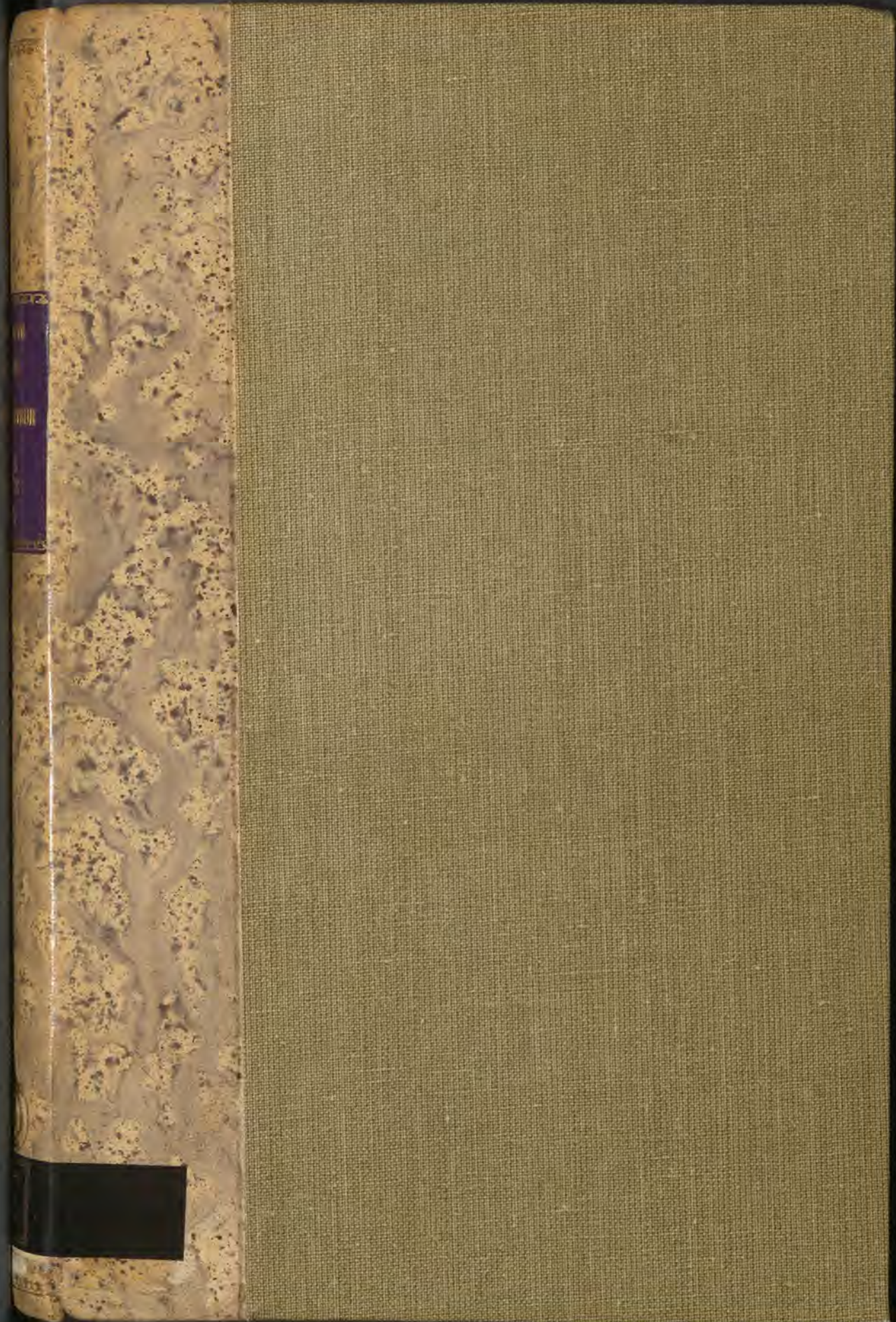



A. LIXAUTE
—
LE GUIDE
DU
CONSTRUCTEUR
DE
TRAVAUX
PUBLICS
TEXTO



1850
LIX
Gui

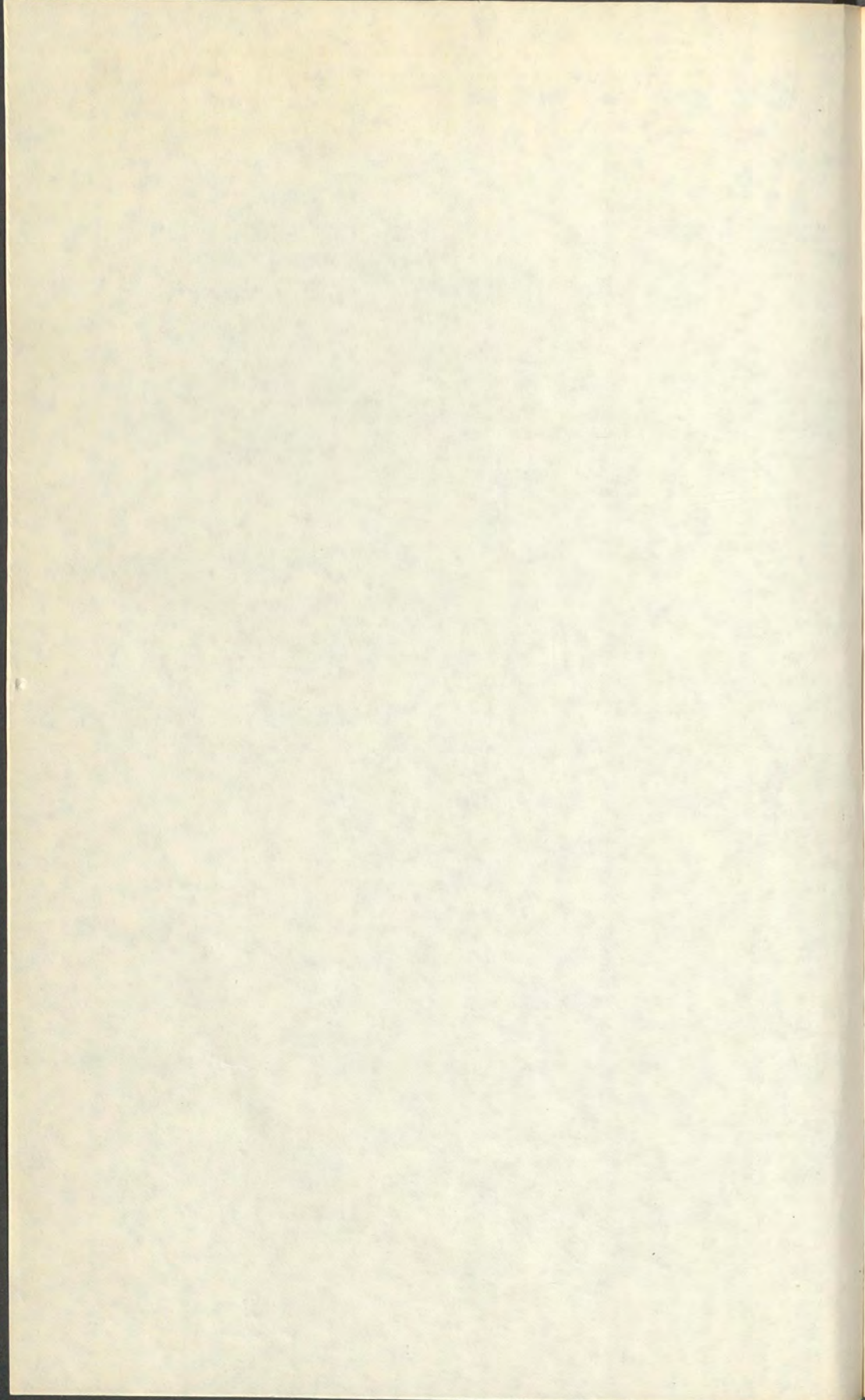


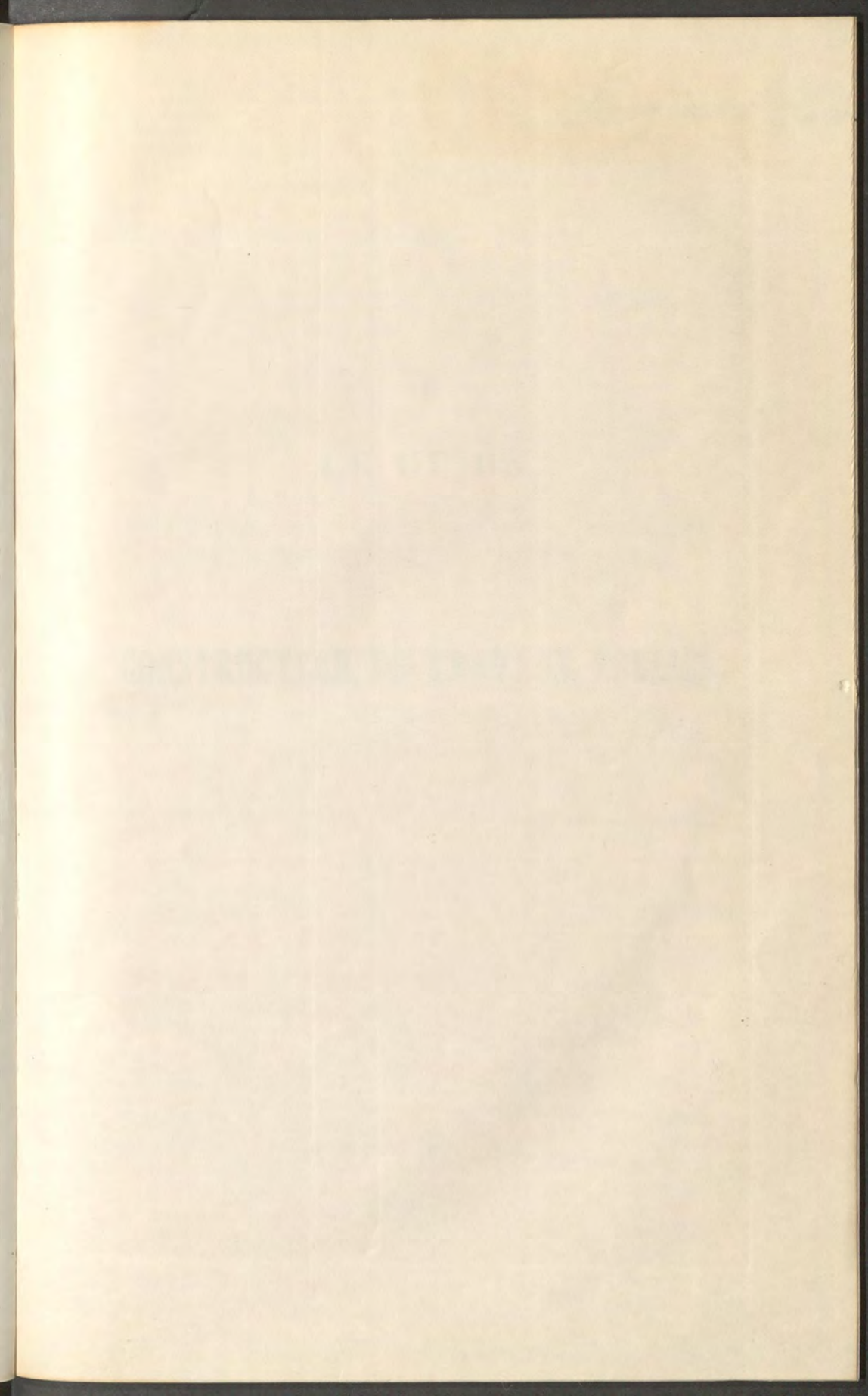


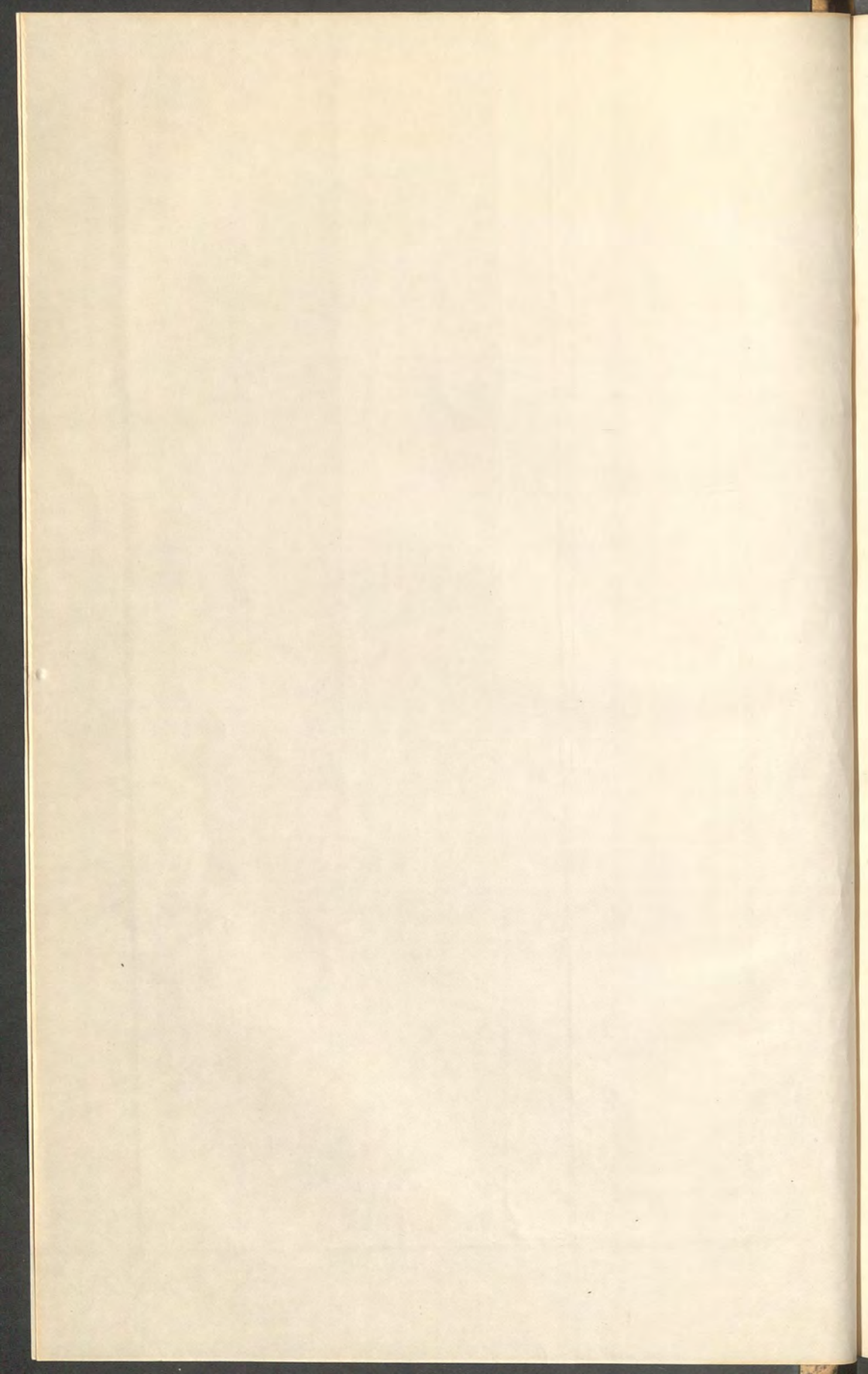
FA-484

1850 LIX Gui

R. 484







Regino Polo

LE GUIDE

CONSTRUCTEUR DE TRAVAUX PUBLICS.

LE GUIDE

DU

CONSTRUCTEUR DE TRAVAUX PUBLICS.

PARIS

CARLINSKI ET M. DEBOUT.

1881.

Revue de Paris

LE GUIDE

CONSTRUCTEUR DE TRAVAUX PUBLICS.

44 97

44 97

LE GUIDE

DU

CONSTRUCTEUR DE TRAVAUX PUBLICS,

ou

TRAITÉ PRATIQUE

DE CONSTRUCTION DE ROUTES, PONTS FIXES EN MAÇONNERIE
ET EN FONTE DE FER, PONTS SUSPENDUS, CANAUX, CHEMINS DE FER ORDINAIRES
ET ATMOSPHÉRIQUES, TRAVAUX DE TUNAGES, THÉORIE DES SOURCES
ET OUVRAGES D'IRRIGATION.

PAR A. LIXAUTE,

ENTREPRENEUR DE TRAVAUX PUBLICS.

BIBLIOTECA
DEL C. O. A. M.

PARIS.

CARILIAN-GOEURY ET V^{OR} DALMONT,
LIBRAIRES DES CORPS DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,
Quai des Augustins, 49.

1850.

4434

4434

LE GUIDE

DE

CONSTRUCTEUR DE TRAVAUX PUBLICS.

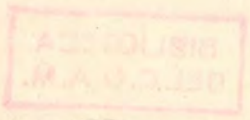
DE

TRAITÉ PRATIQUE

