - K + \frac{3\pi-4}{6}\right)\frac{r}{h+Kr} + 3{,}80\,C\,\frac{h}{h+Kr}}.$$

A la limite $h = \infty$, cette expression se réduit à

$$x = r\sqrt{3{,}80\,C}.$$

Les deux dernières colonnes de la table (D) donnent les valeurs de $\sqrt{2C}$ et $\sqrt{3{,}80\,C}$ par lesquelles il faut multiplier r pour avoir l'épaisseur théorique ou pratique du pied-droit, supposé de hauteur infinie. Ces valeurs diffèrent assez peu de celles qui conviennent à des hauteurs ordinaires, pour qu'il y ait peu d'inconvénient à en faire usage.

Les voûtes en arc de cercle extradossées en chape ou de niveau donneraient lieu

à des calculs analogues. Voici la marche que l'on suivrait pour prouver leur *poussée horizontale*, qui est, comme nous en avons fait la remarque, l'opération fondamentale.

Étant donnés les rayons R et r, leur rapport K, le demi-angle au centre α et l'angle I d'inclinaison de la chape :

1° On recherchera l'angle z, qui rend *maximum* l'expression (A) du n° 719. Si l'angle z est moindre que α, il sera l'angle de rupture, et la valeur correspondante de P sera celle de la poussée.

Si l'angle z est plus grand que α, alors la rupture se fera dans le plan même des naissances, et la poussée sera donnée par ladite expression (A), dans laquelle il n'y aura qu'à mettre la valeur de α à la place de z : ce sera le cas ordinaire des voûtes en arc de cercle ;

2° On cherchera, par la substitution de diverses valeurs de z, le *maximum* de l'expression (B) du même n° 719, qui donnera la poussée dans le cas du glissement. Si cette valeur surpasse la précédente, c'est celle qu'on choisira pour la véritable poussée et dont on se servira pour procéder à la solution des questions relatives au *minimum* d'épaisseur de la voûte, à sa stabilité sur les naissances, à l'épaisseur des pieds-droits et au glissement vers le plan des naissances, comme on l'a suffisamment indiqué précédemment.

727. Voûtes en anse de panier. — Pour les voûtes en anse de panier, c'est-à-dire dont la génératrice est une courbe continue formée de plusieurs arcs de cercle de rayons différents (*fig.* 920), il arrive d'ordinaire que le plan de rupture se trouve dans l'arc supérieur, BD, et la question, en ce qui concerne la poussée, se réduit alors à les considérer comme des voûtes en plein cintre d'un rayon égal à celui de cet arc (OD). Il n'y a donc qu'à faire le rapport K, et chercher dans la table le coefficient C par lequel il faut multiplier OD^2. Si l'on s'aperçoit, après avoir ainsi déterminé le rapport K, que l'angle de rupture donné par la même table est sensiblement plus grand que le demi-angle au centre de l'arc BD, il faudra rechercher la poussée au moyen des expressions générales,

$$P = \frac{Q\varphi}{y} \quad \text{ou} \quad P = Q\,\frac{\cos z - f \sin z}{\sin z + f \cos z},$$

ce qui devient extrêmement long ; mais ce cas se présente fort rarement dans la pratique. Quand une fois la poussée est connue, les questions relatives à la stabilité de la voûte sur les naissances, à son *minimum* d'épaisseur et à l'épaisseur des pieds-droits, se résolvent comme d'habitude.

Quand ces voûtes sont recouvertes de chapes inclinées ou horizontales, on les traite encore de la même manière que les voûtes en plein cintre extradossées comme elles.

Nous renvoyons, pour des exemples de calcul de voûtes en anse de panier, dont l'angle serait plus grand que le demi-angle BOD, au mémoire de M. Audoy inséré au *Mémorial de l'officier du génie* (tome I, édition belge).

On pourra d'ailleurs se contenter, le plus souvent, d'une approximation qu'on obtient par une construction graphique fort simple, indiquée par M. Rondelet.

728. Règle géométrique de Rondelet pour trouver l'épaisseur des pieds-droits des voûtes en berceau. — Quelle que soit la nature de la courbe génératrice d'une voûte en berceau, à extrados parallèle, on peut obtenir immédiatement l'épaisseur pratique de ses pieds-droits, au moyen de la construction suivante :

Tracez (*fig.* 928) la génératrice moyenne TG du berceau ; menez par le point G une horizontale, et par le point T une verticale se coupant au point F ; de ce point F tracez une normale FO à la courbe par le point K, intersection de cette normale avec la génératrice, menez l'horizontale *i*KM. Prenez au compas K*m* = *i*K, distance horizontale du point K à une droite verticale appliquée contre la paroi intérieure du pied-droit ; portez M*m* de S en *m'* et faites S*t* = 2 SV, double de l'épaisseur de la voûte ; finalement sur *m't* comme diamètre décrivez une demi-circonférence ; la rencontre de l'horizontale SV prolongée avec cette demi-circonférence, donnera l'épaisseur cherchée (1).

Si la courbe génératrice n'était pas symétrique par rapport à un plan vertical passant par son sommet, on opérerait sur chacune des deux branches en particulier, ainsi que nous venons de le faire sur l'une d'elles.

Nous donnons (*fig.* 929) un exemple de cette construction appliquée à un arc rampant, qu'on comprendra sans explication.

ARTICLE III.

PRESCRIPTIONS DE RONDELET RELATIVEMENT AUX VOUTES D'ARÊTES, EN ARC DE CLOITRE, EN DOME, ETC.

729. Voûtes d'arêtes. — Rondelet donne les indications suivantes pour déterminer la section horizontale des soutiens verticaux des retombées des voûtes d'arêtes.

Lorsque ces voûtes sont, comme dans la *fig.* 930, le résultat de l'intersection de deux berceaux qui se prolongent de beaucoup au delà du carré ou du rectangle *abcd*, on règle l'épaisseur des pieds-droits comme si le berceau auquel ils appartiennent était isolé. La poussée des parties triangulaires *aeb*, *aed*, est alors plus que suffisamment contre-boutée.

Si les berceaux s'arrêtent à une assez petite distance du carré ou du rectangle *abcd* pour que les pieds-droits soient réduits à de simples piliers carrés ou rectangulaires, on donnera, à la dimension *af* de ces piliers, $1\frac{3}{4}$ fois l'épaisseur que devrait avoir le

(1) Cette construction est basée sur une théorie qui, quoique moins rigoureuse que celle dont nous avons fait l'exposition, est cependant remarquable par la concordance des résultats qu'elle fournit avec ceux de l'expérience, et par son extrême simplicité. (*Voy.* PONDELET, *Art de bâtir*, t. IV, p. 233 et suiv.)

pied-droit du berceau *ad*, et à la dimension *ag* 1 $\frac{3}{4}$ fois l'épaisseur que devrait avoir le pied-droit du berceau *ab*.

730. Voûtes en arc de cloître. — Les voûtes en arc de cloître ont beaucoup moins de poussée que les berceaux dont elles sont formées ; on peut, suivant Rondelet, se borner à donner à leurs pieds-droits la même épaisseur qu'à la voûte.

731. Voûtes en dôme. — Les voûtes en dôme ont encore moins de poussée que celles en arc de cloître ; on peut donc, comme pour celles-là, donner à leurs pieds-droits la même épaisseur qu'à la voûte.

Toutes ces prescriptions de Rondelet se rapportent à des voûtes extradossées d'égale épaisseur, mais on peut les étendre à des voûtes extradossées différemment. L'extradossement n'exerce en effet que peu d'influence sur l'épaisseur à donner aux pieds-droits, ainsi qu'on peut s'en convaincre en comparant les valeurs fournies par la dernière colonne des tables (A), (C) et (D) de M. Petit, et en observant que si les valeurs de la table (C) offrent des différences un peu grandes avec celles données par les deux autres, c'est qu'on a employé un coefficient de stabilité plus fort (2 au lieu de 1.90) pour les obtenir. D'ailleurs, les voûtes n'ont souvent pour renfort à l'extrados que des massifs de maçonnerie, de l'une des formes indiquées par *abcd* (*fig.* 931), *abced* (*fig.* 932) et *abc* (*fig.* 933), ou bien elles vont en diminuant graduellement d'épaisseur de la naissance à la clef, comme dans la *fig.* 934, et toutes ces dispositions sont favorables à la stabilité du pied-droit.

Au surplus, si l'on voulait appliquer la théorie exposée à ces diverses voûtes composées, on ne pourrait y parvenir, sans des calculs inextricables, qu'au moyen des hypothèses suivantes :

1° On considérerait les pieds-droits de la voûte d'arête comme soumis, dans un sens, à la poussée du berceau cylindrique limité par un plan passant par *ad* (*fig.* 930), augmentée de celle de la portion triangulaire *aed* qu'on pourrait regarder comme subdivisée en berceaux circulaires de très-petite largeur *aa' d' d*, etc., dont la portée va graduellement en diminuant de *ad* en *e*, où elle est nulle ; et dans l'autre sens, par la poussée du berceau limité par un plan passant par *ab*, augmentée de celle de la partie triangulaire *aeb*, qu'on estimerait comme ci-dessus.

2° Les pieds-droits *ab*, *ad* (*fig.* 935) de la voûte en arc de cloître seraient censés soumis respectivement à la poussée des parties triangulaires *bea* et *aed* des berceaux dont ils font partie et dont on estimerait l'action, en les supposant subdivisés en tranches très-minces perpendiculairement à *ab* et *ad*, ce qui revient à faire abstraction de la liaison qui existe suivant *ac*, *db*, et à considérer chacun des quatre quartiers de la voûte et de ses pieds-droits comme indépendant des autres.

3° Finalement, pour les voûtes en dôme, on devrait les supposer divisées en un grand nombre de fuseaux sphériques indépendants les uns des autres, *abc* (*fig.* 936) et l'on opérerait sur chaque fuseau, supposé développé sur un cylindre circulaire de diamètre égal à celui du dôme, ainsi qu'on l'a fait, dans le cas précédent, pour les portions *bea*, *aed* de la voûte en arc de cloître.

Nous pensons donc, d'après cela, que les méthodes et les prescriptions de Ronde-

let conduiront bien plus simplement à des approximations tout aussi exactes que celles que pourraient fournir les calculs.

732. Observations. — Tout ce que nous avons dit précédemment, quant à l'épaisseur à donner aux pieds-droits, suppose que ceux-ci sont pleins dans toute leur étendue. S'ils étaient percés par des portes, des fenêtres ou d'autres ouvertures, il faudrait nécessairement tenir compte de la diminution de force qui en résulterait, et augmenter l'épaissseur des trumeaux en conséquence, ou les renforcer par des contre-forts.

Si les voûtes en berceau, en arc de cloître, en dôme, étaient percés de lunettes, leur poussée pourrait ne plus se répartir uniformément sur les pieds-droits, comme on l'a également supposé dans tout ce qui précède. Certaines parties de ces pieds-droits seraient déchargées d'une fraction du poids et de la poussée qui agiraient sur elles si la voûte était pleine ; mais d'autres, par contre, pourraient recevoir des surcharges ou des surcroîts de poussée, auxquels il faudrait parer par des sur-épaisseurs ou des contre-forts.

Tout ce que nous avons dit suppose aussi les voûtes complétement isolées et, pour les voûtes en berceau, d'une longueur indéfinie.

733. Voûtes accolées. — Quand plusieurs voûtes sont placées à la suite les unes des autres comme celles des arches d'un pont (*fig.* 937), des travées d'une église, si elles sont d'égales dimensions en hauteur et diamètre, les poussées des demi-voûtes contiguës se détruisent mutuellement et les pieds-droits communs sont simplement exposés à des pressions verticales qui tendent à les écraser ; leur épaisseur doit être déterminée alors, si d'autres considérations n'exigent de les regarder comme appartenant à des voûtes isolées, au moyen des formules de résistance à l'écrasement précédemment démontrées. Si leurs dimensions en hauteur et diamètre sont différentes, elles sont soumises alors à une poussée égale à la différence de celle des deux demi-voûtes contiguës, et agissant dans le sens de la plus grande. Dans ces différents cas, les pieds-droits des extrémités ou *culées* sont les seules qui doivent avoir nécessairement des dimensions calculées d'après la poussée totale de la demi-voûte qu'ils soutiennent.

Ces considérations s'appliquent aussi bien aux voûtes composées, dont les retombées sont supportées par des piliers, comme les voûtes d'arêtes, les dômes avec pendentifs, qu'aux pieds-droits des voûtes en berceau.

Ainsi, si l'on a, par exemple, plusieurs travées de voûtes d'arêtes dont les retombées portent sur des pieds-droits communs, la section de ceux-ci devra être calculée de façon à ce qu'ils résistent simplement aux charges verticales, ou à la différence de poussée de deux demi-voûtes contiguës. Les soutiens extérieurs, seuls, devront être calculés pour résister à la poussée entière de la demi-voûte qu'ils supportent.

Quand les voûtes contiguës sont étagées à des hauteurs différentes, il y a deux partis à prendre : ou bien donner au pied-droit de la voûte la plus élevée l'épaisseur qu'elle exigerait si elle était isolée, ou bien contre-bouter la poussée par des *éperons volants*. Cette disposition a été très-souvent employée par les architectes du moyen

âge, et leur a permis de donner à leurs ouvrages une légèreté extraordinaire. Les éperons volants sont élevés sur les pieds-droits des voûtes des bas-côtés. De cette manière, ils augmentent la stabilité de ceux-ci et permettent de diminuer leur épaisseur, en même temps que de réduire la section du soutien de la grande voûte à ce qui est nécessaire pour supporter, sans s'écraser et sans fléchir, le poids de la construction supérieure, et la poussée de la voûte du bas-côté. Ces architectes augmentaient souvent la stabilité des éperons volants en les chargeant de *clochetons*.

734. Voûtes limitées par des murs transversaux. — Lorsque les voûtes en berceau sont terminées à leurs extrémités par des *pignons*, ou bien lorqu'elles sont divisées par des murs de cloison intérieurs, elles en reçoivent un surcroît de solidité, qui permet de réduire l'épaisseur de leurs pieds-droits.

Rondelet prescrit, pour ce cas, de faire l'élévation longitudinale du pied-droit compris entre deux murs de cloison (*fig.* 938), de tracer la diagonale AB, et de porter sur cette diagonale, de A en C, l'épaisseur trouvée pour la voûte supposée de longueur indéfinie ; CD sera l'épaisseur réduite du pied-droit.

ARTICLE IV.

QUESTIONS DIVERSES.

735. Surcharges au-dessus des voûtes. — Lorsque les voûtes sont, comme cela arrive fréquemment dans les constructions militaires, couvertes d'une couche de terre plus ou moins épaisse, leur poussée peut en être augmentée, et la valeur assignée à l'épaisseur des pieds-droits, sans tenir compte de cette surcharge, peut être alors trop faible. Pour calculer la poussée dans un cas semblable, et par suite résoudre les autres questions relatives à la stabilité de la voûte, et notamment celle de l'épaisseur à donner aux pieds-droits, ce qu'il y a de plus simple à faire, c'est de réduire l'épaisseur de la couche de terre dans le rapport de la densité de cette terre à celle de la maçonnerie, et de la considérer ensuite comme une sur-épaisseur de maçonnerie qui s'ajoute à celle de la voûte.

Ainsi, supposons une voûte extradossée en chape, chargée d'une couche de terre limitée à pq (*fig.* 939), on réduira cette épaisseur dans le rapport $\frac{\delta}{\Delta}$, δ étant la densité de la terre et Δ celle de la maçonnerie. Soit cette épaisseur égale $as = l$, on trouvera la poussée dans le cas de la rotation, par exemple, en prenant le *maximum* de l'expression $P = \frac{Q\varphi}{y}$, dans laquelle on fera $Q\varphi$ égale au moment du voussoir $bNMBa$, augmenté du moment de la surcharge $bzsa$, et $y = r(K - \cos z)$, c'est-à-dire qu'on pourra écrire :

$$P = \frac{\text{mom}^t\ bNMBa + \text{mom}^t\ bzsa}{r(K - \cos z)};$$

mais $\text{mom}^t \frac{bNMBa}{r(K - \cos z)}$ a été trouvé au n° 719 égal à

$$r^2 \frac{\sin^2 z}{6(K-\cos z)} \left\{ \frac{K^2}{\sin I}[6-3K-(3-2K)\sin(I+z)] - \frac{3z}{\sin z} - \frac{1}{\cos^2 \frac{1}{2} z} \right\},$$

et mom^t $bzsa = \frac{r^2}{2} \sin^2 zl\ (2-K)$.

On aura donc pour la quantité dont il faudra chercher le *maximum* par tâtonnement :

$$P = r^2 \frac{\sin^2 z}{6(K-\cos z)} \left\{ \frac{K^2}{\sin I}[6-3K-(3-2K)\sin(I+z)] - \frac{3z}{\sin z} - \frac{1}{\cos^2 \frac{1}{2} z} \right\} + \frac{r \sin^2 zl \times (2-K)}{2(K-\cos z)} \ldots\ (A)$$

Si la voûte recouverte de terre était à extrados parallèle (*fig.* 940), on considérerait la partie *a*CB*d* du massif de terre comme ayant même densité que la maçonnerie, et en réduisant le restant de la surcharge dans la proportion $\frac{\delta}{\Delta}$, l'expression précédente servirait encore à déterminer la poussée en y faisant $I = 90°$.