DE CONSTRUCTION DE PONTS, PONTS VIÉS EN MAÇONNERIE
ET EN FOUTE DE FER, PONTS SÉPAREES, CANALS, CHEMINS DE FER ORDINAIRES
ET AÉROSTATIQUES, TRAVAUX DE TUNNELS, THÉORIE DES SOUES
ET DIVERS D'INDUSTRIE.

PAR A. LIXAUTE.

ENTRÉE EN VENTE EN 1850.



PARIS.

CARILLAN-GOEURY ET V. DAINMONT,
LIBRAIRES DES CORPS DES PONTS ET CHAUSSEES ET DES MINES,
Quai des Augustins, 39.

1850.

A M. Bineau, Ministre des travaux publics.

MONSIEUR LE MINISTRE,

Après vingt-six ans d'étude et de travaux de tous genres, soit comme conducteur, soit comme entrepreneur dans l'administration des ponts et chaussées, dont M. le Président de la République vous a confié, à si juste titre, la direction, m'étant trouvé tout à coup sans travail et sans emploi, et n'ayant jamais connu l'oisiveté, j'ai conçu l'idée, téméraire sans doute, de composer un traité de construction qui comblât cette immense lacune qui existe entre les grands ouvrages savants qui émanent de la plume et du génie de MM. les ingénieurs des ponts et chaussées et les Manuels de construction de la collection Roret. Les premiers sont au-dessus de l'intelligence comme de la bourse du plus grand nombre des personnes qui pourraient les consulter avec fruit, et les derniers, bien qu'ils soient d'un mérite incontestable, laissent souvent beaucoup à désirer, lorsqu'on veut les prendre entièrement pour guide.

Comme je ne puis m'adresser à un juge plus compétent que vous, monsieur le Ministre, en votre qualité d'ingénieur des ponts et chaussées, pour apprécier le mérite de mon livre, je crois remplir un devoir en vous en offrant l'hommage, et ce sera pour moi la plus douce récompense si vous croyez devoir l'accueillir favorablement. Cependant si vous reconnaissiez que je n'ai pas atteint entièrement le but difficile que je me suis proposé, j'ai lieu d'attendre de votre inépuisable bienveillance que vous tiendrez compte de mon zèle et de mes efforts dans l'entreprise d'une œuvre dont le besoin se fait si vivement sentir et qui aura été au-dessus de mes forces pour l'accomplir avec succès, mais non au-dessus de mon intelligence pour la concevoir et en avoir le premier jeté les fondements et posé les bases.

Je suis avec le plus profond respect,

Monsieur le Ministre,

Votre très-humble et très-obéissant serviteur,

LIXAUTE.

M. de Guizot, Ministre des Affaires Étrangères

MONSIEUR LE MINISTRE,

Après vingt-six ans d'étude et de travaux de tous genres, soit comme con-
ducteur, soit comme entrepreneur dans l'administration des ponts et chaussées,
dont M. le Président de la République vous a confiés, et si j'ose dire, la
direction, m'étant trouvé tout à coup sans travail et sans emploi, et n'ayant
jamais connu l'oisiveté, j'ai conçu l'idée, félicité sans doute, de composer
un traité de construction qui compléterait cette lacune que j'ai sentie entre les
grands ouvrages auxquels j'ai émané de la plume et du génie de MM. les in-
génieurs des ponts et chaussées et les manuels de construction de la collection
Rort. Les premiers sont au-dessus de l'intelligence comme de la portée du
plus grand nombre des personnes qui pourraient les consulter avec fruit, et les
deuxièmes, bien qu'ils soient d'un mérite incontestable, laissent souvent beau-
coup à désirer, lorsqu'on veut les prendre rationnellement pour guide.

Comme je ne puis m'adresser à un juge plus compétent que vous, Monsieur
le Ministre, en votre qualité d'ingénieur des ponts et chaussées, pour apprécier
le mérite de mon livre, je crois remplir un devoir en vous en offrant l'ouvrage,
et ce sera pour moi la plus douce récompense si vous croyez devoir l'accueillir
favorablement. Cependant si vous reconnaissez que je n'ai pas atteint entière-
ment le but difficile que je me suis proposé, j'ai lieu d'attendre de votre indulgen-
ce bienveillance que vous voudrez compter de mon zèle et de mes efforts dans
l'entreprise d'une œuvre dont le besoin se fait si vivement sentir et qui aura
été au-dessus de mes forces pour l'accomplir avec succès, mais non au-dessus
de mon intelligence pour la concevoir et en avoir le premier jeté les fonde-
ments et posé les bases.

Je suis avec le plus profond respect,

Monsieur le Ministre,

Votre très-humble et très-obéissant serviteur,

LIXAUTE.

LE GUIDE

CONSTRUCTEUR DE TRAVAUX PUBLICS

ERRATA.

Page 16, 13^e ligne : (fig. 1, Pl. 1),

lisez : (fig. 1, Pl. 2).

53, 18^e ligne : font jallir,

lisez : ne font pas jallir.

140, formule (b) $\omega = \frac{\pi h \sqrt{h^2 + 4f^2}}{\varepsilon 2f - \sigma \sqrt{h^2 + 4f^2}}$, lisez : $\omega = \frac{\pi h \sqrt{h^2 + 4f^2}}{\varepsilon 2f - \sigma 4 \sqrt{h^2 + 4f^2}}$.

LE GUIDE

DU

CONSTRUCTEUR DE TRAVAUX PUBLICS.

INTRODUCTION.

L'homme qui embrasse la carrière des ponts et chaussées ne peut s'y maintenir avec quelques succès, s'il ne possède des connaissances assez étendues de tous les éléments de mathématiques, tels que géométrie, trigonométrie, arithmétique, algèbre, jusqu'aux équations du troisième degré; application de l'algèbre à la géométrie et la géométrie descriptive; le dessin linéaire et topographique; la théorie des ombres et la perspective; car l'art des ponts et chaussées est l'application journalière et variée de toutes les sciences que je viens d'énumérer.

C'est donc en vue de l'application de ce principe incontestable, qu'après vingt-six ans d'étude, d'observation et d'expérience en qualité de conducteur ou d'entrepreneur de toute espèce de travaux publics, j'ai conçu l'idée de composer un traité de construction qui fût utile à mes anciens camarades les conducteurs, comme à mes collègues les entrepreneurs des ponts et chaussées.

J'ai traité en raccourci de tous les ouvrages d'art qu'embrasse la science de l'ingénieur en posant les règles et les principes de l'art de

construire, et j'ai mis mon livre à la portée de toutes les intelligences comme de toutes les bourses.

Les ingénieurs des ponts et chaussées, les agents voyers, les conducteurs, les piqueurs et les entrepreneurs puiseront dans mon traité des idées neuves sur presque toutes les matières qui en font l'objet.

Le propriétaire des champs y trouvera des documents précieux pour fertiliser son héritage par des irrigations bien combinées et pour le protéger contre les envahissements désastreux d'un fleuve torrentiel par des ouvrages confortables et à bon marché.

Je termine cette introduction par la relation qu'a faite de mon ouvrage M. Martial de Laffore, ingénieur en chef des ponts et chaussées, dans le département du Lot.

« Mon cher Monsieur, avant de vous livrer aux entreprises de travaux publics, vous nous aviez prêté le concours de votre zèle et de vos moyens en qualité d'agent de l'administration des ponts et chaussées. Cette circonstance expliquera favorablement les sentiments d'estime et d'affection que je vous ai voués, et qui me portent à vous en donner le témoignage, à l'occasion d'un manuscrit ayant pour titre :

» Traité de construction de Routes, Ponts fixes, Ponts suspendus, Canaux, Chemins de fer et Ouvrages en tunages appliqués à l'amélioration des fleuves et rivières, etc., etc.

» J'ai examiné, ou, si l'on veut, simplement parcouru votre manuscrit avec l'intérêt qu'il devait m'inspirer de toute manière, et je n'y ai rien vu d'inexact. Les démonstrations y sont rares, sans doute, mais vous n'auriez pu composer un traité complet ou élémentaire sur un sujet aussi vaste et aussi important, sans donner à votre ouvrage une étendue qui en eût empêché l'impression et la vente.

» Je crois donc, mon cher Monsieur, que vous avez sagement fait en vous bornant à présenter des règles, des principes, des applications, des résultats, etc., que les praticiens pourront admettre et dont les théoriciens vérifieront la justesse et le mérite; ce qui fera que les industriels et les agents de l'administration sentiront également le besoin de se procurer votre traité de Construction. Les personnes de l'une ou l'autre classe qui l'ont vu entre mes

» mains et qui ont d'ailleurs cherché à s'en faire une opinion par leur
» propre examen, ont manifesté l'intention positive de se procurer ce
» Guide du Constructeur dès que cela leur serait possible, et l'on m'a
» mis ainsi à même de pouvoir prendre dès à présent l'engagement
» de souscrire pour une dizaine d'exemplaires de cet ouvrage dont
» le besoin se fait sentir si bien depuis quelque temps. »

CHAPITRE PREMIER.

DU TRACÉ DES ROUTES, CHEMINS DE FER ET CANAUX.

MM. les conducteurs sont ordinairement chargés de ces études sur des données fixes et invariables que leur fournissent MM. les ingénieurs.