Pour le cas du glissement, on aurait à chercher le *maximum* de l'expression

$$P = \frac{r^2 \sin z}{\sin I \tang (z+30)} \left\{ K^2[1-\tfrac{1}{2}\sin(I+z)] - \tfrac{1}{2}\sin I \frac{z}{\sin z} \right\} + \frac{Kr \sin z \times l}{\tang(z+30°)}.$$

736. Voûtes des galeries souterraines. — Lorsque les voûtes sont, comme les galeries de mines, les tunnels, percées au travers d'un terrain meuble qui les recouvre sur une grande épaisseur, la surcharge n'est pas toujours égale, comme on pourrait le croire, au poids du prisme ABCD (*fig.* 877) limité par deux plans verticaux menés par les pieds de la courbe de l'extrados. Cette surcharge est souvent beaucoup moindre, et, dans certains cas, elle peut même être tout à fait nulle.

Des expériences, que nous rapporterons plus loin, apprennent en effet : 1° que les terres les plus meubles et même le sable légèrement humecté peuvent se soutenir en plafond, c'est-à-dire suivant la ligne *ab* (*fig.* 942), sur une longueur plus ou moins grande et qui dépend de leur cohésion ; 2° que quand cette largeur est dépassée d'une petite quantité, le plafond s'écroule et est remplacé par une espèce de voûte *acb'* dont la hauteur dépend encore de la cohésion de la terre ; 3° qu'on peut, en augmentant successivement l'ouverture, produire plusieurs éboulements successifs, qui tous ont la même forme que le premier, à très-peu de chose près ; 4° enfin que, passé une certaine limite qui dépend de la hauteur du terrain au-dessus de l'excavation, tout le prisme *amnb''* se détache et glisse entre les parois *a m*, *b'' n*. On voit d'après cela que la surcharge au prisme *amnb''* ne doit être tenue en ligne de compte que lorsque l'ouverture de la galerie est assez grande pour déterminer la chute de ce prisme. Pour des ouvertures moindres, cette surcharge va en diminuant graduellement, jusqu'au point d'être nulle si la portée extérieure de la voûte n'est pas plus grande que celle sous laquelle la terre peut se soutenir en plafond, ou même sous forme de voûte de hauteur à peu près égale à celle de la voûte en maçonnerie. Ces observations montrent encore, d'abord combien il est important de réduire à la

plus petite largeur possible les passages souterrains (1), et en second lieu pourquoi les accidents arrivés aux constructions de ce genre ont souvent eu lieu aux endroits où leur profondeur sous le sol n'était pas la plus considérable (2).

Il serait difficile de déterminer théoriquement la grandeur de la surcharge provenant du poids des terres appuyées sur une voûte donnée, dans un terrain dont la constitution physique serait parfaitement connue ; mais il nous paraît aisé d'obtenir, à cet égard, des indications assez précises au moyen d'une expérience fort simple :

On coupe, dans le terrain qu'il s'agit de miner, une espèce de digue aussi mince que possible, en tenant ses talus très-roides. Cette digue doit avoir en élévation la plus grande hauteur du sol au-dessus de la clef de la voûte du souterrain projeté. Cela fait, on perce la digue d'outre en outre par une galerie qu'on fait d'abord très-étroite, et dont on augmente progressivement la largeur jusqu'à la faire égale à celle du souterrain. On observe ce qui se passe pendant ces opérations, et il est aisé d'en tirer des conclusions quant à la charge probable qui pèsera sur la voûte, et à l'épaisseur qu'il convient de lui donner, ainsi qu'à ses pieds-droits pour cette hauteur de terre. Si le terrain situé au-dessus de la galerie ne s'est pas totalement éboulé jusqu'alors, on réduira successivement la hauteur jusqu'à ce que l'éboulement ait lieu, et l'on connaîtra ainsi la plus forte surcharge qui pèsera sur la voûte. Cette donnée servira à régler les dimensions des parties du souterrain qui auront le plus à souffrir. L'expérience pourra se modifier du reste suivant les circonstances locales.

Nous prescrivons de percer la galerie d'épreuve de part en part au travers du massif, afin de rendre le résultat de l'expérience indépendant de l'effet de la cohésion dans le plan de rupture qui devrait se faire au fond de la galerie si les choses étaient disposées autrement, et de se rapprocher ainsi tout à fait des conditions dans lesquelles se trouve une galerie d'une longueur indéfinie. Cette opération exige des précautions que chacun comprendra pour éviter des accidents. Lorsque l'épaisseur

---

(1) Les observations suivantes, extraites de Minard (*Cours de construction des ouvrages qui établissent la navigation des rivières et canaux*, p. 283), ne font que confirmer ce que nous disons ici :

« Lorsqu'on ouvrit la rigole de Torcy dans des masses séparées de grès de médiocre grosseur, « il fut très-aisé de lui donner $1^m,60$ de largeur ; mais lorsqu'on voulut l'augmenter seulement « d'un mètre, les masses se détachaient, les étais pliaient et cassaient, et il se faisait des fondis « de 20 à 25 mètres de profondeur.

« Dans la craie fendillée à Saint-Quentin, on perçait facilement des galeries de $1^m,50$ sans « étais là où il était impossible de leur donner 3 mètres de largeur.

« Dans l'argile de Roubaix, on ouvrait bien des galeries de 2 mètres de largeur, mais on ne « pouvait guère dépasser cette dimension sans s'exposer à de graves accidents. »

(2) Le tunnel de Cumptich s'est écroulé sous une hauteur de terre égale à 11 mètres au-dessus de la clef, tandis que la plus grande hauteur du terrain est de 20 mètres, au-dessus du même repère. L'écroulement survenu au tunnel de Braine-le-Comte, peu de jours après son achèvement, s'est produit sur une longueur de 25 à 30 mètres à partir de l'entrée nord, où le terrain a beaucoup moins d'élévation que vers le milieu du passage. Des faits analogues ont été observés en Angleterre.

de la digue doit être forcément plus grande que la longueur à laquelle peuvent aisément atteindre, sans se placer dans l'excavation, des ouvriers travaillant de part et d'autre, on peut boiser légèrement la galerie, et, lorsqu'elle est entièrement achevée, mettre le feu aux boisages.

Nous donnons comme exemples (*fig.* 943 et 944) le résultat de deux expériences de ce genre faites dans le terrain de grès ferrugineux décomposé, mais très-solide, sur lequel on bâtit la citadelle de Diest. Ces expériences ont été entreprises, à notre demande, par M. le capitaine de génie Marneffe, qui nous en a donné communication avec un empressement dont nous aimons à le remercier ici.

Le terrain dans lequel a été faite la première expérience était traversé par des veines courant dans divers sens et qui ont causé une certaine irrégularité dans les éboulements successifs ; mais la seconde expérience, faite dans un terrain beaucoup plus homogène, a donné des résultats remarquables par leur régularité, et sur lesquels on peut vérifier ce que nous avons avancé plus haut.

Nous avons nous-même entrepris des expériences du même genre, mais sur une petite échelle, dans du sable quartzeux légèrement humecté et tassé, et nous avons observé des faits analogues. Nous avons constaté, à plusieurs reprises, que le sable se tient en plafond sur une portée qui varie de 14 à 16 centimètres. Passé cette limite, il se produit des éboulements formant une succession de voûtes concentriques, jusqu'au moment où tout le prisme situé au-dessus de l'excavation se détache et glisse entre deux plans de rupture à très-peu près verticaux.

Nous pensons qu'il serait du plus haut intérêt de multiplier ces observations et de les étendre à toutes les sortes de terrains meubles qu'on rencontre le plus généralement dans les percements. Nous convions les ingénieurs chargés de travaux de terrassements, et plus particulièrement ceux qui dirigent des exploitations de mines ou la construction de tunnels, à faire quelques expériences et à en consigner les résultats dans les ouvrages périodiques destinés à enregistrer tous les faits propres à faire avancer la science des constructions. C'est le seul moyen de jeter quelque lumière sur l'importante question de l'épaisseur à donner aux revêtements en maçonnerie des excavations souterraines.

Jusqu'ici les indications théoriques font complétement défaut, et quant à celles fournies par les constructeurs, elles ne reposent sur aucune donnée fixe. Chacun détermine cette dimension à peu près à sa guise et suivant une sorte d'intuition, qui n'est pas toujours heureuse dans ses résultats.

Ainsi, les constructeurs anglais donnent à la maçonnerie de leurs tunnels pour deux voies de chemins de fer, environ 46 centimètres d'épaisseur en bon terrain ; ils augmentent ensuite cette épaisseur d'après les craintes que leur inspirent les changements ou les accidents qu'ils rencontrent dans le percement, et la portent quelquefois jusqu'à $1^m,40$; mais ils n'ont rien de fixe à cet égard ; chaque ingénieur pèse, en quelque sorte, le terrain à la vue, et se règle selon sa peur ou sa hardiesse souvent exagérée.

Pour les galeries de mines défensives percées en bon terrain, on fixe l'épaisseur

des pieds-droits à 50 ou 55 centimètres, et celle de la voûte à 35 centimètres ; mais ces dimensions sont évidemment trop fortes dans la plupart des cas. Il est vrai qu'ici la forme qu'on donne ordinairement à ces galeries force à assigner une assez forte épaisseur aux pieds-droits pour les mettre en état de résister à la poussée des terres adjacentes, mais on pourrait leur en donner une plus rationnelle. Les constructeurs anglais donnent à leurs tunnels la section représentée *fig.* 945, qui a été adoptée presque partout dans les constructions civiles ; nous ne voyons pas pourquoi on ne l'imiterait pas dans les constructions militaires. Les galeries de mines, les poternes et tous les passages souterrains d'une place forte sont bien loin, en général, d'atteindre les dimensions des tunnels anglais, et l'on pourrait, sans inconvénient, réduire leur épaisseur à celle de ces constructions, lorsque, d'ailleurs, ils sont suffisamment enterrés pour ne rien avoir à redouter du choc des projectiles (1).

Nous le répétons donc, cet objet est encore entouré de vague et d'incertitude, mais on peut y jeter quelque lumière comme sur tous les autres, au moyen d'expériences convenablement dirigées. Nous avons indiqué une voie d'investigation ; espérons que d'autres nous y suivront, et compléteront une lacune que nous ne sommes malheureusement pas en position de combler nous-même.

Dans le cas que nous considérons, les dimensions des pieds-droits et de la voûte ne peuvent plus se déterminer d'après les considérations théoriques exposées précédemment. La poussée de la voûte est alors contre-balancée par celle des terres ou annulée par la résistance du terrain, et il n'y a pas, en général, à s'en inquiéter. L'épaisseur des maçonneries doit se régler principalement d'après la force de compression à laquelle elles se trouvent soumises ; et le prisme de terre qui pèse sur la voûte étant déterminé suivant le procédé que nous avons indiqué, la chose est assez facile.

En représentant par P le poids de ce prisme, par c l'épaisseur cherchée du pied-droit, et par R'_1 la limite des charges permanentes pour l'espèce de maçonnerie employée, on a approximativement :

$$e = \frac{P}{2R'_1}.$$

Ainsi estimant à 2000^k le poids du mètre cube du terrain de Diest, que nous avons cité, et en faisant $R'_1 = 40000^k$, ce qui convient à la bonne maçonnerie en briques, on trouverait, pour une galerie de 5 mètres de largeur hors œuvre, enterrée de 3 à 4 mètres sous le sol,

$$P = 3{,}50 \times 5 \times 2000 \text{ environ} = 35000^k,$$

et $e = \frac{35000}{80000} = 0^m{,}44$ ou deux briques d'épaisseur.

---

(1) Le major Fallot, dans son *Cours d'art militaire* (IVe partie, p. 264), cite comme offrant une certaine hardiesse de construction un souterrain de $5^m{,}60$ de largeur, $4^m{,}60$ de hauteur sous clef, recouvert d'une voûte de $0^m{,}45$ d'épaisseur, dont les pieds-droits, reliés par une contre-voûte, n'avaient que $1^m{,}25$ d'épaisseur !

Si la largeur n'était que de 3 à 4 mètres, la pression des terres sur la voûte serait à peu près nulle, et l'on pourrait réduire de moitié l'épaisseur de la maçonnerie.

Il est bien entendu qu'on donnerait au souterrain une section analogue à celle des tunnels anglais.

737. Voûtes à l'épreuve de la bombe. — L'épaisseur à donner aux voûtes exposées aux chocs des bombes et à leurs pieds-droits ne peut guère se déterminer théoriquement à cause de la grande variation que subit, dans ses effets, le choc des projectiles. On se sert dans ce cas des formules empiriques suivantes, que l'expérience a reconnues bonnes, pour déterminer l'épaisseur de la voûte :

1° *Voûte en plein cintre extradossée de niveau.* Soit D le diamètre donné de la voûte, a l'épaisseur cherchée, on aura :

$$a = \frac{5D + 46^m,77}{144}.$$

Pour les voûtes en anse de panier, on prend, au lieu de D, le double du rayon de l'arc qui en occupe le sommet.

2° *Voûte en plein cintre extradossée en chape.* Soit D le diamètre de la voûte, b l'épaisseur aux reins, on aura :

$$b = 0^m,34196 \sqrt{D}.$$

La construction graphique de cette formule donne une parabole (*fig.* 946), dont les abscisses représentent les diamètres des voûtes, et les ordonnées leurs épaisseurs correspondantes aux reins pour être à l'épreuve.

Quant à l'épaisseur à donner aux pieds-droits, on admet comme règle suffisamment exacte que l'épaisseur des pieds-droits d'une hauteur moyenne, supportant une voûte en plein cintre de dimensions ordinaires et à l'épreuve de la bombe, doit être égale à la moitié du rayon extrados de cette voûte. Si les pieds-droits sont exposés à recevoir des projectiles, il faut augmenter leur épaisseur en conséquence.

Lorsque plusieurs voûtes sont accolées, les pieds-droits extrêmes se calculent comme ci-dessus, et on donne aux pieds-droits intermédiaires une épaisseur proportionnée à la charge qu'ils ont à supporter.

738. Pressions exercées contre les plans du joint. — Il ne suffit pas, pour être solide et durable, qu'une voûte ait toutes ses dimensions calculées de manière à ce que ses quatre quartiers se tiennent en équilibre ; il faut s'assurer encore si les épaisseurs fournies par ces formules sont telles que les matériaux dont sont composés la voûte et ses pieds-droits peuvent suffisamment résister aux plus fortes pressions qui tendent à les écraser.

Pour les voûtes en plein cintre ou surhaussées, cette recherche est superflue ; les épaisseurs données par les formules sont plus que suffisantes ; mais s'il s'agissait, par exemple, d'une voûte en arc de cercle très-surbaissée, d'une grande portée et surchargée, il serait prudent de s'en assurer.

Voici comment on y procède. La plus grande pression exercée sur chaque pied-droit est évidemment égale au poids de ce pied-droit et de la demi-voûte qu'il supporte, augmenté de toutes les surcharges qui pèsent sur cette demi-voûte.

Quant à la plus grande pression exercée contre les plans de joint de la demi-voûte, on l'estimera de la manière suivante.

Considérons une demi-voûte ABHD (*fig.* 947), et nommons :

P la poussée horizontale, calculée comme précédemment, et multipliée par le poids du mètre cube de la pierre dont est formée la voûte (1) ;

θ l'angle formé avec la verticale par un joint quelconque ;

a l'épaisseur donnée à la voûte ;

Q le poids du voussoir HBMN, exprimé en fonction de x et de a ;

T la pression normale au joint considéré.

La composante normale de la poussée contre le joint sera $P \cos \theta$, et la composante normale du poids Q contre le même joint sera $Q \sin \theta$.

On aura, d'après cela, pour exprimer la pression exercée contre un joint quelconque,

$$T = P \cos \theta + Q \sin \theta,$$

expression dont le *maximum*, introduit à la place de Q dans la formule $Q = R'_1 \Omega$ du n° 563, servira à vérifier si l'épaisseur a assignée à la voûte est suffisante pour qu'elle puisse résister d'une manière permanente aux efforts d'écrasement auxquels elle est soumise.

739. Pressions exercées contre les cintres. — Considérons encore la demi-voûte ABHD. En faisant abstraction de la cohésion du mortier et du frottement exercé dans les plans de joint, on trouve que chaque voussoir, à mesure qu'on le pose sur le cintre, exerce sur celui-ci une pression égale à $Q \cos \theta$, qui servira à calculer la charge à laquelle cette charpente est soumise jusqu'au moment de la fermeture complète de la voûte. Si l'on voulait tenir compte du frottement exercé dans les plans de joint, cette recherche serait beaucoup plus longue ; mais il est convenable de ne pas le faire, parce que l'état fluide du mortier, au moment de la pose des voussoirs, diminue considérablement ce frottement, et qu'en pareille matière il vaut mieux faire abstraction de certaines résistances que de risquer de leur assigner une trop grande valeur. On pourra considérer la pression exercée sur le cintre, trouvé par le procédé que nous avons indiqué, comme un *maximum* qui ne saurait être dépassé dans aucun cas.

740. Observation finale. — Nous avons toujours supposé, dans ce qui précède, qu'il s'agissait de déterminer, au moyen des formules, les dimensions exactes des diverses parties des ouvrages ; d'ordinaire, il en est tout autrement ; on se donne, *à priori*, ces dimensions qui sont d'ailleurs commandées souvent par des convenances particulières, et l'on vérifie seulement, après coup, au moyen des formules, si les dimensions adoptées sont suffisantes pour les parties qu'on peut considérer comme les plus importantes. Ces vérifications sont alors beaucoup moins longues et moins pénibles.