Pour bien étudier un tracé, il faut avoir en vue l'économie, la convenance et l'utile; mais pour atteindre ce triple but, il faut posséder une connaissance parfaite de la configuration du pays qu'on traverse, afin de profiter de toutes les positions uniformes ou ondulées du terrain, pour tracer de belles lignes droites et des courbes gracieuses, en évitant autant que possible les grands mouvements de terre qui augmentent toujours les dépenses. On doit s'appliquer principalement à ne jamais donner plus de $0^m,04$ de pente par mètre pour les routes ordinaires, et $0^m,004$ par mètre pour les chemins de fer : ce sont les deux *maxima* qu'on ne doit jamais dépasser et qu'on doit atteindre le moins possible. Les moyens d'obtenir ces résultats avec économie et sans nuire à l'art, consistent à côtoyer les vallées, à suivre les cols, à éviter de monter pour descendre autant que possible, en étudiant, au besoin, des tunnels pour franchir des montagnes qui séparent des vallées. Lorsque le tracé exige un déblai ou tranchée de plus de 15 mètres de profondeur, il y a avantage de franchir ce passage par un tunnel. Le minimum de courbure, dans les chemins de fer, pour raccorder deux alignements droits qui se rencontrent, ne doit jamais être au-dessous de 4000 mètres de rayon. On suit pour les canaux les mêmes règles, avec

cette différence que la pente générale se divise par la hauteur des sas ou seuils à donner aux écluses, et cette opération détermine en même temps le nombre des écluses qui rachèteront la pente totale du canal.

Il devient donc d'une absolue nécessité d'étudier et de tracer plusieurs lignes sur le terrain, pour obtenir la direction qui remplit les meilleures conditions. Les plans parcellaires du cadastre, ainsi que les cartés de Cassini, sont d'un grand secours pour se livrer avec succès à ces études. Tous ces documents abrègent le temps et évitent des tâtonnements interminables à ceux qui sont chargés de toutes ces opérations de détails et d'ensemble.

Du tracé des courbes sur le terrain.

On raccorde toujours par des courbes deux alignements droits qui se rencontrent. Voici diverses formules géométriques pour tracer ces courbes sur le terrain.

1^{re} FORMULE. — Soient donnés les deux alignements AB et BC qui se rencontrent au point B (*Pl. 1, fig. 1*). On fait BC = AB qui sont des tangentes de la courbe de raccordement, et C et A les points de contact. On divise BC et AB en parties égales de 10 mètres chacune, *a, b, c, d, e, etc.... a', b', c', d', e', etc.*, et on joint tous ces points de bas en haut par des lignes, savoir : le point *a* avec *u'*; *b* avec *t'*; *c* avec *s'*; *d* avec *r'*, etc., jusqu'à *a'* avec *v*. Et les intersections *m''*, *n''*, *o''*, *p''*, *q''*, *r''*, *s''*, *t''*, *u''*, *v''*, *x''*, *y''*, *z''*, *a''*, *b''*, *c''*, sont autant de points de raccordement de la courbe cherchée.

Pour tracer cette courbe sur le terrain avec toute la précision convenable, il suffit de placer des jalons à chaque point de division des lignes AB et BC et de fixer sur la ligne droite *u'a* et *t'b* un jalon au point *m''* qui se trouve à la fois sur le même alignement des droites *u'a* et *t'b*; alors le point *m''* sera un point de la courbe demandée.

On déterminera de la même manière le point *n''*, ainsi que tous les autres en plaçant en même temps un deuxième jalon à l'intersection des lignes *t'b* et *s'c*. Opérant ainsi successivement sur toutes les autres lignes jusqu'à la dernière, on trouvera toutes les intersections *m''*,

$n'', o'', p'', q'',$ etc...., qui sont autant de points de la courbe A u' , $m'', n'', o'', p'', q'', r'', s'', u'', v'', x'', y'', z'', a'', b'', c'', u$ C.

Cette formule excessivement simple ne peut trouver d'application avec succès que pour des raccordements de peu d'étendue, de 500 mètres au plus, et peut-être encore n'en ferait-on pas usage.

2^e FORMULE. — Soit à raccorder deux alignements droits AB et BC qui se coupent au point B (*fig. 2*). Nous joignons les points A et C par la droite ACm, après avoir fait $AB = BC$; $mC = 500$ mètres et $mD = 100$ mètres, ou la flèche de l'arc ADC à déterminer.

Cela posé, on partage la demi-corde h en parties égales de 10 mètres chacune, on élève des perpendiculaires aux extrémités de la corde AC que l'on fait égales à la flèche et par ces points C'A' on mène ADC parallèle à la corde AmC. On divise aussi la droite DC' en parties égales de 10 mètres, de manière à ce que chacune de ces divisions corresponde identiquement aux divisions de la demi-corde h , comme parallèles comprises entre parallèles.

Enfin, pour obtenir tous les divers points de l'arc DC, il faut élever au carré la demi-corde h (500)² ou h^2 , et diviser h^2 par la flèche ou (100)² $= \frac{h^2}{f} = x$; et élever au carré l'abscisse qui correspond à chaque point de la courbe qu'on veut déterminer, y^2 qu'on divise par x , et on a $\frac{y^2}{x} =$ l'ordonnée. (On se sert de cette formule pour calculer la longueur des tiges des ponts suspendus.)

Substituant les valeurs dans ces équations et faisant les calculs, on a $h = 500$; $h^2 = (500)^2 = 250000$; $f = 100$; $f^2 = (100)^2 = 10000$. Les abscisses sont $a = 100$; $b = 200$; $c = 300$; $d = 400$, etc.; y représente successivement toutes les abscisses, c'est-à-dire 10, 20, 30, 40, 50, etc.

Cela posé nous avons $\frac{h^2}{f} = \frac{250000}{100} = 2500$. Nous avons aussi

$(a)^2 = 10000$; mais $\frac{10000}{2500} = 4$. Ainsi l'ordonnée de l'abscisse a

est 4. On trouverait de la même manière que l'ordonnée de l'abscisse b ou 200 est 16; de l'abscisse c ou 300 est 36; de d ou 400 est 64, et on trouverait enfin par le même calcul toutes les ordonnées intermé-

diaires. Quant aux ordonnées de l'arc AD, on comprend qu'elles sont les mêmes que celles de l'arc AD'.

3^e FORMULE. — Soient donnés les deux alignements droits AB et BC qui se rencontrent au point B (*fig. 3*); on veut les raccorder par une courbe de 200 mètres de flèche. Après avoir pris AD et DC chacun égal à 1000 mètres, et les points A et C devant être sur la courbe à déterminer, par les points A C tirons la droite AmC, et du point *m*, milieu de AC, élevons la perpendiculaire *mO* qui partagera l'angle ABC en deux parties égales. Nous avons par convention la flèche *Dm* égale à 200 mètres.

Le triangle rectangle *DmC* donne : $\overline{Dm}^2 \times \overline{Cm}^2 = \overline{DC}^2$, d'où $\overline{Cm}^2 = \frac{\overline{DC}^2}{\overline{Dm}^2}$. Substituant les valeurs aux lettres, nous avons $(1000)^2 - (200)^2 = \sqrt{960000} = 977^m,80$. Ainsi, le côté *mC* du triangle rectangle *DmC* égale 977^m,80, ou sinus de l'arc DC.