---

(1) Cette multiplication n'était pas nécessaire dans les questions précédentes, parce que le poids de l'unité de volume de maçonnerie se reproduisait dans les deux membres des équations d'équilibre, mais il n'en est pas de même dans celle-ci. En général, lorsqu'on a intérêt à connaître la poussée exprimée en kilogrammes, il n'y a qu'à multiplier, par le poids de l'unité de volume de maçonnerie, le coefficient C donné par les tables ci-après.

VOUTES EN PLEIN CINTRE, A EXTRADOS PARALLÈLE.

(A). TABLE DES ANGLES DE RUPTURE, DES POUSSÉES ET DES ÉPAISSEURS LIMITES DE PIEDS-DROITS.

VALEUR du rapport $K = \frac{R}{r}$.	RAPPORT du diamètre à l'épaisseur.	VALEUR de l'angle de rupture.	RAPPORT C de la poussée au carré du rayon r de l'intrados.		RAPPORTS $\sqrt{2C}$ et $\sqrt{3,80C}$ de l'épaisseur limite du pied-droit au rayon de l'intrados.	
			Cas de la rotation.	Cas du glissement.	Équilibre strict.	Stabilité de Lahire.
2.732	1,154	0°00′	0,00000	0,98923		
2.70	1,176	13 42	0,00211	0,96262		
2.65	1,212	22 00	0,00319	0,92168		
2.60	1,250	27 30	0,00809	0,88151		
2.50	1,333	35 52	0,02283	0,80346		
2.40	1,428	42 6	0,04109	0,72847		
2.30	1,538	46 47	0,06835	0,65654		
2.20	1,666	51 4	0,08648	0,58767		
2.10	1,810	54 27	0,10926	0,52186		
2.00	2,000	57 17	0,13017	0,45912	0,9582	1,3223
1.90	2,222	59 37	0,14813	0,39943	0,8938	1,2320
1.80	2,500	61 24	0,16373	0,34281	0,8280	1,1414
1.70	2,857	62 53	0,17180	0,28924	0,7606	1,0484
1.60	3,333	63 49	0,17517	0,23874	0,6910	0,9525
1.59	3,389	63 52	0,17533	0,23386	0,6839	0,9427
1.58	3,448	63 55	0,17535	0,22901	0,6768	0,9329
1.57	3,508	63 58	0,17524	0,22434	0,6698	0,9233
1.56	3,571	64 1	0,17499	0,21940	0,6624	0,9131
1.55	3,636	64 3	0,17478	0,21464	0,6552	0,9031
1.54	3,703	64 5	0,17445	0,20991	0,6479	0,8931
1.53	3,773	64 7	0,17397	0,20521	0,6406	0,8831
1.52	3,846	64 8	0,17352	0,20054	0,6333	0,8730
1.51	3,920	64 8	0,17310	0,19590	6,6259	0,8628
1.50	4,000	64 9	0,17254	0,19130	0,6185	0,8527
1.49	4,081	64 8	0,17180	0,18673	0,6111	0,8424
1.48	4,166	64 8	0 ,17095	0,18218	0,6036	0,8320
1.47	4,255	64 7	0,17008	0,17766	0,5961	0,8216
1.46	4,347	64 6	0,16915	0,17318	0,5885	0,8112
1.45	4,444	64 5	0,16798	0,16872	0,5809	0,8007
1.44	4,545	64 3	0,16683	0,16430	0,5767	0,7962
1.43	4,651	64 00	0,16568	0,15991	0,5756	0,7934
1.42	4,761	63 56	0,16448	0,15555	0,5735	0,7906
1.41	4,878	63 52	0,16317	0,15122	0,5713	0,7874
1.40	5,000	63 48	0,16167	0,14691	0,5686	0,7838
1.39	5,128	63 43	0,16014	0,14264	0,5659	0,7801
1.38	5,263	63 38	0,15845	0,13841	0,5629	0,7760
1.37	5,406	63 32	0,15672	0,13420	0,5598	0,7717
1.36	5,555	63 26	0,15482	0,13002	0,5564	0,7670
1.35	5,714	63 19	0,15287	0,12587	0,5529	0,7622
1.34	5,882	63 10	0,15096	0,12176	0,5495	0,7574
1.33	6,060	63 00	0,14896	0,11767	0,5458	0,7524
1.32	6,264	62 50	0,14678	0,11362	0,5418	0,7468
1.31	6,451	62 33	0,14510	0,10959	0,5387	0,7425
1.30	6,666	62 14	0,14330	0,10559	0,5353	0,7379
1.29	6,896	62 9	0,14013	0,10163	0,5294	0,7297
1.28	7,142	62 5	0,13691	0,09770	0,5233	0,7213
1.27	7,407	61 47	0,13430	0,09379	0,5183	0,7144
1.26	7,692	61 30	0,13157	0,08992	0,5130	0,7071
1.25	8,000	61 1	0,12847	0,08608	0,5069	0,6987
1.24	8,333	61 3	0,12516	0,08277	0,5003	0,6896

VALEUR du rapport $K = \frac{R}{r}$	RAPPORT du diamètre à l'épaisseur.	VALEUR de l'angle de rupture.	RAPPORT C de la poussée au carré du rayon r de l'intrados.		RAPPORTS $\sqrt{2C}$ et $\sqrt{3,80C}$ de l'épaisseur limite du pied-droit au rayon de l'intrados.	
			Cas de la rotation.	Cas du glissement	Équilibre strict.	Stabilité de Lahire.
1.23	8,695	60°40′	0,12201	0,07849	0,4940	0,6809
1.22	9,090	60 19	0,11887	0,07474	0,4876	0,6721
1.21	9,523	60 00	0,11516	0,07102	0,4799	0,6615
1.20	10,000	59 41	0,11140	0,06733	0,4720	0,6504
1.19	10,526	59 10	0,10791	0,06368	0,4646	0,6404
1.18	11,111	58 40	0,10417	0,06005	0,4564	0,6292
1.17	11,764	58 9	0,10021	0,05646	0,4472	0,6171
1.16	12,500	57 40	0,09593	0,05289	0,4380	0,6038
1.15	13,333	57 1	0,09176	0,04935	0,4282	0,5905
1.14	14,285	56 23	0,08729	0,04585	0,4178	0,5759
1.13	15,384	55 45	0,08254	0,04237	0,4063	0,5601
1.12	16,666	54 48	0,07789	0,03984	0,3947	0,5444
1.11	18,181	54 10	0,07273	0,03552	0,3814	0,5259
1.10	20,000	53 15	0,06754	0,03213	0,3675	0,5066
1.09	22,222	52 14	0,06177	0,02879		
1.08	25,000	51 7	0,05649	0,02546		
1.07	28,571	49 48	0,05065	0,02217		
1.06	33,333	48 18	0,04455	0,01891		
1.05	40,000	46 32	0,03813	0,01568		
1.04	50,000	44 4	0,03139	0,01249		
1.03	66,666	41 4	0,02459	0,00932		
1.02	100,000	38 12	0,01691	0,00618		
1.01	200,000	32 36	0,00889	0,00308		
1.00	Infini.	0 00	0,00000	0,00000		

VOUTES EN PLEIN CINTRE A EXTRADOS PARALLÈLE.

(B). TABLE DES ÉPAISSEURS DE PIEDS-DROITS.

N. B. Les chiffres placés sous les deux derniers termes du radical sont ceux qu'il faut substituer aux chiffres placés immédiatement au-dessus pour avoir *l'épaisseur pratique*. L'expression telle qu'elle est écrite dans chaque première ligne, donne *l'épaisseur théorique*.

VALEUR du rapport $K = \frac{R}{r}$.	RAPPORT du diamètre à l'épaisseur	RAPPORT $\frac{x}{r}$ DE L'ÉPAISSEUR DES PIEDS-DROITS au rayon de l'intrados, en fonction du rapport $\frac{r}{h}$ de ce rayon, à la hauteur des pieds-droits.
2.00	2.000	$-2,3562\,\frac{r}{h} + \sqrt{\left(5,5517\,\frac{r^2}{h^2} + 1,7907\,\frac{r}{h} + 0,9182\right)} + 3,5364\,\frac{r}{h} + 1,7446$
1.90	2.222	$-2,0449\,\frac{r}{h} + \sqrt{\left(4,2021\,\frac{r^2}{h^2} + 1,3240\,\frac{r}{h} + 0,7988\right)} + 2,6900\,\frac{r}{h} + 1,5178$

VALEUR du rapport $K = \frac{R}{r}$.	RAPPORT du diamètre à l'épaisseur	RAPPORT $\frac{x}{r}$ DE L'ÉPAISSEUR DES PIEDS-DROITS au rayon de l'intrados, en fonction du rapport $\frac{r}{h}$, de ce rayon, à la hauteur des pieds-droits.
1.80	2.500	$-1{,}7593\frac{r}{h}+\sqrt{\left(3{,}0951\frac{r^2}{h^2}+0{,}9368\frac{r}{h}+0{,}6856\right)}$ $+2{,}1075\frac{r}{h}+1{,}3020$
1.70	2.857	$-1{,}4844\frac{r}{h}+\sqrt{\left(2{,}2034\frac{r^2}{h^2}+0{,}6933\frac{r}{h}+0{,}5785\right)}$ $+1{,}5784\frac{r}{h}+1{,}0991$
1.60	3.333	$-1{,}2252\frac{r}{h}+\sqrt{\left(1{,}5012\frac{r^2}{h^2}+0{,}3775\frac{r}{h}+0{,}4775\right)}$ $+1{,}0651\frac{r}{h}+0{,}9072$
1.59	3.389	$-1{,}2001\frac{r}{h}+\sqrt{\left(1{,}4404\frac{r^2}{h^2}+0{,}3566\frac{r}{h}+0{,}4677\right)}$ $+1{,}0239\frac{r}{h}+0{,}8886$
1.58	3.448	$-1{,}1752\frac{r}{h}+\sqrt{\left(1{,}3812\frac{r^2}{h^2}+0{,}3361\frac{r}{h}+0{,}4580\right)}$ $+0{,}9874\frac{r}{h}+0{,}8702$
1.57	3.508	$-1{,}1513\frac{r}{h}+\sqrt{\left(1{,}3255\frac{r^2}{h^2}+0{,}3151\frac{r}{h}+0{,}4487\right)}$ $+0{,}9491\frac{r}{h}+0{,}8525$
1.56	3.571	$-1{,}1261\frac{r}{h}+\sqrt{\left(1{,}2677\frac{r^2}{h^2}+0{,}2966\frac{r}{h}+0{,}4388\right)}$ $+0{,}9127\frac{r}{h}+0{,}8336$
1.55	3.636	$-1{,}1015\frac{r}{h}+\sqrt{\left(1{,}2133\frac{r^2}{h^2}+0{,}2783\frac{r}{h}+0{,}4293\right)}$ $+0{,}8767\frac{r}{h}+0{,}8157$
1.54	3.703	$-1{,}0772\frac{r}{h}+\sqrt{\left(1{,}1605\frac{r^2}{h^2}+0{,}2603\frac{r}{h}+0{,}4198\right)}$ $+0{,}8422\frac{r}{h}+0{,}7926$

VALEUR du rapport $K = \frac{R}{r}$.	RAPPORT du diamètre à l'épaisseur	RAPPORT $\frac{x}{r}$ DE L'ÉPAISSEUR DES PIEDS-DROITS au rayon de l'intrados, en fonction du rapport $\frac{r}{h}$, de ce rayon, à la hauteur des pieds-droits.
1.53	3.773	$-1{,}0531\frac{r}{h}+\sqrt{\left(1{,}1091\frac{r^2}{h^2}+0{,}2428\frac{r}{h}+0{,}4104\right)}+0{,}8079\frac{r}{h}+0{,}7798$
1.52	3.846	$-1{,}0292\frac{r}{h}+\sqrt{\left(1{,}0592\frac{r^2}{h^2}+0{,}2224\frac{r}{h}+0{,}4011\right)}+0{,}7711\frac{r}{h}+0{,}7621$
1.51	3.920	$-1{,}0073\frac{r}{h}+\sqrt{\left(1{,}0146\frac{r^2}{h^2}+0{,}2056\frac{r}{h}+0{,}3918\right)}+0{,}7371\frac{r}{h}+0{,}7444$
1.50	4.000	$-0{,}9817\frac{r}{h}+\sqrt{\left(0{,}9638\frac{r^2}{h^2}+0{,}1937\frac{r}{h}+0{,}3826\right)}+0{,}7102\frac{r}{h}+0{,}7269$
1.49	4.081	$-0{,}9583\frac{r}{h}+\sqrt{\left(0{,}9184\frac{r^2}{h^2}+0{,}1684\frac{r}{h}+0{,}3735\right)}+0{,}6672\frac{r}{h}+0{,}7096$
1.48	4.166	$-0{,}9349\frac{r}{h}+\sqrt{\left(0{,}8741\frac{r^2}{h^2}+0{,}1659\frac{r}{h}+0{,}3644\right)}+0{,}6404\frac{r}{h}+0{,}6923$
1.47	4.255	$-0{,}9125\frac{r}{h}+\sqrt{\left(0{,}8328\frac{r^2}{h^2}+0{,}1482\frac{r}{h}+0{,}3553\right)}+0{,}6183\frac{r}{h}+0{,}6753$
1.46	4.347	$-0{,}8887\frac{r}{h}+\sqrt{\left(0{,}7899\frac{r^2}{h^2}+0{,}1362\frac{r}{h}+0{,}3464\right)}+0{,}5913\frac{r}{h}+0{,}6581$
1.45	4.444	$-0{,}8659\frac{r}{h}+\sqrt{\left(0{,}7498\frac{r^2}{h^2}+0{,}1232\frac{r}{h}+0{,}3374\right)}+0{,}5636\frac{r}{h}+0{,}6411$

VALEUR du rapport $K = \frac{R}{r}$.	RAPPORT du diamètre à l'épaisseur	RAPPORT $\frac{x}{r}$ DE L'ÉPAISSEUR DES PIEDS-DROITS au rayon de l'intrados en fonction du rapport $\frac{r}{h}$, de ce rayon, à la hauteur des pieds-droits.
1.44	4.545	$-0,8432\frac{r}{h}+\sqrt{\left(0,7110\frac{r^2}{h^2}+0,1181\frac{r}{h}+0,3337\right)}+0,5505\frac{r}{h}+0,6339$
1.43	4.651	$-0,8206\frac{r}{h}+\sqrt{\left(0,6735\frac{r^2}{h^2}+0,1153\frac{r}{h}+0,3314\right)}+0,5424\frac{r}{h}+0,6297$
1.42	4.761	$-0,7983\frac{r}{h}+\sqrt{\left(0,6372\frac{r^2}{h^2}+0,1143\frac{r}{h}+0,3290\right)}+0,5347\frac{r}{h}+0,6251$
1.41	4.878	$-0,7760\frac{r}{h}+\sqrt{\left(0,6023\frac{r^2}{h^2}+0,1102\frac{r}{h}+0,3263\right)}+0,5243\frac{r}{h}+0,6201$
1.40	5.000	$-0,7540\frac{r}{h}+\sqrt{\left(0,5685\frac{r^2}{h^2}+0,1074\frac{r}{h}+0,3233\right)}+0,5164\frac{r}{h}+0,6144$
1.39	5.128	$-0,7321\frac{r}{h}+\sqrt{\left(0,5359\frac{r^2}{h^2}+0,1048\frac{r}{h}+0,3203\right)}+0,5055\frac{r}{h}+0,6085$
1.38	5.263	$-0,7103\frac{r}{h}+\sqrt{\left(0,5045\frac{r^2}{h^2}+0,1021\frac{r}{h}+0,3169\right)}+0,4957\frac{r}{h}+0,6022$
1.37	5.406	$-0,6887\frac{r}{h}+\sqrt{\left(0,4743\frac{r^2}{h^2}+0,0995\frac{r}{h}+0,3134\right)}+0,4880\frac{r}{h}+0,5953$
1.36	5.555	$-0,6673\frac{r}{h}+\sqrt{\left(0,4452\frac{r^2}{h^2}+0,0969\frac{r}{h}+0,3096\right)}+0,4759\frac{r}{h}+0,5882$