Si nous prolongeons la droite *Om* indéfiniment, et que du point C sur la droite CD, nous menions aussi une perpendiculaire indéfinie, celle-ci rencontrera le prolongement de la droite *Dm* au point Y, et ce point d'intersection sera la limite du diamètre de la circonférence de l'arc DC.

En effet, nous avons les trois triangles rectangles *DCm*, *mCY* et *DCY* semblables entre eux comme ayant les angles égaux.

Les triangles *DCY* et *mCY* ont l'angle C égal à l'angle *m* comme étant droits et l'angle Y leur est commun, donc leurs troisièmes angles C',D sont égaux, puisque les trois angles d'un triangle égalent deux angles droits.

De même les triangles *DCm* et *CmY* ont chacun les angles *m* égaux comme droits; mais nous venons de voir que l'angle C est égal à l'angle D, donc leurs troisièmes angles C'' et Y sont égaux. Ces deux derniers triangles étant semblables donnent la proportion suivante :

$Dm : mC :: mC : mY$. Substituant les valeurs nous aurons $200 : 979,80 :: 979,80 : mY$, ou $x = 4800$. Mais $mY + Dm$, ou $4800 + 200 =$ le diamètre $DY = 5000$, d'où le rayon $R = 2500$; et *mC*, ou 979^m,00 est le sinus de l'arc DC, et on aura la valeur de son cosinus $CE = \sqrt{R^2 - (mC)^2} = 2300$ mètres.

Maintenant, pour obtenir les ordonnées qui donneront l'arc ADC,

il faut diviser la corde AmD en parties égales de 10 mètres chacune, et de ces points de division élever des perpendiculaires jusqu'à l'arc ADC , on aura pour les premières divisions :

$$aa' = \sqrt{R^2 - (10)^2} - 2300 = \sqrt{(6250000 - 100)} - 2300 = 199^m,98$$

$$bb' = \sqrt{R^2 - (20)^2} - 2300 = \sqrt{(6250000 - 400)} - 2300 = 199^m,93$$

$$cc' = \sqrt{R^2 - (30)^2} - 2300 = \sqrt{(6250000 - 900)} - 2300 = 199^m,82$$

$$dd' = \sqrt{R^2 - (40)^2} - 2300 = \sqrt{(6250000 - 1600)} - 2300 = 199^m,68$$

$$ee' = \sqrt{R^2 - (50)^2} - 2300 = \sqrt{(6250000 - 2500)} - 2300 = 199^m,50$$

Et ainsi de suite pour toutes les autres divisions du sinus mC .

Après avoir déterminé toutes les ordonnées de l'arc ADC , on les tracera sur le terrain; mais pour opérer sur de plus courtes distances, ayant tracé la corde AmC , on mènera à cette corde une parallèle à 190 mètres du point m , en allant vers le point D . Cette parallèle servira de base aux ordonnées qui se trouveront ainsi réduites de 190 mètres, en sorte que l'ordonnée $a a'$ n'aura plus que $9^m,98$, et ainsi des autres. Par chaque 10 mètres que les ordonnées se rapprocheront de la courbe, on tracera de nouvelles parallèles à cette corde en les rapprochant de 10 mètres de celle-ci, et ces parallèles serviront successivement de base d'opération aux ordonnées de l'arc ADC .

La proportion des triangles semblables DCm et CmY , $Dm : Cm :: Cm : mY$ donne la formule suivante. Le rayon égale le carré du sinus divisé par la flèche plus la flèche, le tout divisé par 2.

En effet, Dm est la flèche de l'arc ADC ; mC est la demi-corde du même arc, ou le sinus de la moitié de cet arc. Ainsi, désignant Dm par f ; Cm par sinus C et mY qui est le diamètre moins la flèche, par $2R - f$, nous aurons la proportion

$$f : \sin. C :: \sin. C : 2R - f; \text{ d'où } \sin. C^2 = \frac{2R - f}{f}$$

$$\text{ou } \sin. C^2 = \frac{2R - f}{f}, \text{ d'où enfin } R = \frac{C^2 + f}{2}$$

Ainsi, connaissant la corde et la flèche d'un arc quelconque, on trouvera le rayon de cet arc par la formule $\frac{C^2}{f} + f = R$, et le rayon

trouvé, on obtiendra le cosinus par la formule $R^2 = \sin. C + \cos. x^2$, d'où $\cos. x = \frac{R^2 - \sin. C^2}{2R}$.

4^e FORMULE. — Éléments relatifs à une courbe en arc de cercle (*fig. 4, Pl. 1*) :

$$(a) \quad OA = \frac{AB \times AD}{BD}, \text{ ou } r = \frac{t \times c}{f}$$

$$BE = \frac{AB \times BD}{AB + AD}, \text{ ou } f = \frac{t \times f}{t + c}$$

$$DE = \frac{AD \times BD}{AB + AD}, \text{ ou } f' = \frac{c \times f}{t + c}$$

$$AG = \frac{AB \times AD}{AB + AD}, \text{ ou } t' = \frac{t \times c}{t + c}$$

Si a est l'angle des tangentes énoncées en degrés et centièmes (non en minutes), le développement de l'arc AEC est donné par la formule :

Développement de la courbe $= 0,01745 \times r \times (180^\circ - a)$, le rayon ayant la valeur de l'équation (a).

Tableau servant à trouver la longueur l d'un arc de cercle lorsqu'on connaît sa corde c et sa flèche f .

VALEURS données de $\frac{f}{c}$.	VALEURS correspon- dantes qu'il faut multiplier par c pour avoir l .	VALEURS données de $\frac{f}{c}$.	VALEURS correspon- dantes qu'il faut multiplier par c pour avoir l .	VALEURS données de $\frac{f}{c}$.	VALEURS correspon- dantes qu'il faut multiplier par c pour avoir l .	VALEURS données de $\frac{f}{c}$.	VALEURS correspon- dantes qu'il faut multiplier par c pour avoir l .
0.100	1.02645	0.151	1.05973	0.201	1.10449	0.251	1.16036
0.101	1.02698	0.152	1.06051	0.202	1.10550	0.252	1.16158
0.102	1.02752	0.153	1.06130	0.203	1.10651	0.253	1.16280
0.103	1.02806	0.154	1.06209	0.204	1.10752	0.254	1.16403
0.104	1.02860	0.155	1.06288	0.205	1.10854	0.255	1.16526
0.105	1.02914	0.156	1.06368	0.206	1.10957	0.256	1.16649
0.106	1.02970	0.157	1.06449	0.207	1.11060	0.257	1.16774
0.107	1.03026	0.158	1.06530	0.208	1.11164	0.258	1.16899
0.108	1.03082	0.159	1.06611	0.209	1.11268	0.259	1.17024
0.109	1.03139	0.160	1.06693	0.210	1.11373	0.260	1.17150
0.110	1.03196	0.161	1.06775	0.211	1.11479	0.261	1.17275
0.111	1.03254	0.162	1.06858	0.212	1.11584	0.262	1.17401
0.112	1.03312	0.163	1.06941	0.213	1.11690	0.263	1.17527
0.113	1.03371	0.164	1.07025	0.214	1.11796	0.264	1.17655
0.114	1.03430	0.165	1.07109	0.215	1.11903	0.265	1.17784
0.115	1.03490	0.166	1.07194	0.216	1.12010	0.266	1.17912
0.116	1.03551	0.167	1.07279	0.217	1.12117	0.267	1.18040
0.117	1.03611	0.168	1.07365	0.218	1.12225	0.268	1.18162
0.118	1.03672	0.169	1.07451	0.219	1.12334	0.269	1.18294
0.119	1.03734	0.170	1.07537	0.220	1.12444	0.270	1.18428
0.120	1.03797	0.171	1.07624	0.221	1.12555	0.271	1.18557
0.121	1.03860	0.172	1.07711	0.222	1.12666	0.272	1.18688
0.122	1.03923	0.173	1.07799	0.223	1.12778	0.273	1.18819
0.123	1.03987	0.174	1.07888	0.224	1.12889	0.274	1.18951
0.124	1.04051	0.175	1.07977	0.225	1.13000	0.275	1.19082
0.125	1.04116	0.176	1.08066	0.226	1.13112	0.276	1.19212
0.126	1.04181	0.177	1.08156	0.227	1.13224	0.277	1.19344
0.127	1.04247	0.178	1.08246	0.228	1.13337	0.278	1.19477
0.128	1.04313	0.179	1.08337	0.229	1.13450	0.279	1.19610
0.129	1.04380	0.180	1.08428	0.230	1.13563	0.280	1.19743
0.130	1.04447	0.181	1.08519	0.231	1.13676	0.281	1.19877
0.131	1.04515	0.182	1.08611	0.232	1.13789	0.282	1.20011
0.132	1.04584	0.183	1.08704	0.233	1.13903	0.283	1.20146
0.133	1.04652	0.184	1.08797	0.234	1.14018	0.284	1.20282
0.134	1.04722	0.185	1.08890	0.235	1.14134	0.285	1.20419
0.135	1.04792	0.186	1.08984	0.236	1.14250	0.286	1.20558
0.136	1.04862	0.187	1.09079	0.237	1.14367	0.287	1.20696
0.137	1.04932	0.188	1.09174	0.238	1.14484	0.288	1.20838
0.138	1.05003	0.189	1.09260	0.239	1.14601	0.289	1.20967
0.139	1.05075	0.190	1.09365	0.240	1.14718	0.290	1.21202
0.140	1.05147	0.191	1.09461	0.241	1.14835	0.291	1.21339
0.141	1.05220	0.192	1.09557	0.242	1.14952	0.292	1.21476
0.142	1.05293	0.193	1.09654	0.243	1.15069	0.293	1.21613
0.143	1.05367	0.194	1.09752	0.244	1.15187	0.294	1.21750
0.144	1.05441	0.195	1.09850	0.245	1.15306	0.295	1.21887
0.145	1.05516	0.196	1.09949	0.246	1.15426	0.296	1.22024
0.146	1.05591	0.197	1.10048	0.247	1.15547	0.297	1.22161
0.147	1.05667	0.198	1.10147	0.248	1.15669	0.298	1.22298
0.148	1.05743	0.199	1.10247	0.249	1.15791	0.299	1.22435
0.149	1.05819	0.200	1.10348	0.250	1.15914	0.300	1.22572
0.150	1.05896						

Suite du tableau servant à trouver la longueur l d'un arc de cercle, lorsqu'on connaît sa corde c et sa flèche f .

VALEURS données de $\frac{f}{c}$.	VALEURS correspon- dantes qu'il faut multiplier par c pour avoir l .	VALEURS données de $\frac{f}{c}$	VALEURS correspon- dantes qu'il faut multiplier par c pour avoir l .	VALEURS données de $\frac{f}{c}$.	VALEURS correspon- dantes qu'il faut multiplier par c pour avoir l .	VALEURS données de $\frac{f}{c}$.	VALEURS correspon- dantes qu'il faut multiplier par c pour avoir l .
0.301	1.22709	0.351	1.30156	0.401	1.38496	0.451	1.47565
0.302	1.22846	0.352	1.30315	0.402	1.38671	0.452	1.47753
0.303	1.22984	0.353	1.30474	0.403	1.38846	0.453	1.47942
0.304	1.23122	0.354	1.30634	0.404	1.39021	0.454	1.48131
0.305	1.23260	0.355	1.30794	0.405	1.39196	0.455	1.48320
0.306	1.23398	0.356	1.30954	0.406	1.39372	0.456	1.48509
0.307	1.23536	0.357	1.31115	0.407	1.39548	0.457	1.48699
0.308	1.23675	0.358	1.31276	0.408	1.39724	0.458	1.48889
0.309	1.23815	0.359	1.31437	0.409	1.39900	0.459	1.49079
0.310	1.23956	0.360	1.31599	0.410	1.40077	0.460	1.49269
0.311	1.24098	0.361	1.31761	0.411	1.40254	0.461	1.49460
0.312	1.24241	0.362	1.31923	0.412	1.40432	0.462	1.49651
0.313	1.24385	0.363	1.32086	0.413	1.40610	0.463	1.49842
0.314	1.24530	0.364	1.32249	0.414	1.40788	0.464	1.50033
0.315	1.24676	0.365	1.32413	0.415	1.40966	0.465	1.50224
0.316	1.24822	0.366	1.32577	0.416	1.41145	0.466	1.50416
0.317	1.24968	0.367	1.32741	0.417	1.41324	0.467	1.50608
0.318	1.25115	0.368	1.32905	0.418	1.41503	0.468	1.50800
0.319	1.25262	0.369	1.33069	0.419	1.41682	0.469	1.50992
0.320	1.25409	0.370	1.33234	0.420	1.41861	0.470	1.51185
0.321	1.25556	0.371	1.33399	0.421	1.42041	0.471	1.51378
0.322	1.25703	0.372	1.33564	0.422	1.42222	0.472	1.51571
0.323	1.25851	0.373	1.33730	0.423	1.42402	0.473	1.51764
0.324	1.25999	0.374	1.33896	0.424	1.42582	0.474	1.51958
0.325	1.26147	0.375	1.34063	0.425	1.42764	0.475	1.52152
0.326	1.26295	0.376	1.34229	0.426	1.42945	0.476	1.52346
0.327	1.26444	0.377	1.34396	0.427	1.43127	0.477	1.52541
0.328	1.26593	0.378	1.34563	0.428	1.43309	0.478	1.52736
0.329	1.26743	0.379	1.34731	0.429	1.43491	0.479	1.52931
0.330	1.26894	0.380	1.34899	0.430	1.43673	0.480	1.53126
0.331	1.27045	0.381	1.35068	0.431	1.43856	0.481	1.53322
0.332	1.27197	0.382	1.35237	0.432	1.44039	0.482	1.53518
0.333	1.27349	0.383	1.35406	0.433	1.44222	0.483	1.53714
0.334	1.27502	0.384	1.35576	0.434	1.44405	0.484	1.53910
0.335	1.27656	0.385	1.35744	0.435	1.44589	0.485	1.54106
0.336	1.27810	0.386	1.35914	0.436	1.44773	0.486	1.54302
0.337	1.27864	0.387	1.36084	0.437	1.44957	0.487	1.54499
0.338	1.28118	0.388	1.36254	0.438	1.45142	0.488	1.54696
0.339	1.28273	0.389	1.36425	0.439	1.45327	0.489	1.54893
0.340	1.28428	0.390	1.36596	0.440	1.45512	0.490	1.55090
0.341	1.28589	0.391	1.36767	0.441	1.45697	0.491	1.55288
0.342	1.28739	0.392	1.36939	0.442	1.45883	0.492	1.55486
0.343	1.28895	0.393	1.37111	0.443	1.46069	0.493	1.55685
0.344	1.29052	0.394	1.37283	0.444	1.46255	0.494	1.55884
0.345	1.29209	0.395	1.37455	0.445	1.46441	0.495	1.56083
0.346	1.29366	0.396	1.37628	0.446	1.46628	0.496	1.56282
0.347	1.29523	0.397	1.37805	0.447	1.46815	0.497	1.56481
0.348	1.29681	0.398	1.37974	0.448	1.47002	0.498	1.56680
0.349	1.29839	0.399	1.38148	0.449	1.47189	0.499	1.56879
0.350	1.29997	0.400	1.38322	0.450	1.47377	0.500	1.57079