VALEUR du rapport $K = \frac{R}{r}$.	RAPPORT du diamètre à l'épaisseur	RAPPORT $\frac{x}{r}$ DE L'ÉPAISSEUR DES PIEDS-DROITS au rayon de l'intrados, en fonction du rapport $\frac{r}{h}$, de ce rayon, à la hauteur des pieds-droits.
1.35	5.714	$-0{,}6460\frac{r}{h}+\sqrt{\left(0{,}4173\frac{r^2}{h^2}+0{,}0944\frac{r}{h}+0{,}3057\right)}+0{,}4659\frac{r}{h}+0{,}5809$
1.34	5.882	$-0{,}6249\frac{r}{h}+\sqrt{\left(0{,}3904\frac{r^2}{h^2}+0{,}0926\frac{r}{h}+0{,}3019\right)}+0{,}4567\frac{r}{h}+0{,}5737$
1.33	6.060	$-0{,}6050\frac{r}{h}+\sqrt{\left(0{,}3660\frac{r^2}{h^2}+0{,}0903\frac{r}{h}+0{,}2979\right)}+0{,}4469\frac{r}{h}+0{,}5661$
1.32	6.264	$-0{,}5831\frac{r}{h}+\sqrt{\left(0{,}3400\frac{r^2}{h^2}+0{,}0880\frac{r}{h}+0{,}2936\right)}+0{,}4367\frac{r}{h}+0{,}5578$
1.31	6.451	$-0{,}5624\frac{r}{h}+\sqrt{\left(0{,}3163\frac{r^2}{h^2}+0{,}0875\frac{r}{h}+0{,}2902\right)}+0{,}4296\frac{r}{h}+0{,}5514$
1.30	6.666	$-0{,}5419\frac{r}{h}+\sqrt{\left(0{,}2937\frac{r^2}{h^2}+0{,}0867\frac{r}{h}+0{,}2866\right)}+0{,}4220\frac{r}{h}+0{,}5445$
1.29	6.896	$-0{,}5216\frac{r}{h}+\sqrt{\left(0{,}2720\frac{r^2}{h^2}+0{,}0828\frac{r}{h}+0{,}2803\right)}+0{,}4081\frac{r}{h}+0{,}5325$
1.28	7.142	$-0{,}5014\frac{r}{h}+\sqrt{\left(0{,}2520\frac{r^2}{h^2}+0{,}0801\frac{r}{h}+0{,}2738\right)}+0{,}3983\frac{r}{h}+0{,}5200$
1.27	7.407	$-0{,}4926\frac{r}{h}+\sqrt{\left(0{,}2426\frac{r^2}{h^2}+0{,}0778\frac{r}{h}+0{,}2686\right)}+0{,}3848\frac{r}{h}+0{,}5103$

VALEUR du rapport $K = \frac{R}{r}$.	RAPPORT du diamètre à l'épaisseur	RAPPORT $\frac{x}{r}$ DE L'ÉPAISSEUR DES PIEDS-DROITS au rayon de l'intrados, en fonction du rapport $\frac{r}{h}$, de ce rayon, à la hauteur des pieds-droits.
1.26	7.692	$-0,4615\frac{r}{h}+\sqrt{\left(0,2130\frac{r^2}{h^2}+0,0755\frac{r}{h}+0,2631\right)}+0,3740\frac{r}{h}+0,5000$
1.25	8.000	$-0,4418\frac{r}{h}+\sqrt{\left(0,1952\frac{r^2}{h^2}+0,0730\frac{r}{h}+0,2569\right)}+0,3620\frac{r}{h}+0,4882$
1.24	8.333	$-0,4222\frac{r}{h}+\sqrt{\left(0,1783\frac{r^2}{h^2}+0,0713\frac{r}{h}+0,2503\right)}+0,3507\frac{r}{h}+0,4757$
1.23	8.695	$-0,4028\frac{r}{h}+\sqrt{\left(0,1623\frac{r^2}{h^2}+0,0684\frac{r}{h}+0,2440\right)}+0,3385\frac{r}{h}+0,4636$
1.22	9.090	$-0,3836\frac{r}{h}+\sqrt{\left(0,1471\frac{r^2}{h^2}+0,0674\frac{r}{h}+0,2377\right)}+0,3285\frac{r}{h}+0,4517$
1.21	9.523	$-0,3645\frac{r}{h}+\sqrt{\left(0,1329\frac{r^2}{h^2}+0,2303\frac{r}{h}+0,2303\right)}+0,3151\frac{r}{h}+0,4376$
1.20	10.000	$-0,3456\frac{r}{h}+\sqrt{\left(0,1194\frac{r^2}{h^2}+0,0614\frac{r}{h}+0,2228\right)}+0,3020\frac{r}{h}+0,4233$
1.19	10.526	$-0,3268\frac{r}{h}+\sqrt{\left(0,1068\frac{r^2}{h^2}+0,0600\frac{r}{h}+0,2158\right)}+0,2911\frac{r}{h}+0,4100$
1.18	11.111	$-0,3082\frac{r}{h}+\sqrt{\left(0,0950\frac{r^2}{h^2}+0,0581\frac{r}{h}+0,2083\right)}+0,2794\frac{r}{h}+0,3959$

VALEUR du rapport $K = \frac{R}{r}$.	RAPPORT du diamètre à l'épaisseur	RAPPORT $\frac{x}{r}$ DE L'ÉPAISSEUR DES PIEDS-DROITS au rayon de l'intrados, en fonction du rapport $\frac{r}{h}$, de ce rayon, à la hauteur des pieds-droits.
1.17	11.764	$-0,2879\frac{r}{h}+\sqrt{\left(0,0840\frac{r^2}{h^2}+0,0561\frac{r}{h}+0,2004\right)}+0,2671\frac{r}{h}+0,3808$
1.16	12.500	$-0,2714\frac{r}{h}+\sqrt{\left(0,0734\frac{r^2}{h^2}+0,0559\frac{r}{h}+0,1919\right)}+0,2561\frac{r}{h}+0,3645$
1.15	13.333	$-0,2533\frac{r}{h}+\sqrt{\left(0,0642\frac{r^2}{h^2}+0,0536\frac{r}{h}+0,1835\right)}+0,2436\frac{r}{h}+0,3487$
1.14	14.285	$-0,2353\frac{r}{h}+\sqrt{\left(0,0554\frac{r^2}{h^2}+0,0513\frac{r}{h}+0,1745\right)}+0,2304\frac{r}{h}+0,3316$
1.13	15.384	$-0,2175\frac{r}{h}+\sqrt{\left(0,0473\frac{r^2}{h^2}+0,0490\frac{r}{h}+0,1651\right)}+0,2168\frac{r}{h}+0,3136$
1.12	16.666	$-0,1998\frac{r}{h}+\sqrt{\left(0,0399\frac{r^2}{h^2}+0,0467\frac{r}{h}+0,1557\right)}+0,2039\frac{r}{h}+0,2959$
1.11	18.181	$-0,1823\frac{r}{h}+\sqrt{\left(0,0332\frac{r^2}{h^2}+0,0426\frac{r}{h}+0,1455\right)}+0,1879\frac{r}{h}+0,2764$
1.10	20.000	$-0,1649\frac{r}{h}+\sqrt{\left(0,0272\frac{r^2}{h^2}+0,0394\frac{r}{h}+0,1351\right)}+0,1730\frac{r}{h}+0,2566$

VOUTES EN PLEIN CINTRE, EXTRADOSSÉES EN CHAPE A 45°.

(C) TABLE DES ANGLES DE RUPTURE, DES POUSSÉES ET DES ÉPAISSEURS LIMITES DE PIEDS-DROITS.

VALEUR du rapport $K = \frac{R}{r}$.	RAPPORT du diamètre à l'épaisseur.	VALEUR de l'angle de rupture.	RAPPORT C de la poussée au carré du rayon r de l'intrados.		RAPPORT de l'épaisseur limite du pied-droit au rayon de l'intrados.	
			Cas de la rotation.	Cas du glissement.	Équilibre strict.	Stabilité de Vauban
2.00	2,000	60°	0,26424	0,74361	1,2212	1,7246
1.90	2,222	60	0,28416	0,65648	1,1458	1,6204
1.80	2,500	60	0,29907	0,57383	1,0759	1,5147
1.70	2,857	60	0,30867	0,49564	0,9556	1,4081
1.60	3,333	60	0,31245	0,42191	0,9186	1,2990
1.59	3,389	60	0,31249	0,41478	0,9108	1,2880
1.58	3,448	60	0,31257	0,40841	0,9038	1,2781
1.57	3,508	61	0,31264	0,40067	0,8952	1,2660
1.56	3,571	61	0,31246	0,39367	0,8864	1,2548
1.55	3,636	61	0,31222	0,38673	0,8795	1,2437
1.54	3,703	61	0,31191	0,37983	0,8716	1,2318
1.53	3,773	61	0,31153	0,37297	0,8637	1,2214
1.52	3,846	61	0,31108	0,36615	0,8557	1,2102
1.51	3,920	61	0,31056	0,35938	0,8478	1,1989
1.50	4,000	61	0,30996	0,35266	0,8398	1,1877
1.49	4,081	61	0,30928	0,34598	0,8318	1,1764
1.48	4,166	61	0,30855	0,33934	0,8238	1,1650
1.47	4,255	61	0,30772	0,33275	0,8158	1,1537
1.46	4,347	60	0,30685	0,32621	0,8077	1,1422
1.45	4,444	60	0,30587	0,31971	0,7996	1,1308
1.44	4 545	60	0,30485	0,31325	0,7915	1,1193
1.43	4,651	60	0,30408	0,30684	0,7834	1,1078
1.42	4,761	60	0,30296	0,30047	0,7784	1,1008
1.41	4,878	60	0,30173		0,7768	1,0986
1.40	5,000	59	0,30001	0,28787	0,7746	1,0954
1.39	5,128	59	0,29712		0,7709	1,0914
1.38	5,263	59	0,29706		0,7690	1,0914
1.37	5,406	59	0,29550		0,7688	1,0872
1.36	5,555	59	0,29386		0,7665	1,0841
1.35	5,714	58	0,29285		0,7653	1,0823
1.34	5,882	58	0,29037		0,7621	1,0777
1.33	6,060	58	0,28850		0,7596	1,0742
1.32	6,264	58	0,28654		0,7570	1,0705
1.31	6,451	57	0,28456		0,7544	1,0668
1.30	6,666	57	0,28231	0,22756	0,7514	1,0626
1.29	6,896	57	0,28027		0,7487	1,0588
1.28	7,142	56	0,27810		0,7458	1,0547
1.27	7,407	56	0,27578		0,7427	1,0503
1.26	7,692	55	0,27343		0,7395	1,0458
1.25	8,000	54	0,27102		0,7362	1,0412
1.24	8,333	53	0,26850		0,7328	1,0363
1.23	8,695	53	0,26608		0,7274	1,0316
1.22	9 090	52	0,26377		0,7263	1,0272
1.21	9,523	51	0,26074		0,7221	1,0217
1.20	10,000	50	0,25806	0,17171	0,7184	1,0160
1.19	10,526	50	0,25546		0,7148	1,0109
1.18	11,111	49	0,25277		0,7111	1,0045
1.17	11,764	49	0,25010		0,7072	1,0002

VALEUR du rapport $K = \frac{R}{r}$.	RAPPORT du diamètre à l'épaisseur.	VALEUR de l'angle de rupture.	RAPPORT C de la poussée au carré du rayon r de l'intrados.		RAPPORT de l'épaisseur limite du pied-droit au rayon de l'intrados.	
			Cas de la rotation.	Cas du glissement.	Équilibre strict.	Stabilité de Vauban
1.16	12,500	48°	0,24742		0,7034	0,9948
1.15	13,333	47	0,24477		0,6997	0,9894
1.14	14,285	46	0,24218		0,6960	0,9842
1.13	15,384	44	0,23967		0,6923	0,9791
1.12	16,666	43	0,23732		0,6889	0,9743
1.11	18,181	43	0,23502		0,6856	0,9695
1.10	20,000	42	0,23292	0,12032	0,6825	0,9652
1.05	40,000	36	0,22902		0,6768	0,9571

VOUTES EN PLEIN CINTRE, A EXTRADOS DE NIVEAU.

(D). TABLE DES ANGLES DE RUPTURE, DES POUSSÉES ET DES ÉPAISSEURS LIMITES DE PIEDS-DROITS.

VALEUR du rapport $K = \frac{R}{r}$.	RAPPORT du diamètre à l'épaisseur.	VALEUR de l'angle de rupture.	RAPPORT C de la poussée au carré du rayon r de l'intrados.		RAPPORT de l'épaisseur limite du pied-droit au rayon de l'intrados.	
			Cas de la rotation.	Cas du glissement.	Équilibre strict.	Stabilité de Vauban
2.00	2,000	36°	0,05486	0,50358	1,0036	1,3834
1.90	2,222	39	0,07101	0,43966	0,9377	1,2925
1.80	2,500	44	0,08850	0,37901	0,8706	1,2001
1.70	2,857	48	0,10631	0,32164	0,8020	1,1055
1.60	3,333	52	0,12300	0,26755	0,7315	1,0082
1.59	3,389	52	0,12453	0,26232	0,7243	0,9984
1.58	3,448	53	0,12602	0,25712	0,7171	0,9885
1.57	3,508	53	0,12747	0,25196	0,7099	0,9784
1.56	3,571	54	0,12837	0,24683	0,7026	0,9684
1.55	3,636	54	0,13027	0,24173	0,6953	0,9584
1.54	3,703	55	0,13153	0,23667	0,6880	0,9483
1.53	3,773	55	0,13289	0,23163	0,6806	0,9381
1.52	3,846	55	0,13414	0,22664	0,6732	0,9280
1.51	3,920	55	0,13531	0,22167	0,6658	0,9177
1.50	4,000	56	0,13648	0,21673	0,6583	0,9075
1.49	4,081	56	0,13756	0,21183	0,6509	0,8972
1.48	4,166	56	0,13856	0,20696	0,6433	0,8868
1.47	4,255	57	0,13952	0,20213	0,6358	0,8764
1.46	4,347	57	0,14041	0,19733	0,6282	0,8659
1.45	4,444	57	0,14122	0,19256	0,6206	0,8554
1.44	4,545	58	0,14195	0,18782	0,6129	0,8448
1.43	4,651	58	0,14268	0,18312	0,6052	0,8341
1.42	4,761	58	0,14311	0,17845	0,5974	0,8234
1.41	4,878	59	0,14376	0,17381	0,5896	0,8126
1.40	5,000	59	0,14421	0,16920	0,5817	0,8018
1.39	5,128	59	0,14456	0,16463	0,5738	0,7909
1.38	5,263	59	0,14481	0,16009	0,5658	0,7799

VALEUR du rapport $K = \frac{R}{r}$.	RAPPORT du diamètre à l'épaisseur	VALEUR de l'angle de rupture.	RAPPORT C de la poussée au carré du rayon r de l'intrados.		RAPPORTS de l'épaisseur limite du pied-droit au rayon de l'intrados.	
			Cas de la rotation.	Cas du glissement.	Équilibre strict.	Stabilité de Vauban
1.37	5,406	60°	0,14498	0,15558	0,5578	0,7689
1.36	5,555	60	0,14506	0,15111	0,5497	0,7577
1.35	5,714	60	0,14504	0,14666	0,5416	0,7465
1.34	5,882	60	0,14491	0,14225	0,5383	0,7420
1.33	6,060	61	0,14467		0,5379	0,7414
1.32	6,264	61	0,14460		0,5377	0,7412
1.31	6,451	61	0,14390		0,5358	0,7394
1.30	6,666	61	0,14332	0,12495	0,5354	0,7379
1.29	6,896	61	0,14264		0,5341	0,7362
1.28	7,142	62	0,14186		0,5326	0,7342
1.27	7,407	62	0,14101		0,5318	0,7320
1.26	7,692	62	0,13988		0,5289	0,7290
1.25	8,000	62	0,13872	0,10405	0,5267	0,7260
1.24	8,333	62	0,13737		0,5235	0,7225
1.23	8,695	63	0,13593		0,5214	0,7187
1.22	9,090	63	0,13437		0,5184	0,7145
1.21	9,523	63	0,13263		0,5150	0,7099
1.20	10,000	63	0,13073	0,08397	0,5113	0,7048
1.19	10,526	63	0,12870		0,5073	0,6993
1.18	11,111	63	0,12650		0,5030	0,6933
1.17	11,764	64	0,12415		0,4983	0,6868
1.16	12,500	64	0,12182		0,4936	0,6803
1.15	13,333	64	0,11895	0,06471	0,4877	0,6723
1.14	14,285	64	0,11608		0,4818	0,6641
1.13	15,284	64	0,11303		0,4755	0,6553
1.12	16,666	64	0,10979		0,4686	0,6459
1.11	18,181	65	0,10641		0,4613	0,6358
1.10	20,000	65	0,10279	0,04627	0,4535	0,6249
1.09	22,222	66	0,098992		0,4449	0,6133
1.08	25,000	66	0,094967		0,4358	0,6007
1.07	28,571	67	0,091189		0,4270	0,5886
1.06	33,333	68	0,086376		0,4156	0,5729
1.05	40,000	69	0,081755	0,02865	0,4044	0,5573
1.04	50,000	70	0,076857			
1.03	66,666	71	0,071853			
1.02	100,000	73	0,066469			
1.01	200,000	74	0,061324			
1.00	Infini.	75	0,055572	0,01185		

VOUTES EN ARC DE CERCLE A EXTRADOS PARALLÈLE.

(E). TABLE DES POUSSÉES DANS DIVERS SYSTÈMES.

N. B. — Les chiffres placés au-dessus des barres horizontales sont relatifs à la rupture par glissement.

VALEURS du rapport $K = \frac{R}{r}$.	RAPPORT DE LA POUSSÉE AU CARRÉ DU RAYON DE L'INTRADOS.						
	SYSTÈME $L = 4f,\ r = \frac{5}{2}f,\ \alpha = 53°\,7'\,30''$	SYSTÈME $L = 5f,\ r = \frac{29}{8}f,\ \alpha = 43°\,36'\,10''$	SYSTÈME $L = 6f,\ r = 5f,\ \alpha = 36°\,52'\,10''$	SYSTÈME $L = 7f,\ r = \frac{53}{8}f,\ \alpha = 31°\,53'\,20''$	SYSTÈME $L = 8f,\ r = \frac{17}{2}f,\ \alpha = 28°\,4'\,20''$	SYSTÈME $L = 10f,\ r = 13f,\ \alpha = 22°\,37'\,10''$	SYSTÈME $L = 16f,\ r = 32,5f,\ \alpha = 14°\,15'\,00''$
1.40	0,15445	0,14691	0,14691	0,14691	0,14691	0,14478	
1.35	0,14717	0,13030	0,12587	0,12587	0,12587	0,12485	
1.34	0,14543	0,12987	0,12171	0,12171	0,12171	0,11999	
1.33	0,14364	0,12781	0,11767	0,11767	0,11767	0,11596	
1.32	0,14173	0,12634	0,11362	0,11362	0,11362	0,11196	
1.31	0,13975	0,12486	0,10959	0,10959	0,10959	0,10800	
1.30	0,13764	0,12331	0,10682	0,10559	0,10559	0,10406	
1.29	0,13543	0,12164	0,10563	0,10163	0,10163	0,10016	
1.28	0,13311	0,11988	0,10437	0,09770	0,09779	0,09628	
1.27	0,13068	0,11803	0,10304	0,09379	0,09379	0,09244	
1.26	0,12815	0,11609	0,10160	0,08992	0,08992	0,08862	
1.25	0,12547	0,11402	0,10009	0,08668	0,08608	0,08483	0,07180
1.24	0,12270	0,11251	0,09850	0,08549	0,08227	0,08108	0,06862
1.23	0,12031	0,10958	0,09679	0,08423	0,07849	0,07735	0,06547
1.22	0,11675	0,10725	0,09499	0,08291	0,07474	0,07366	0,06234
1.21	0,11354	0,10460	0,09305	0,08148	0,07102	0,06999	0,05924
1.20	0,11023	0,10196	0,09102	0,07999	0,06981	0,06636	0,05616
1.19	0,10676	0,09915	0,08885	0,07834	0,06859	0,06275	0,05311
1.18	0,10313	0,09617	0,08653	0,07651	0,06727	0,05918	0,05008
1.17	0,09934	0,09303	0,08408	0,07468	, 6583	0,05212	0,04709
1.16	0,09537	0,08975	0,08144	0,07264	0,06420	0,05004	0,04411
1.15	0,09123	0,08634	0,07866	0,07050	0,06259	0,04904	0,04116
1.14	0,08690	0,08257	0,07568	0,06812	0,06077	0,04803	0,03824
1.13	0,08238	0,07869	0,07251	0,06558	0,05890	0,04671	0,03534
1.12	0,07764	0,07459	0,06911	0,06297	0,05659	0,04451	0,03247
1.11	0,07269	0,07042	0,06548	0,06026	0,05421	0,04384	0,02962
1.10	0,06737	0,06563	0,06158	0,05666	0,05160	0,04214	0,02681
1.09	0,06211	0,06077	0,05739	0,05345	0,04871	0,04023	0,02401
1.08	0,05636	0,05652	0,05288	0,04934	0,04552	0,03806	0,02192
1.07	0,05052	0,05011	0,04804	0,04426	0,04200	0,03560	0,02111
1.06	0,04431	0,04428	0,04280	0,04038	0,03861	0,03276	0,02002
1.05	0,03776	0,03804	0,03709	0,03550	0,03357	0,02944	0,01882
1.04	0,03096	0,03144	0,03095	0,02992	0,02862	0,02561	0,01720
1.03	0,02378	0,02437	0,02424	0,02369	0,02293	0,02131	0,01524
1.02	0,01625	0,01681	0,01690	0,01673	0,01640	0,01546	0,01196
1.01	0,00834	0,00871	0,00886	0,00889	0,00885	0,00862	0 00747

TABLE MÉTHODIQUE DES MATIÈRES

Numéros. Pages.

INTRODUCTION.

1. Définition de l'art de bâtir . . . 1
2. Objet du cours 2
3. Division du cours 2

PREMIÈRE PARTIE.

CONNAISSANCE DES MATÉRIAUX.

4. Division des matériaux en trois classes 5

PREMIÈRE SECTION.

ÉTUDE DES MATÉRIAUX PIERREUX.

5. Définitions 5

ARTICLE PREMIER.

Des pierres en général.

6. Classification générale. 6
7. Conditions auxquelles doit satisfaire une pierre à bâtir . . 6
8. Comment on reconnaît que ces conditions sont satisfaites . . 6
Effets de la gelée sur les pierres 7
Procédé de Brard pour reconnaître si une pierre est gélive. 8
9. Caractères distinctifs des pierres. 9
10. Modes de gisement. — Notions géologiques. 11
11. Exploitation des pierres à bâtir. 15
Exploitation à ciel ouvert . . . 15
Exploitation souterraine 18
12. Débit. 20
13. Refente 20
14. Taille 20
15. Sciage 21
16. Polissage 21
Polissage des carreaux de pavage. 22

ART. II.

Étude minéralogique des pierres à bâtir.

17. Classification. 23

PIERRES CALCAIRES.

I. CALCAIRE.

18. Composition 24
19. Caractères chimiques 24
20. Caractères physiques 24

Numéros. Pages.

21. Gisement. 24
22. Qualités et défauts 28
23. Usages particuliers. *Marbres* . 29
Classification des marbres. . . 29
24. *Chaux*. 30
Composition 30
Fabrication. 30
Cuisson en tas 30
Cuisson au four coulant 31
Cuisson en four intermittent. . 32
Observation 33

II. DOLOMIE OU CALCAIRE MAGNÉSIEN.

25. Composition 34
26. Caractères chimiques 34
27. Caractères physiques 34
28. Gisement. 34
29. Qualités et défauts. 34
30. Usages particuliers 34

III. GYPSE.

31. Composition 34
32. Caractères chimiques 35
33. Caractères physiques 35
34. Gisement. 35
35. Qualités et defauts 35
36. Usages particuliers 35
37. *Plâtre*. 35

PIERRES SILICEUSES.

I. QUARTZ OU SILEX PYROMAQUE, VULGAIREMENT PIERRE A FUSIL.

38. Composition. 36
39. Caractères chimiques. 36
40. Caractères physiques. 36
41. Gisement 26
42. Qualités et défauts 36
43. Usages particuliers. 36
44. Observation 36

II. MEULIÈRE.

45. Composition. 37
46. Caractères physiques. 37
47. Gisement 37
48. Qualités et défauts 37
49. Usages particuliers. 37

III. GRÈS.

50. Composition, caractères chimiques et physiques 37
51. Gisement 38

Numéros. Pages.
52. Qualités et défauts 38
53. Usages particuliers. 39
54. Observation 39

IV. SCHISTE.

55. Composition 40
56. Caractères physiques. 40
57. Gisement 40
58. Usages. *Ardoises* 40
59. Qualités et défauts 40
60. Observation 44

V. GRANITE.

61. Composition, caractères chimiques et physiques 45
62. Gisement 45
63. Qualités et défauts 45
64. Usages particuliers 46
65. Observation 46

VI. PIERRES FELDSPATHIQUES.

66. Composition et caractères. . . 46
67. Gisement 47
68. Qualités et défauts 47
69. Usages particuliers 47

VII. SERPENTINE.

70. Composition et caractères. . . 47
71. Gisement. 47
72. Usages particuliers 48

VIII. PIERRES VOLCANIQUES.

73. Composition et caractères. . . 48
74. Gisement. 48
75. Qualités et défauts. 48
76. Usages particuliers 49
77. Observation 49

BITUME.

78. Caractères distinctifs 49
79. Gisement 49
80. Usages 49

ART. III.

Ressources de la Belgique en pierres à bâtir.

81. Observation préliminaire. . . . 50
82. Idée générale de la constitution géologique du sol 51
83. Constitution du dépôt septentrional. 51
Terrains secondaires 51
— tertiaires 52
Alluvions. 52
84. Constitution du dépôt central . 53
Terrain silurien 53
— dévonien. 54
— houiller 58
— pénéen. 58
— crétacé. 58
— Tertiaire et d'alluvion 58

Numéros. Pages.
85. Constitution du dépôt méridional 59
Terrain de trias 59
— jurassique 59
Tableau des principaux marbres exploités en Belgique. . 60
Bancs de calcaire carbonifère exploités à Ligny (prov. de Namur). 65
Note sur les carrières de Soignies et des Ecaussines . . . 66
Bancs de calcaire exploités aux carrières des Grands-Malades (près Namur). 67

ART. IV.

Ressources de la France en pierres à bâtir.

86. Observation préliminaire. . . . 70
87. Idée générale de la constitution géologique 70
88. Terrain de transition. 70
89. Terrain primitif 71
90. Roches volcaniques. 72
91. Etendue des terrains granitique, volcanique et de transition. 72
92. Terrain houiller 72
93. Terrain pénéen 72
94. Terrain de trias. 72
95. Terrain jurassique. 73
96. Terrain crétacé, tertiaire et d'alluvion. 74
97. Marbres. 76
Marbres principaux exploités en France 76

ART. V.

Des sables.

98. Classification 79
99. Gisement 79
100. Usages 80

ART. VI.

Des argiles.

101. Composition et caractères. . . 80
102. Classification. 80
103. Gisement 81

ART. VII.

Des pierres artificielles.

I. BRIQUES.

104. Espèces diverses. 81
105. Fabrication 82
106. Choix des terres 82
107. Préparation des terres. 82
108. Moulage 83
Procédé belge 84
Procédé anglais 85
109. Dessiccation 87
110. Cuisson. 87

Numéros. Pages.

Cuisson ordinaire ou en tas . . 87
Klamp de Rupelmonde 89
Fours de Hemixem 89
— de Boom. 89
— du Hainaut 91
111. Qualités requises d'une bonne brique. 92
112. Briques réfractaires 92
113. Briques creuses 92

II. TUILES.

114. Espèces diverses. 92
115. Préparation de la terre 92
116. Moulage 93
117. Dessiccation 93
118. Cuisson. 93
119. Qualités requises d'une bonne tuile. 93

III. CARREAUX DE PAVAGE.

120. 94

IV. TUYAUX DE CONDUITE.

121. 95

ART. VIII.

Renseignements sur les pierres artificielles belges.

122. Lieux de fabrication 95
123. Dimensions adoptées, qualités. 96
Briques. 96
Pannes. 99
Tuiles Josson et Delangle . . . 100
Carreaux 100
Tuyaux de conduite 100
124. Dépenses de fabrication. . . . 100
Pannes 100
Carreaux. 100
Briques. 101

ART. IX.

Renseignements sur les pierres artificielles de France.

125. Lieux de fabrication 101
Briques. 101
Tuiles 102
Carreaux 102
Bétons agglomérés. 103

ART. X.

Du verre à vitre et des glaces.

126. Verre à vitres 103
127. Glaces 104

DEUXIÈME SECTION.

ÉTUDE DES MATÉRIAUX LIGNEUX.

PRÉLIMINAIRE.

128. Classification des végétaux . . 105
129. Structure organique des arbres. 106
130. Reproduction des arbres . . . 107

Numéros. Pages.

ARTICLE PREMIER.

Des bois de construction.

131. Qualités requises. 108
132. Examen et réception des bois. 111
133. Vices et défauts des bois . . . 111
134. Bois du commerce. 113
135. Observation relative aux anciennes mesures 114
136. 116
137. Abatage des arbres 116
138. Ebranchage et tronçonnage . . 116
139. Refente 116
140. Équarrissage 117
141. Débit. 118
142. Conditions d'un bon débit. . . 119
143. Sciage sur mailles. 120
144. Méthode de Moreau 120
145. Méthode hollandaise 120
146. Observation. 120
147. Conservation et dessiccation des bois. 121
Empilement 121
Flottage. 122
Extraction de la sève 122
148. Injection des bois 122
Procédé Kyan 122
Procédés Bréant et Moll 123
Procédé Boucherie 123
149. Conservation des bois ouvrés . 124
150. Doublage. 124
151. Carbonisation 124
152. Moyens employés ponr diminuer la combustibilité des bois. 125

ART. II.

Des arbres propres à fournir les bois de construction

153. Observation préliminaire . . . 125
154. Caractères distinctifs des arbres. 125
155. Division en quatre classes . . 126

ARBRES A BOIS DUR.

I. CHÊNE.

156. Caractères distinctifs 126
157. Variétés 126
158. Qualités, usages. 126

II. CHATAIGNIER.

159. Caractères distinctifs. 127
160. Usages 128

III. ORME.

161. Caractères distinctifs 128
162. Variétés et usages. 129

IV. NOYER.

163. Caractères distinctifs. 129
164. Usages 129

Numéros. Pages.

V. HÊTRE.

165. Caractères distinctifs 129
166. Variétés et usages 130

VI. FRÊNE.

167. Caractères distinctifs 130
168. Usages 131

ARBRES RÉSINEUX.

169. Observations générales 131

I. PIN.

170. Caractères distinctifs. 131
171. Variétés 132
172. Qualités, usages 132

II. SAPIN.

173. Variétés et caractères. 132
174. Usages, qualités 133

III. MÉLÈZE.

175. Caractères et qualités 133

IV. BOIS DU NORD.

176. 133

ARBRES A BOIS TENDRE.

177. 134

I. PEUPLIER.

178. Caractères 135
179. Variétés 135

II. TREMBLE.

180. 135

III. AUNE.

181. 135

IV. BOULEAU.

182. 136

V. CHARME.

183. 136

VI. ÉRABLE.

184. 137

VII. PLATANE.

185. 137

VIII. TILLEUL.

186. 138

IX. SAULE.

187. 138

X. ACACIA.

188. 138

XI. MARRONNIER D'INDE.

189. 139

ARBRES A BOIS FIN.

190. 139

Numéros. Pages.

I. SORBIER.

191. 139

II. POIRIER.

192. 140

III. POMMIER.

193. 140

VI. PRUNIER.

194. 140

V. CERISIER.

195. 140

VI. CORNOUILLER.

196. 140

VII. BUIS.

197. 140

VIII. ACAJOU.

198. 141

IX. PALISSANDRE.

199. 141

X. ÉBÈNE.

200. 141

XI. GAÏAC.

201. 141

ART. III.

Matériaux de fascinages.

202. Observation préliminaire . . . 141
203. Fascines 142
204. Piquets. 143
205. Clayons 143
206. Harts 143

ART. IV.

Plantes herbacées.

I. PAILLE, JONC ET ROSEAUX.

207. 144

II. LIN ET CHANVRE, TOILES ET CORDAGES.

208. 144

III. GOUDRON OU BITUME VÉGÉTAL.

209. 145

ART. V.

Aperçu des ressources de la Belgique et de la France en matériaux ligneux.

210. Belgique 146
211. France 146

TROISIÈME SECTION.

ÉTUDE DES MATÉRIAUX MÉTALLIQUES.

212. Métaux employés dans les constructions. 147

Numéros. Pages.

ARTICLE PREMIER.

Fer.

213. Observation préliminaire . . . 147
214. Fonte, ses caractères, ses qualités 147
215. Fer malléable ; ses caractères et ses qualités. 149
216. Fers du commerce 150
217. Essai des fers 151
218. Dilatation. 151
219. Défauts des pièces forgées. . . 152
220. Acier, ses caractères, ses qualités 152
221. Usages 152

ART. II.

Plomb, cuivre, zinc, étain et alliages.

I. PLOMB.

222. Caractères et propriétés. . . . 153
223. Usages 153
224. Plombs du commerce 153

II. CUIVRE.

225. Caractères et propriétés 154

III. ZINC.

226. Caractères et propriétés. . . . 154
227. Usages 155
228. Zinc du commerce 155

IV. ÉTAIN.

229. Caractères, propriétés, usages. 155

V. LAITON.

230. Caractères et propriétés 155

VI. BRONZE.

231. Caractères et propriétés. . . . 156
232. Usages du cuivre et de ses alliages. 156
233. Observation relative aux objets moulés 156

VII. SOUDURES.

234. Composition 156

ART. III.

Objets de clouterie.

235. 157

ART. IV.

Aperçu des ressources de la Belgique et de la France en matériaux métalliques.

236. 158

DEUXIÈME PARTIE.

EMPLOI DES MATÉRIAUX.

PRÉLIMINAIRE.

237. 160

Numéros. Pages.

PREMIÈRE SECTION.

EMPLOI DES MATÉRIAUX PIERREUX.

ARTICLE PREMIER.

Art du maçon appareilleur.

238. Définition 160
239. Aperçu historique 161
240. Remarque sur les maçonneries d'appareil des anciens. . . . 161
241. Constructions modernes 161
242. Fractionnement des massifs ; règles à observer. 162
243. Motifs de ces prescriptions. . . 162
244. Divers genres d'appareils auxquels elles ont donné naissance. 163
245. Détails d'exécution. 164
Pose sur cales. 164
Ses défauts 164
Observation 165
Pose à bain de mortier. 166
Pose en délit. 167
246. Bardage 167
247. Levage 167
248. Moyens de liaison 168
249. Scellements. 168
250. Ravalements 170
251. Jointoiement. 170
252. Échafaudages 170
253. Cintres 171
254. Démolition des échafaudages. Décintrement. 172
255. Outils du maçon appareilleur. . 173

ART. II.

Art du maçon.

256. 173

DES MORTIERS.

I. NOTIONS PRÉLIMINAIRES.

257. Conditions auxquelles doivent satisfaire les mortiers en général 174
258. Espèce diverses de mortiers. . 174
259. Mortiers d'argile. 174
260. Mortiers de plâtre 175
261. Mortiers de chaux 175
262. Propriétés principales de la chaux 175
263. Classification des chaux 176
Chaux aériennes 177
— hydrauliques 177
264. Cause de l'hydraulicité de la chaux. 179
265. Chaux hydrauliques, ciments artificiels 180
266. Fabrication à simple cuisson. . 180
267. Fabrication à double cuisson . 181

Numéros. Pages.

268. Pouzzolanes factices 181
269. Trituration des pouzzolanes, des argiles et des ciments . . 184
270. Essai et analyse des calcaires. 186
Essai des calcaires 186
Analyse des calcaires 186

II. FABRICATION DES MORTIERS DE CHAUX.

271. 186
272. Extinction de la chaux 187
— ordinaire 187
— par immersion . . . 188
— par aspersion 189
Extinction spontanée 189
273. Convenance des divers modes d'extinction 189
274. Passage au crible de la chaux éteinte 190
275. Choix des sables et des pouzzolanes 190
276. Pouzzolanes naturelles et artificielles employées en Belgique et en France 191
277. Dosage des matières 192
278. Mortiers ordinaires 192
279. Mortiers hydrauliques 192
280. Compositions prescrites par les conditions générales 193
281. Dosages adoptés pour les travaux de Diest. 193
282. Indications de M. Vicat relativement au dosage des mortiers 194
283. Mortiers pour les constructions à la mer. 195
284. Manipulation des mortiers . . . 195
285. Machines à corroyer le mortier. 196
Machines à meules verticales . 196
— à râteau 197
— à tonneau 197
286. Remarque sur une prescription des conditions générales . . . 197
287. Baraques à mortier 198
288. Réduction de volume des matières employées par l'effet du corroyage 198
289. Théorie du durcissement des mortiers 199
290. Conséquences qui dérivent de cette théorie 199
291. Fausse application qu'on en fait 200
292. La plupart des chaux belges sont suffisamment hydrauliques pour les constructions ordinaires. 201

APPENDICE AUX MORTIERS.

DES MASTICS.

293. 203

Numéros. Pages.

294. Pierre artificielle. 203
295. Mastic des tailleurs de pierre . 203
296. Mastic ferrugineux. 204
297. Mastic des fontainiers 204
298. Mastic de Vauban 204
299. Mastic Loriot 205

DES MAÇONNERIES.

300. Espèces diverses de maçonneries 205

I. MAÇONNERIES EN LIBAGES.

301. Définition. 205
302. Précautions à observer dans l'exécution 205
303. Maçonneries sèches en libages. Leur emploi. 206

II. MAÇONNERIES EN MOELLONS.

304. Comment on les subdivise. . . 206
305. Maçonneries par assises réglées. — Définition 206
306. Détails d'exécution 206
307. Maçonnerie par relevés 207
308. Maçonnerie irrégulière. 208
309. Observations générales sur les maçonneries en moellons. — Inégalité des tassements . . . 208
Précautions à prendre pour prévenir ses effets 208
310. Cirage et jointoiement. 209
311. Emploi des maçonneries en moellons 209
312. Maçonnerie sèche en moellons. 210

III. MAÇONNERIES EN BRIQUES.

313. Leur emploi 210
314. Détails d'exécution. 210
Manières d'arranger les briques des murs de diverses épaisseurs. 210
Arrangement des briques dans les têtes de murs, les couronnements, les capes 212
Voûtes en briques 213
315. Observations générales relatives aux maçonneries de briques. — Pose des briques . . 214
Il faut mouiller les briques. . . 214
Précautions particulières à observer dans la construction des parements 214
316. Cirage et jointoiement. 214
317. Boutisses et chaînes 215

IV. MAÇONNERIE EN BÉTON.

318. Composition 215
319. Manipulation. 215
320. Emploi du béton. 216

Numéros. Pages.

V. MAÇONNERIE EN PISÉ.

321. Composition 217
322. Choix des terres 217
323. Préparation des terres. 218
324. Fabrication. 218

VI. MAÇONNERIES MIXTES.

325 220

VII. OBSERVATIONS SUR LES MAÇONNERIES EN GÉNÉRAL.

326. Époque propre à l'exécution des maçonneries 220
327. Précautions à observer dans la construction des murs et des voûtes 220
328. Échafaudages et cintres 221
329. Outils du maçon 222

ART. III.

Art du plafonneur et du stucateur.

330. 223
331. Crépis ordinaires. 223
Crépi au plâtre. 223
Crépi à la chaux 224
332. Enduit ordinaire au plâtre. . . 224
333. Enduit à la chaux 224
334. Blanc en bourre 224
335. Observations. 225
336. Crépis et enduits dans les lieux humides, pour les bassins, citernes, conduites d'eau, etc . 225
337. Stucs. 225
Stuc au plâtre 225
Stuc à la chaux. 226
338. Plafonds 226
339. Moulures et ornements. 227
340. Badigeon. 228
341. Outils du plafonneur. 228
342. Échafaudages 229

ART. IV.

Art du paveur et du carreleur.

343. Définition. 229

I. PAVAGES EN PIERRE.

344. Des pavés 230
345. Détails d'exécution. 230
Pavage au sable 230
Pavage à bain de mortier. . . 231
346. Précautions à observer 232

II. PAVAGES EN BOIS.

347. 232

III. AIRES EN CAILLOUTIS.

348. 233
349. Encaissements. 233
350. Disposition du cailloutis dans l'encaissement 233

Numéros. Pages.

351. Système de Mac-Adam 233
352. Précautions à observer 233
Cassis 234
Écharpes. 234

IV. PAVAGES EN DALLES ET EN CARREAUX.

353. Détails d'exécution 234

V. PAVAGES EN BRIQUES.

354. Détails d'exécution. 235

VI. DALLAGES EN MASTIC BITUMINEUX.

355. Composition des mastics bitumineux de Seyssel, etc. . . . 235
356. Leurs propriétés 235
357. Façon des dallages en mastic . 235
358. Fraude à éviter. 237

VII. AIRES EN MORTIER OU EN BÉTON.

359 237
360. Construction des aires de granges 237
361. Dallages en mortier de cendrée 238
Prescriptions du devis modèle français 238

OUTILS DU PAVEUR ET DU CARRELEUR.

362. 239
363. Outils du paveur. 240
364. Outils nécessaires à l'exécution des dallages en mastic. . . . 240

ART. V.

Art du couvreur.

365. Couvertures en ardoises. — Détails d'exécution 240
366. Faîtes, noues et arêtiers. . . . 241
367. Couvertures en tuiles 242
368. Couvertures en mastic d'asphalte. 243
369. Outils du couvreur 244
370. Observation 244

ART. VI.

Art du vitrier.

371. Son objet. 245
372. Pose du verre à vitre sur plomb 245
373. Pose sur châssis. 245
374. Lanterneaux 245
375. Composition du mastic du vitrier 246
376. Outils du vitrier. 246

DEUXIÈME SECTION.

EMPLOI DES MATÉRIAUX LIGNEUX.

ARTICLE PREMIER.

Art du charpentier.

PRÉLIMINAIRE.

377. 247

Numéros. Pages

378. Principes de composition . . . 248
379. Application à la composition des planchers 248
380. Application à la composition des combles 250
381. Observation 252
382. Application à la composition des pans de bois 252

DES ASSEMBLAGES.

383. Prescriptions générales 254
384. Définitions 254
385. Cas divers 255

I. ASSEMBLAGE A TENON ET MORTAISE ET SES DÉRIVÉS.

386. Assemblage droit à tenon et mortaise 255
Du tenon. 255
De la mortaise 256
Dimensions des diverses parties de l'assemblage 256
Des chevilles. 256
387. Assemblage oblique à tenon et mortaise 257
388. Assemblage oblique à tenon et mortaise avec embrèvement. 258
De l'embrèvement 258
389. Assemblage à simple embrèvement sans tenon 259
390. Assemblage à crans 259
391. Des joints anglais 259
392. Assemblage à oulice 261
393. — des bois ronds . . 261
394. — dérivés des précédents 262
— à doubles tenons et mortaises . . . 262
— à paumes. 262
— à tenon avec renfort en chaperon. 262
— à tenon avec renfort carré 263
— à chaperon et renfort 263
— à double repos . . 263
— à paume avec repos 263
— à double paume et double repos . . 263
— à entaille carrée . 263
— à mors d'âne . . . 263
— à tenons en biseau 263
— à tenons passants. 263
— à tenons passants et apparents . . 263
— à tenon et mortaise sur l'arête. . . . 264
395. — au moyen de courbes 264
396. — en queue d'hironde 264

Numéros. Pages.

397. Assemblage en queue d'hironde simple 264
398. — en queue d'hironde à recouvrement. 265
399. — en queue d'hironde à clef 265

II. ASSEMBLAGES D'ANGLE.

400. Assemblage à mi-bois 265
401. — à onglets. 265
402. — à onglets avec tenons 266
403. — à queue d'hironde simple 266
404. — à queue d'hironde à recouvrement. 266
405. — à tenon et mortaise avec joint en onglet 266
406. — à tenon avec recouvrement en onglet double. . 266

III. ENTURES HORIZONTALES.

407. Définition. 267
408. Entures. — A mi-bois avec about carré. 267
En queue d'hironde 267
En queue d'hironde et à recouvrement 267
Avec tenons d'about 267
Avec about en coupe. 267
— carrés et tenons réservés 267
— en coupe et brisés. 267
— avec rainures et languettes intérieures 267
409. Enture en fausses coupes avec tenons inverses, abouts en coupe et brisés. 268
410. Enture à coulisse en queue d'hironde avec abouts en coupe. 268
411. Entures à endents, simples, avec rainures et languettes, en queue d'hironde sur les faces de parement 268
Même assemblage avec coupes biaises 268
412. Traits de Jupiter. — Simple . . 268
Simple avec clef. 268
Même assemblage, avec abouts taillés en coupe et brisés. . . 268
Trait de Jupiter à joints droits avec abouts en coupe, brisés et à clef. 268
Avec tenon d'about, rainures, languettes et clef 268
A triple entaille ou à trois clefs. 269

Numéros. Pages.

A trois entailles et une seule clef 269
Double à fausses entailles en coupes inverses. 269
Avec coupes droites, fausses coupes et clef en queue d'hironde 269
Sans clef et boulonné. 269
A joint droit avec une seule clef. 269
413. Trait à plat-joint en tenailles. . 269

IV. ENTURES VERTICALES.

414. Enture à fausse tenaille. 270
415. — à tenon chevronné. . . 270
416. — à tenons et tenailles en croix. 270
417. — à tenailles inverses. . . 270
418. — à tenons et mortaises carrés 270
419. Même assemblage à double tenon. 270
420. Enture à double enfourchement carré. 270
421. Enture à double enfourchement sur les arêtes. 270
422. Enture par quartier à mi-bois sur les quatre faces. 271
423. Enture à enfourchement. . . . 271
424. Trait de Jupiter à quatre faces. 271
425. Enture par quartiers à mi-bois avec tenons réservés en chevrons 271
426. Enture par quartiers sur les arêtes. 271
427. Enture à enfourchement en fausse coupe sur les quatre faces. 271
428. Enture à double enfourchement 272
429. — à fausse coupe sur les quatre faces. 272

V. ENTURES DE PIÈCES DE BOIS MINCES.

430. Entures à fausse coupe, à clef. 272
Avec faux tenon chevillé. . . . 272
Avec tenons réservés 272
431. Entures à mi-bois avec fausses coupes croisées. 272

VI. ENTURES USITÉES DANS LA CHARPENTERIE NAVALE.

432. 272

VII. ASSEMBLAGES DE PIÈCES DE BOIS CROISÉES.

433. Assemblage croisé à tiers de bois 273
434. Même assemblage à mi-bois. . 273
435. Assemblage en croix à double entaille. 273
436. Assemblage à mi-bois en croix à clef 274

Numéros. Pages.

437. Croix de Saint-André. 274
— avec embrèvement 274
Croix de Saint-André formée par des pièces débillardées. . 274
438. Moyens de consolidation des assemblages précédents . . . 275
439. Joints anglais. 275

VIII. ASSEMBLAGES RUSSES ET SUISSES.

440-443 276

IX. ASSEMBLAGES LONGITUDINAUX DES GROSSES PIÈCES.

444. Dispositions diverses. 278
445. Moyens auxiliaires 278

X. ASSEMBLAGES LONGITUDINAUX DES PLANCHES ET DES MADRIERS.

446. 279

XI. ASSEMBLAGES A ENDENTURES USITÉES DANS LA CHARPENTERIE NAVALE.

447. 280
448. Observations sur les assemblages à endents. 280

XII. MOISES.

449. 281

XIII. ASSEMBLAGES DES PIÈCES DE BOIS COURBES.

450. 283

XIV. ASSEMBLAGES VICIEUX.

451. 284

EMPLOI DU FER DANS LES CHARPENTES.

452. Observations préliminaires. . . 285
453. Clous, chevilles et vis. 286
454. Clameaux. 287
455. Boulons. 287
456. Frettes 288
457. Liens et étriers. 289
458. Bandes et équerres. 289
459. Boîtes et manchons. 290
460. Observation générale 290

COURBURE DES BOIS DE CHARPENTE.

461. Observation préliminaire. . . . 290
462. Ramollissement à l'eau bouillante. 291
463. Ramollissement au sable chaud 291
464. — à la vapeur . . 292
465. Pliage des bois ramollis 293
466. Courbure des arbres sur pied. 295

OUTILS DU CHARPENTIER.

467. Espèces diverses. 295
468. Outils servant à piquer et à tracer 295

Numéros. Pages.

469. Outils et instruments servant à déterminer les positions des lignes et des plans 296
470. Outils tranchants par percussion 297
471. Outils tranchants à corroyer et à planer le bois. 298
472. Outils à percer 300
473. — à scier 301
474. — à frapper. 302

ART. II

Art du menuisier.

475. En quoi l'art du menuisier diffère de celui du charpentier. 302
476. Distinction établie dans les ouvrages de menuiserie. 303
477. Moyens accessoires d'assemblage. 303
478. Outils propres au menuisier. . 303

ART. III.

Art du tourneur.

479. Observation préliminaire. . . . 304
480. Espèces diverses de tours. . . 305
481. Tours à pointes. 305
482. — en l'air 306
483. Mécanismes employés pour communiquer le mouvement de rotation. 306
484. Outils du tourneur. 307

ART. IV.

Art du fascineur et du paillassonneur. — Couvertures en matières ligneuses.

485. Préliminaire. 308
486. Saucissons 308
487. Claies. 308
488. Gabions. 309
489. Paniers farcis 309
490. Clayonnages 309
491. Fascinages 309
492. Tunages. 309
493. Observation. 310
494. Plates-formes. 310
465. Soins qu'exigent les fascinages en général. 312
496. Paillassonnages. 312

Couvertures en matières ligneuses.

497. Couvertures en chaume. 313
498. — en roseaux. 313
499. — en bardeaux. . . . 313
500. — en planches 313
501. — en toiles peintes. . 313
502. — en carton goudronné 314

Numéros. Pages.

TROISIÈME SECTION.

EMPLOI DES MATÉRIAUX MÉTALLIQUES.

ARTICLE PREMIER.

Art du serrurier.

503. Préliminaire 315

ASSEMBLAGES EMPLOYÉS EN SERRURERIE.

504. Observations générales. 316
505. Assemblages de deux pièces dont l'une rencontre l'autre à angle droit en un point quelconque de sa longueur. . . . 317
506. Assemblages d'angle. 318
507. — de pièces qui se croisent 318
508. Entures 318
509. Pièces jumellées. 318
510. — moisées 319
511. Observations 319
512. Levage des grandes charpentes 319
513. Principaux outils. 320

ART. II.

Art du plombier, du ferblantier, de l'ouvrier en zinc et en cuivre, etc.

514. Travaux qui sont de leur ressort 322
515. Soudures 322
516. Couvertures métalliques. . . . 323
517. Espèces diverses de couvertures en métal. 323
518. Assemblage à dilatation libre ; ses avantages. 324
529. Divers modes adoptés. 324
520. Assemblages à agrafures simples 325
521. Inconvénients et avantages de ce premier système. 325
522. Assemblages à agrafures doubles. 325
523. Assemblages sur tringles ou tasseaux 326
524. Moyens accessoires d'attache. 326
525. Coupe-larmes. 327
526. Observations 327
527. Moyen imaginé par les Anglais pour augmenter la rigidité des feuilles de métal. 328

APPENDICE A LA DEUXIÈME PARTIE.

Art du peintre en bâtiments.

528. Préliminaire 328
529. Goudronnage. 329
530. Peinture à l'huile 329
531. Couleurs blanches. 330
532. — noires 331
533. — jaunes 331
534. — bleues 331
535. — vertes 332
536. — rouges 332

Numéros. Pages.

537. Composition des teintes. . . . 333
538. Huiles. 334
539. Broiement et détrempe des couleurs. 334
540. Siccatifs. 335
541. Brosses. 336
542. Mise en couleur 336
543. Précautions à observer 337
544. Données d'expérience 338
545. Embu. 338
546. Vernis 338
547. Propriétés que doivent posséder les vernis. 338
548. Espèces diverses de vernis . . 339
549. Vernis gras. 339
550. Vernis à l'alcool 340
551. — à l'essence 340
552. Application des vernis 341
553. Précautions à observer 341
554. Peinture en détrempe ou à la colle 342
555. Peinture à la bière 343
556. Dorure. 343
557. Bronzure 344
558. Silicatisation 345

TROISIÈME PARTIE.

THÉORIE DES CONSTRUCTIONS.

559. Préliminaire 346

PREMIÈRE SECTION.

THÉORIE DE LA RÉSISTANCE DES SOLIDES.

PRINCIPES GÉNÉRAUX.

560. 347

I. CORPS SOUMIS A L'EXTENSION.

561. Principe fondamental 348
Conséquence 348
562. Ce qu'on appelle coefficient de rupture et limite des charges permanentes 349

II. CORPS SOUMIS A LA COMPRESSION.

563. 350

III. CORPS SOUMIS A LA FLEXION.

564. 350
565. Faits d'expérience. 350
566. Conséquences. 350
567. Détermination des efforts intérieurs de tension et de compression 351
568. Équation d'équilibre. 352
569. Ce qu'on appelle *moment de rupture*. 252
570. Valeurs du moment de rupture pour les sections le plus fréquemment employées. 353
Rectangle droit. 357
Carré droit. 357

Numéros. Pages.

Cercle. 357
Tuyau rectangulaire 357
Tuyau circulaire 357
Rectangle oblique 358
Observation 359
571. Usage des moments de rupture. 359
572. Détermination de la flèche de courbure 361
573. Ce qu'on appelle *moment de flexion* 362
574. Valeurs de s pour les sections les plus employées 362
575. Équation d'équilibre. 367
576. Expression de la flèche de courbure 368

IV. CORPS SOUMIS A LA TORSION.

577. Recherche de l'expression générale du moment de la résistance à la rupture par torsion. 368
578. Valeurs particulières de ce moment et équation d'équilibre. — Cylindre plein 369
Cylindre creux 370
Prisme rectangulaire. 370
— à base carrée. 370

V. CORPS SOUMIS A LA DISJONCTION.

579. 370

APPLICATION DE LA THÉORIE DE LA RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX A L'ÉTABLISSEMENT DES CONSTRUCTIONS.

I. MATÉRIAUX SOUMIS A L'EXTENSION OU A LA COMPRESSION.

580. Questions à résoudre. 371
581. Formules à cet effet 371
582. Echelles propres à les remplacer 372
583. Formules propres à déterminer l'épaisseur à donner aux tuyaux de conduite et aux chaudières 375
584. Application aux ponts suspendus. 376
585. Données 376
586. Détermination de la section des tiges de suspension 376
587. Détermination de la section des chaînes de suspension 377
588. Détermination de la section transversale des supports . . 379

II. MATÉRIAUX SOUMIS A LA FLEXION.

589. Questions à résoudre 380
590. Cas divers 380
591. 1er CAS. Pièce encastrée à une extrémité chargée d'un poids P suspendu à l'autre bout. . 380
592. 2e CAS. Pièce horizontale encas-

Numéros. Pages.

trée à une extrémité, et chargée, sur toute sa longueur, de poids uniformément répartis 381
593. 3e CAS. Pièce horizontale encastrée, chargée de poids uniformément répartis, et de plus d'un poids P suspendu à son extrémité libre. 382
594. 4e CAS. Pièce horizontale encastrée, chargée de poids uniformément répartis, mais tirée par une force P agissant en sens contraire de la pesanteur. 382
595. 5e CAS. Pièce horizontale encastrée, chargée de poids uniformément répartis et sollicitée de plus par un poids placé à une distance *a* du plan d'encastrement 382
596. 6e CAS. Pièce encastrée horizontalement, et chargée de poids quelconques diversement répartis 383
597 *et* 598. 7e CAS. Pièces encastrées, inclinées à l'horizon et sollicitées par des forces vertic. 386-390
599. 8e CAS. Pièces verticales chargées de poids capables de les fléchir 391
600. 9e CAS. Pièce horizontale posée sur deux appuis, et chargée, en son milieu, d'un poids. . . 391
601. 10e CAS. Pièce horizontale posée sur deux appuis, et chargée de poids uniformément répartis 391
602. 11e CAS. Pièce horizontale posée sur deux appuis, chargée de poids uniformément répartis et d'un poids P agissant en son milieu 392
603. 12e CAS. Pièce horizontale posée sur deux appuis, et chargée, dans l'intervalle, de poids quelconques irrégulièrement répartis. 392
604. 13e CAS. Pièce horizontale encastrée à une extrémité, posant par l'autre sur un appui, et chargée d'un poids dans l'intervalle 394
605. 14e CAS. Pièce horizontale encastrée à ses deux bouts, et chargée d'un poids P dans l'intervalle des points d'encastrement 397
606. 15e CAS. Pièces inclinées, posées sur deux appuis, et chargées de diverses manières. 399

Numéros. Pages.

APPLICATIONS AUX COMBLES.

607. PREMIÈRE QUESTION. — Trouver des formules propres à donner l'équarissage de toutes les pièces d'une ferme de combles, composée de deux arbalétiers, d'un entrait, d'un faux entrait et d'un poinçon . 401
608. Arbalétiers 401
609. Faux-entrait 403
610. Poinçon. 403
611. Entrait 404
612. Tensions produites par les changements de température. . . 407
613. Formules numériques applicables aux cas ordinaires de la pratique 408
614. Exemple de calcul. 418
615. Observation 419
616. Échelles propres à remplacer les formules précédentes. . . 420
617. DEUXIÈME QUESTION. — Déterminer: 1° de quelle quantité s'affaissera, sous sa charge, le sommet d'une charpente sans entrait, composée de pièces droites solidement assemblées, en supposant qu'elle soit posée librement et sans frottement sur un plan fixe . . 420
2° De quelle quantité se déplacera horizontalement chacun des pieds 420
3° Quelle serait la force qu'il faudrait appliquer horizontalement à chacun d'eux, pour s'opposer complétement à ce dernier mouvement 420
4° Quelle serait dans ce dernier cas la dépression verticale du sommet. 421
Solut. de la 1re partie de la quest. 421
— 2e — 422
— 3e — 422
— 4e — 423
618. Observations 424

APPLICATIONS AUX PLANCHERS.

619. Planchers composés de solives portant sur les murs. . . . 426
620. Planchers composés de solives portant sur des poutres. . . 427
621. Chevrons et cours de pannes . 427

ARCS EN CHARPENTE.

622. 428
623. Notations. 429
624. Formules générales 429
625. Application à un arc circulaire. 431
626. Observations 434

Numéros. Pages.

627. Détermination de la section transversale de l'arc 436

SOLIDES D'ÉGALE RÉSISTANCE.

628. Définition. 440
629. Exemples 440
630. Emploi des solides d'égale résistance 442
631. Sections transversales d'égale résistance. 443

POUTRE DE PLUS GRANDE RÉSISTANCE.

632. 444

POUTRES ARMÉES ET POUTRES D'ASSEMBLAGES.

633. Définition 445
634. Exemples. Poutres formées de plusieurs pièces superposées 445
635. Poutres composées de pièces juxtaposées. 446
636. Armatures en fer. 447
637. Poutres composées de pièces entées bout à bout 447
638. Poutres en fonte 448
639. Poutres composées de pièces superposées et entées . . . 448
640. Armatures propres à augmenter la rigidité des poutres . . . 449

III. MATÉRIAUX SOUMIS A LA TORSION ET A LA DISJONCTION.

641. 450

DÉTERMINATION DES COEFFICIENTS D'ÉLASTICITÉ, DE RUPTURE, ET DES LIMITES DES CHARGES PERMANENTES.

I. DÉTERMINATION DES COEFFICIENTS D'ÉLASTICITÉ.

642. 450

II. DÉTERMINATION DES COEFFICIENTS DE RUPTURE.

643. Extension. 451
644. Compression 453
645. Torsion. 453
646. Disjonction. 453

III. LIMITE DES CHARGES PERMANENTES.

647. Extension. — Pierres 453
— Bois. 453
— Cordages 454
— Fonte. 454
— Fer. 454
648. Compression. — Pierres. . . . 454
— Bois. 454
— Fer forgé . . 455
— Fonte 455
649. Torsion 455
650. Disjonction. 455
651. Valeurs moyennes de ces divers coefficients 455

Numéros. Pages.

IV. MACHINES EMPLOYÉES POUR ÉPROUVER LA RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX.

652 455

DEUXIÈME SECTION.

DÉTERMINATION DE L'ÉPAISSEUR DES MURS.

ARTICLE PREMIER.

Murs soumis à des pressions verticales.

653. Considérations générales. . . . 457
654. Règles empiriques de Rondelet. 457
655. Murs complétement isolés. . . 458
656. Murs d'enceintes non couvertes. 458
657. Murs de bâtiments couverts par un simple toit. 460
658. Murs de maisons d'habitation.. 461
659. Observation. 462

ART. II.

Murs soumis à des poussées horizontales ou obliques.

I. MURS SOUTENANT DES CHARPENTES SANS ENTRAIT.

660. Détermination de l'épaisseur théorique 463
661. Détermination de l'épaisseur pratique 464

II. MURS DE TERRASSE ET DE REVÊTEMENT.

662. 464

THÉORIE ANALYTIQUE DE LA POUSSÉE DES TERRES.

663. Préliminaire 464
664. Détermination du prisme de plus grande poussée. 465
665. Expression de la poussée *maximum* 468
666. Expression du moment de la poussée *maximum* autour de l'arête de rotation. 469
667. Expression du moment du poids du mur autour de l'arête de rotation 470
668. Equation d'équilibre et détermination de l'épaisseur théorique du mur à la base . . . 471
669. Détermination de l'épaisseur pratique 472
670. Contre-forts des murs de revêtement des ouvrages de fortifications. 475
Forme. 475
Espacement 475
Dimensions. 475
671. Cas auxquels s'appliquent les formules précédentes. . . . 476
672. Modifications que doivent subir les formules précédentes

Numéros. Pages.

pour le cas des demi-revêtements ou de fortes surcharges 476
673. Possibilité d'un glissement du mur sur sa base; détermination de l'épaisseur dans ce cas 478
674. Règle pratique de Vauban pour déterminer l'épaisseur des demi-revêtements. 479
675. Contre-forts des demi-revêtem. 479
676. Observation 480

THÉORIE GÉOMÉTRIQUE DE PONCELET.

677. Détermination du prisme de plus grande poussée. 480
678. Démonstration géométrique du théorème démontré au n° 664 485
679. Transformation des profils. . . 485
680. Détermination du moment et du bras de levier de la poussée 486
681. Détermination de l'épaisseur du mur 488
682. Observations 489
683. Forme des revêtements et des contre-forts 491
684. Revêtements en décharge . . . 492

TROISIÈME SECTION.

THÉORIE DE L'ÉQUILIBRE DES VOUTES.

685. Définitions. 494
686. Questions proposées. 494
687. Observation fondamentale sur laquelle repose leur solution. 495
688. Hypothèses de La Hire. 495
689. Faits d'expérience 495

ARTICLE PREMIER.

Exposition de la théorie.

690. Hypothèses admises. 496
691. Ce qu'on appelle poussée horizontale. 496
692. Comment on la détermine. . . 497
693. Détermination des plans de rupture 499
694. Cas ordinaire de la pratique. . 499

ART. II.

Application de la théorie.

I. VOUTE DEMI-CIRCULAIRE EXTRADOSSÉE PARALLÈLEMENT.

695. Données 500
696. Expression de la poussée dans l'hypothèse de la rotation. . 500
697. Remarque importante 502
698. Conséquence qui en dérive. . . 502
699. Expression de la poussée dans l'hypothèse du glissement. . 503
700. Table de M. Petit 504

Numéros. Pages.

701. Exemple de l'usage de cette table. 504
702. Questions à résoudre 504
703. Solution de la 1re question. . . 505
704. — de la 2e question. . . 506
705. — de la 3e question ; épaisseur théorique des pieds-droits. 506
706. Epaisseur pratique. 507
707. Table de M. Petit. 508
708. Exemple de l'emploi de cette table 508
709. Remarque importante. 508

II. VOUTE EN ARC DE CERCLE EXTRADOSSÉE PARALLÈLEMENT.

710. Données 509
711. Solution des trois questions du n° 702 509
712. Stabilité de la voûte sur ses naissances 509
713. Moindre épaisseur à la clef. . . 510
714. Epaisseur théorique et pratique des pieds-droits. 510
715. Observation 510
716. Table de M. Petit. 511
717. Résumé des deux numéros précédents 511
Remarque 511
718. Glissement des voûtes en arc de cercle vers le plan des naissances. 512

III. VOUTES EXTRADOSSÉES EN CHAPE ET HORIZONTALEMENT.

719. Expression de la poussée dans l'hypothèse de la rotation . 512
720. Expression de la poussée dans l'hypothèse du glissement. . 513
721. Cas particulier de l'inclinaison de la chape à 45°. 513
722. Table de M. Petit. 513
723. Solution des trois questions du n° 702 513
724. Epaisseur théorique des pieds-droits 514
725. Epaisseur pratique. 514
726. Cas particulier où l'inclinaison de la chape est nulle 514
727. Voûtes en anse de panier. . . . 516
728. Règle géométrique de Rondelet pour trouver l'épaisseur des pieds-droits des voûtes en berceau 517

ART. III.

Prescriptions de Rondelet relativement aux voûtes d'arête, en arc de cloître, en dôme, etc.

729. Voûtes d'arêtes 517

Numéros.		Pages.
730.	Voûtes en arc de cloître. . . .	518
731.	Voûtes en dôme	518
732.	Observations.	519
733.	Voûtes accolées	519
734.	Voûtes limitées par des murs transversaux	520
	ART. IV.	
	Questions diverses.	
735.	Surcharges au-dessus des voûtes	520
736.	Voûtes des galeries souterraines	521
737.	Voûtes à l'épreuve de la bombe.	525
738.	Pressions exercées contre les plans du joint.	525
739.	Pressions exercées contre les cintres	526
740.	Observation finale	526
(A).	Table des angles de rupture, des poussées, des épaisseurs limites de pieds-droits, pour les voûtes en plein cintre à extrados parallèle	527
(B).	Table des épaisseurs de pieds-droits pour les voûtes en plein cintre à extrados parallèle . .	528
(C).	Table des angles de rupture, des poussées et des épaisseurs limites de pieds droits, pour les voûtes en plein cintre extradossées en chape à 45° . .	535
(D).	Table des angles de rupture, des poussées et des épaisseurs limites de pieds-droits, pour les voûtes en plein cintre à extrados de niveau	536
(E).	Table des poussées dans divers systèmes de voûtes en arc de cercle à extrados parallèle. .	538

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

IMPRIMERIE POLYTECHNIQUE DE E. LACROIX, à St-Nicolas-Varangéville (Meurthe).

TABLEAU

DES VALEURS MOYENNES DE E, R, R', R_1, R'_1, T, T' ET D POUR LES DIVERSES ESPÈCES DE MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION.

DÉSIGNATION DES SUBSTANCES.	POIDS du MÈTRE CUBE.	COEFFICIENT D'ÉLASTICITÉ E.	EXTENSION. COEFFICIENT de RUPTURE R.	EXTENSION. LIMITE DES CHARGES permanentes R'.	ALLONGEMENT PAR MÈTRE correspondant A LA LIMITE R' $\frac{R'}{E}$.	ALLONGEMENT relatif A LA LIMITE de l'élasticité naturelle DU CORPS.	CHARGE correspondant à CETTE LIMITE	COMPRESSION. COEFFICIENT de RUPTURE R_1.	COMPRESSION. LIMITE DES CHARGES permanentes R'_1.	Accourcissement PAR MÈTRE correspondant A LA LIMITE R'_1 $\frac{R'_1}{E}$.	TORSION. COEFFICIENT de RUPTURE T.	TORSION. LIMITE DES CHARGES permanentes T'.	DISJONCTION. COEFFICIENT de RUPTURE D.	OBSERVATIONS.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1° SUBSTANCES PIERREUSES														
DE BELGIQUE.	kilogrammes.	kilogrammes.	kilogrammes.	kilogrammes.			kilogrammes.	kilogrammes.	kilogrammes.		kilogrammes.	kilogrammes.	kilogrammes.	
Petit granite de Soignies	»	»	»	»	»	»	»	6,580,000	1,650,000	»	"	"	"	
Calcaire carbonifère — de Comblain-au-Pont	»	»	»	»	»	»	»	8,440,000	2,110,000	»	"	"	"	
Calcaire carbonifère — de Namur	»	»	»	»	»	»	»	7,480,000	1,870,000	»	"	"	"	Résultats d'expériences faites par MM. les ingénieurs *A. Belpaire*, *Em. Boudin* et *F. Didier* (*Annales des travaux publics de Belgique*, t. VII, p. 399 et suiv.). Les chiffres de la colonne 10 sont des *maximum* qui ne peuvent être atteints que dans des cas exceptionnels et pour des maçonneries très-soignées. Ordinairement on ne prend pour la valeur de R'_1 que le 1/10 de R'.
Pierre blanche de Gobestange — tendre	»	»	»	»	»	»	»	2,940,000	730,000	»	"	"	"	
Pierre blanche de Gobestange — dure	»	»	»	»	»	»	»	4,560,000	1,120,000	»	"	"	"	
Pierre blanche de Gobestange — très-dure	»	»	»	»	»	»	»	5,810,000	1,450,000	»	"	"	"	
Brique de Boom (*Papesteen*)	»	»	»	»	»	»	»	2,090,000	500,000	»	"	"	"	
Brique — (Klampsteen)	»	»	»	»	»	»	»	2,140,000	500,000	»	"	"	"	
Brique de Furnes	»	»	»	»	»	»	»	550,000	140,000	»	"	"	"	
Briquette jaune de Hollande	»	»	»	»	»	»	»	5,180,000	1,030,000	»	"	"	"	
DE FRANCE.														
Basalte d'Auvergne	2,950	»	»	»	»	»	»	20,000,000	2,000,000	»	"	"	"	
Granite vert, des Vosges	2,850	»	»	»	»	»	»	6,200,000	620,000	»	"	"	"	
Granite gris, de Bretagne	2,740	»	»	»	»	»	»	6,500,000	650,000	»	"	"	"	
Granite (*gatmos*) de Normandie	2,660	»	»	»	»	»	»	7,000,000	700,000	»	"	"	"	
Granite gris, des Vosges	2,640	»	»	»	»	»	»	4,200,000	420,000	»	"	"	"	
Grès très-dur	2,500	»	»	»	»	»	»	8,700,000	870,000	»	"	"	"	
Grès très-tendre	2,490	»	»	»	»	»	»	40,000	4,000	»	"	"	"	
Roche de Châtillon, près Paris	2,290	»	»	»	»	»	»	1,700,000	170,000	»	"	"	"	
Roche de Bagneux, près Paris	2,080	»	»	»	»	»	»	1,300,000	130,000	»	"	"	"	
Roche d'Arcueil, près Paris	2,300	»	»	»	»	»	»	2,500,000	250,000	»	"	"	"	
Roche de Saulny, près Metz	2,350	»	»	»	»	»	»	3,000,000	300,000	»	"	"	"	
Roche de Rozerieulles, près Metz	2,400	»	»	»	»	»	»	1,800,000	180,000	»	"	"	"	
Roche de Saillancourt, près Paris (1re qualité)	2,410	»	»	»	»	»	»	1,400,000	140,000	»	"	"	"	
Roche — — (2e qualité)	2,100	»	»	»	»	»	»	900,000	90,000	»	"	"	"	Résultats d'expériences faites par *Rondelet*, *Poncelet*, etc. Voir pour plus de détails, *Art de bâtir* de Rondelet, t. I, p. 211 et suiv.
Conflans	2,070	»	»	»	»	»	»	900,000	90,000	»	"	"	"	
Lambourde et *vergelé* (bonne qualité)	1,820	»	»	»	»	»	»	600,000	60,000	»	"	"	"	
Lambourde et *vergelé* (qualité inférieure)	1,560	»	»	»	»	»	»	200,000	20,000	»	"	"	"	
Calcaire jaune oolithique de Jaumont, près Metz (1re qualité)	2,260	»	»	»	»	»	»	1,800,000	180,000	»	"	"	"	
Calcaire (2e qualité)	2,000	»	»	»	»	»	»	1,200,000	120,000	»	"	"	"	
Calcaire jaune d'Amanvillers (1re qualité)	2,000	»	»	»	»	»	»	1,200,000	120,000	»	"	"	"	
Calcaire — (2e qualité)	2,000	»	»	»	»	»	»	1,000,000	100,000	»	"	"	"	
Calcaire bleu à gryphites, de Metz	2,600	»	»	»	»	»	»	3,000,000	300,000	»	"	"	"	
Brique dure très-cuite	1,560	»	»	»	»	»	»	1,500,000	150,000	»	"	"	"	
Brique rouge ordinaire	2,170	»	»	»	»	»	»	600,000	60,000	»	"	"	"	
Brique mal cuite	2,090	»	»	»	»	»	»	400,000	40,000	»	"	"	"	
D'ANGLETERRE.														
Granite d'Aberdeen	2,625	»	»	»	»	»	»	7,600,000	760,000	»	"	"	"	
Granite de Peterhead	»	»	»	»	»	»	»	5,780,000	578,000	»	"	"	"	
Granite de Cornouailles	2,662	»	»	»	»	»	»	4,430,000	443,000	»	"	"	"	
Pierre siliceuse de Dundée	2,530	»	»	»	»	»	»	4,450,000	445,000	»	"	"	"	
Pierre siliceuse de Braumsfalle	2,506	»	»	»	»	»	»	4,225,000	422,500	»	"	"	"	
Pierre siliceuse de Derby	2,316	»	»	»	»	»	»	2,190,000	219,000	»	"	"	"	Résultats d'expériences faites par G. Rennie (*Annales de chimie et de physique*, 1818).
Pierre de Portland (moyenne)	2,423	»	»	»	»	»	»	4,450,000	445,000	»	"	"	"	
Brique de Stombridge	»	»	»	»	»	»	»	1,190,000	119,000	»	"	"	"	
Brique de Hammersmith	»	»	»	»	»	»	»	700,000	70,000	»	"	"	"	
DIVERSES.														
Porphyre	2,870	»	»	»	»	»	»	21,000,000	2,100,000	»	"	"	"	
Marbre blanc statuaire	2,690	86,700,000	»	»	»	»	»	3,270,000	327,000	»	"	"	"	
Plâtre gâché avec de l'eau	»	»	»	»	»	»	»	500,000	50,000	»	"	"	"	
Plâtre avec du lait de chaux	»	»	»	»	»	»	»	730,000	73,000	»	"	"	"	
Mortier de chaux de bonne qualité, bien pris	»	»	»	»	»	»	»	1,440,000	144,000	»	"	"	"	
Mortier de mauvaise qualité bien pris	»	»	»	»	»	»	»	190,000	19,000	»	"	"	"	
2° SUBSTANCES LIGNEUSES.														
Chêne de bonne qualité ou *sapin* jaune ou rouge en pièces homogènes (l'effort étant dirigé parallèlement aux fibres)	980 (ch.) 670 (sap.)	1,600,000,000	7,000,000	1,000,000	0,00062	0,00167	2,670,000	4,500,000	(4) 450,000	0m,00026	3,000,000	300,000	"	Les nombres marqués (4) (5) dans la dixième colonne ne conviennent qu'à des prismes dont la longueur ne dépasse pas huit fois la plus petite dimension de l'équarrissage ; pour les autres proportions, il faut recourir aux indications du numéro 648.
Chêne faible ou *sapin* blanc dans les mêmes conditions	900 (ch.) 550 (sap.)	1,000,000,000	1,600,000	230,000	0,00023	0,00167	1,670,000	1,000,000	(5) 100,000	0m,00010	1,300,000	130,000	"	
Sapin de moyenne qualité dans les mêmes conditions	»	1,000,000,000	5,000,000	700,000	0,00070	»	»	»	»	»	"	"	410,000	
Sapin de moyenne qualité en pièces formées de planches de champ assemblées comme dans les cintres à la Philibert de Lorme ou de planches pliées réunies comme dans les charpentes du colonel Emy	»	(6) 500,800,000	»	»	»	»	»	(7) 1,500,000	(8) 300,000	»	"	"	"	Le coefficient (4) est celui que nous avons employé pour calculer l'équarrissage des pièces de chêne ou de sapin soumises à la flexion. Navier conseille pour le même cas de le faire = 600,000 kil. (*Résumé des leçons sur l'application de la mécanique aux constructions*, t. I, p. 117.)
Sapin de qualité moyenne (l'effort étant dirigé perpendiculairement aux fibres)	»	»	940,000	94,000	»	»	»	»	»	»	"	"	"	
Chêne dans les mêmes conditions	»	»	1,600,000	160,000	»	»	»	»	»	»	"	"	"	
Frêne dans le sens des fibres	787	1,170,000,000	12,000,000	1,200,000	0,00111	0,00113	1,320,000	»	»	»	"	"	570,000	Lorsqu'une pression est exercée contre la surface d'une pièce de chêne, si l'on veut que cette surface ne cède pas sensiblement, il faut, suivant M. Gauthey, que l'effort ne surpasse pas 160 kilogr. par centimètre carré (1,600,000 kil. par mètre carré) lorsque la surface pressée est parallèle aux fibres ; et 200 kil. (2,000,000 par mètre carré) lorsque cette surface est perpendiculaire aux fibres ; mais, suivant M. Tredgold, le premier chiffre ne devrait pas dépasser 108 kil. quand il s'agit de chêne et 70 kil. quand il s'agit de sapin.
Orme dans le sens des fibres	738	970,000,000	10,400,000	1,000,000	0,00103	0,00242	2,340,000	»	»	»	"	"	"	
Hêtre dans le sens des fibres	720	940,000,000	8,000,000	800,000	0,00085	0,00175	1,140,000	»	»	»	"	"	"	
Teak (chêne indien) dans le sens des fibres	»	1,700,000,000	11,000,000	1,570,000	0,00092	»	»	»	»	»	"	"	"	
Buis dans le sens des fibres	»	»	14,000,000	1,400,000	»	»	»	»	»	»	"	"	"	
Poirier dans le sens des fibres	»	»	6,900,000	690,000	»	»	»	»	»	»	"	"	"	
Acajou dans le sens des fibres	»	»	5,600,000	560,000	»	»	»	»	»	»	"	"	"	
Cordes de chanvre sèches et non goudronnées	»	»	5,000,000	125,000	»	»	»	»	»	»	"	"	"	Les chiffres (6)(7)(8) sont déduits d'expériences faites par M. Ardant. (*Études théoriques et expérimentales sur l'établissement des charpentes à grande portée.*)
Cordes de chanvre mouillées	»	»	3,280,000	820,000	»	»	»	»	»	»	"	"	"	
Cordes de chanvre goudronnées	»	»	1,700,000	425,000	»	»	»	»	»	»	"	"	"	
3° SUBSTANCES MÉTALLIQUES.														
Fer forgé ou étiré en barres — le plus fort de petit échantillon	»	»	60,000,000	10,000,000	»	»	»	»	»	»	"	"	"	Le coefficient (9), cinquième colonne, a été employé souvent pour déterminer la section des chaînes des ponts suspendus, mais on l'a réduit à 3,000,000 kil. et même à 2,000,000 kil. pour les tiges de suspension, à cause des chocs auxquels elles sont exposées. D'après ce que nous avons dit au numéro 571 nous ferions usage du coefficient (9), cinquième colonne, pour calculer la section des pièces de fer forgé soumises à la flexion. Celui que Navier conseille pour le même cas est 6,000,000 kil.
Fer forgé ou étiré en barres — le plus faible de très-gros échantillon	7,788	»	25,000,000	4,000,000	»	»	»	»	»	»	"	"	"	
Fer forgé ou étiré en barres — moyen	»	20,000,000,000	40,000,000	(9) 7,000,000	0,00035	0,00066	13,200,000	40,000,000	(10) 8,000,000	0m,0004	(11) 9,400,000	1,940,000	"	
Fer en tôle laminé tiré dans le sens du laminage	»	»	41,000,000	7,000,000	»	»	»	»	»	»	"	"	"	
Fer en tôle laminé tiré en sens contraire du laminage	»	»	36,000,000	6,000,000	»	»	»	»	»	»	"	"	"	
Fil de fer non recuit le plus fort de 0m,0005 à 0m,001 de diam.	»	»	80,000,000	13,000,000	»	»	»	»	»	»	"	"	"	Le chiffre (10), dixième colonne, ne convient que pour autant que le solide n'ait pas, en longueur, plus de huit fois le petit côté de la section transversale ; pour les autres proportions il faut se régler d'après les observations du numéro 648.
Fil de fer non recuit le plus faible de grand diamètre	»	»	50,000,000	8,000,000	»	»	»	»	»	»	"	"	"	
Fil de fer non recuit moyen de 0m,001 à 0m,003	»	»	60,000,000	10,000,000	»	»	»	»	»	»	"	"	"	
Fil de fer en faisceau ou en câble	»	»	30,000,000	5,000,000	»	»	»	»	»	»	"	"	"	Le coefficient (11), douzième colonne, a été déduit d'expériences faites à l'établissement de Seraing.
Chaînes en fer doux ordinaires à maillons oblongs	»	»	24,000,000	4,000,000	»	»	»	»	»	»	"	"	"	Suivant Navier et la plupart des auteurs, le chiffre (12), cinquième colonne, ne conviendrait qu'aux pièces de fonte soumises à l'extension directe. Pour les pièces soumises à des forces de flexion on pourrait faire usage du coefficient 7,500,000 kil., auquel correspond un allongement proportionnel = 0m,00062. Mais la fonte est une matière dont la résistance à la flexion est si variable et qui est d'ailleurs sujette à tant d'accidents tout à fait imprévus, que nous croyons qu'il est plus prudent de ne pas le prendre, en général, plus grand que 3,250,000 kil., ainsi que nous l'avons fait dans les calculs donnés comme exemples dans le cours de cet ouvrage.
Chaînes en fer doux renforcées par des étançons	»	»	32,000,000	5,300,000	»	»	»	»	»	»	"	"	"	
Fonte de fer	7,202	11,000,000,000	13,000,000	(12) 3,250,000	0,00030	0,00083	2,130,000	100,000,000	(13) 20,000,000	(14) 0m,00182	29,000,000	2,900,000	"	Le chiffre (13), dixième colonne, ne convient qu'à des prismes dont la longueur n'excède pas quatre fois le plus petit côté de la section transversale ; pour les autres proportions, il faut se régler d'après les observations du numéro 648.
Acier fondu ou de cémentation (1re qualité)	»	30,000,000,000	100,000,000	25,000,000	0,00082	0,00120	36,000,000	»	»	"	»	"	"	
Acier le moins bon, mal trempé	7,800	»	30,000,000	7,000,000	»	»	»	»	»	"	»	"	"	
Acier moyen	»	»	75,000,000	18,000,000	»	»	»	»	»	"	»	"	"	
Bronze des canons	»	4,000,000,000	23,000,000	2,000,000	0,00050	0,00063	2,520,000	»	»	"	»	"	"	Le raccourcissement proportionnel indiqué par le chiffre (14), onzième colonne, n'est probablement pas exact ; nous ne l'avons noté que pour faire voir qu'il pouvait y avoir erreur, dans certains cas, à admettre, selon la théorie, que le coefficient d'élasticité de compression est égal à celui d'extension. S'il en était ainsi, la fonte ne pourrait supporter une charge permanente à beaucoup près aussi considérable que celle que nous avons donnée, et cependant l'expérience de tous les jours confirme qu'elle n'est pas trop forte ; il est à présumer que la valeur de E serait toute différente de celle portée dans la colonne 3, si elle était déterminée par le raccourcissement produit par une compression directe au lieu de l'être par extension ou par flexion, ainsi qu'on l'a toujours fait. Les valeurs très-différentes de R et de R_1 donnent à cette conjecture un grand degré de probabilité. Les mêmes remarques s'appliquent au raccourcissement proportionnel du laiton.
Cuivre laminé de qualité supérieure	8,878	»	26,000,000	6,000,000	»	»	»	»	»	"	»	"	"	
Cuivre battu	8,878	»	25,000,000	6,000,000	»	»	»	»	»	"	»	"	"	
Cuivre fondu	8,788	»	13,000,000	3,250,000	»	»	»	8,240,000	2,060,000	"	»	"	"	
Cuivre en fil non recuit le plus fort au-dessous de 0m,001 de diam.	»	13,100,000,000	70,000,000	11,600,000	»	»	»	»	»	"	»	"	"	
Cuivre en fil non recuit moyen de 0m,001 à 0m,002 de diamètre	8,878	»	50,000,000	8,000,000	»	»	»	»	»	"	»	"	"	
Cuivre en fil non recuit le plus mauvais	»	»	40,000,000	6,600,000	»	»	»	»	»	"	»	"	"	
Laiton fin	8,395	6,455,000,000	12,600,000	2,500,000	0,00038	0,00076	4,905,800	115,900,000	29,000,000	0m,004	»	"	"	
Laiton en fil non recuit le plus fort au-dessous de 0m,001 de diam.	»	23,000,000,000	85,000,000	14,000,000	0,00060	»	»	»	»	"	»	"	"	
Laiton en fil non recuit moyen au-dessus de 0m,001	»	»	30,000,000	8,000,000	»	»	»	»	»	"	»	"	"	
Étain fondu	7,291	3,200,000,000	3,000,000	»	»	»	»	10,860,000	»	"	»	"	"	
Zinc fondu	6,861	9,600,000,000	6,000,000	»	»	»	»	»	»	"	»	"	"	
Zinc laminé	»	»	5,000,000	»	»	»	»	»	»	"	»	"	"	
Plomb fondu	11,352	5,000,000,000	1,280,000	»	»	»	»	5,430,000	»	"	»	"	"	
Plomb laminé	»	»	1,350,000	»	»	»	»	»	»	"	»	"	"	

Nous complétons ce tableau en rapportant quelques résultats d'expériences faites pour déterminer la résistance qu'offrent à l'*arrachement* des vis enfoncées dans des bois de diverses essences.

Les vis employées avaient 0m,05 de longueur, 0m,0035 de diamètre à l'extérieur du filet et 0m,0035 de diamètre entre ces filets. Les filets faisaient douze révolutions sur une longueur de 0m,025. Les vis étaient enfoncées de part en part dans des planches de 0m,025 d'épaisseur.

Elles ont exigé les efforts suivants pour être arrachées :

Dans le frêne sec	356	kilogrammes.
— chêne sec	342	—
— acajou sec	347	—
— orme sec	295	—
— sycomore sec	374	—

ESTANTE 10
Tabla 7.ª
N.º 9

Démanet

COURS
DE
CONSTRUCTION

1

14.707