Exemples pour l'application de ce tableau.

1° Trouver la longueur d'un arc dont la corde est de 17^m,85 et la flèche de 2^m,35.

On fait $\frac{f}{c} = \frac{2,35}{17,85} = 0,126$. On cherche dans les colonnes, *valeurs données de $\frac{f}{c}$* , le nombre 126, et on le trouve dans la première colonne, et en regard de 126, on trouve le rapport 1,04181, qu'il faut multiplier par la corde (17,85); soit $1,04181 \times 17,85 = 18^m,596$ pour la longueur de l'arc.

2° Trouver la longueur d'un arc dont la corde est 115^m,65 et la flèche 13^m,19.

$\frac{f}{c} = \frac{13,19}{115,65} = 114 = 1,03430 \times 115^m,65 = 119^m,62$ pour la longueur de l'arc.

3° Trouver la longueur d'un arc dont la corde est de 35 mètres et la flèche de 9 mètres.

$\frac{f}{c} = \frac{9}{35} = 257 = 1,16774 \times 35 = 40^m,87$ pour la longueur de l'arc.

N. B. Ce tableau, dont les calculs ont été faits en Angleterre, se trouve dans le cours de construction de Sganzin.

De l'effet utile du cheval sur les routes ordinaires.

Le moteur principal qui agit sur les routes ordinaires est le cheval. Il s'agit donc de déterminer sa force de traction sur un chariot placé sur un plan horizontal, à l'effet de déterminer le maximum de pente qu'il pourra surmonter.

Lorsque le cheval exerce un effort de traction sur un chariot, il reporte sur le collier la portion de son poids utile pour vaincre la résistance, et emploie la force musculaire de ses jambes à soutenir

cet effort et à porter en même temps son corps en avant. La force du cheval se décompose donc en deux parties : celle qu'il exerce pour surmonter la résistance et celle qu'il emploie pour se porter en avant. Les expériences faites jusqu'à ce jour n'ont pas été assez précises pour apprécier rigoureusement la valeur relative de ces deux forces, ou quelle est la partie de l'effort constant du cheval qui est employée à transporter son propre poids.

Les ingénieurs qui ont cherché à traiter cette question fixent de 68 kilog. à 90 kilog. le travail utile d'un cheval à une vitesse de 4500 mètres à l'heure, pendant dix heures par jour, ou en moyenne 79 kilog. transportés à 45000 mètres par jour.

Sans approfondir cette question, nous admettons : 1° que l'effort constant d'un cheval, lorsqu'il se meut avec une vitesse ordinaire de 4500 mètres à l'heure, peut être représenté par un poids de 79 kilog.; 2° qu'un cheval de moyenne taille pèse environ 450 kilog.; d'après cela, l'effort que le cheval exerce sur la charge se trouverait à peu près égal au $\frac{1}{6}$ de son poids.

Si la route est en rampe, le cheval dépensera une portion de cette force pour élever son propre poids, et lorsque le rampant atteindra $\frac{1}{6}$ ou (0,16666 par mètre) tout l'effort sera employé pour produire cet effet : de sorte que son action sur la charge deviendra nulle.

On voit donc que quand on établit une route ordinaire, il y a un avantage immense pour le commerce à éviter de fortes rampes et à atteindre le moins possible le maximum de rampe de $0^m,04$ par mètre que nous avons indiqué.

D'après ce qui précède, le cheval perd $\frac{1}{16}$ de sa force par centimètre de rampe qu'il monte en conservant sa vitesse ordinaire, ou bien sa vitesse diminue de $\frac{1}{16}$ par centimètre de rampe, et il conserve sa force.

Ainsi, pour le maximum de rampe de $0,04$ par mètre l'effort utile du cheval sur la charge sera de $\frac{79^k}{4} \times 3 = 59^k,25$ à une vitesse de 4500 mètres à l'heure.

Ou bien l'effort du cheval sur la charge demeurant de 79 kilog., la vitesse par heure deviendra $\frac{4500}{4} \times 3 = 3375$ mètres.

Pour gravir une rampe de $0^m,04$ par mètre, le cheval perd donc le quart de son effet utile, et pour en monter une de $0,08$ il perd la moitié.

Il vaut donc infiniment mieux se borner à de faibles rampes qui ne dépassent jamais $\frac{1}{4}$ p. 100 en allongeant le parcours, que de franchir cette limite qui tend à amoindrir l'effet utile du moteur, ce qui est toujours une perte considérable pour le commerce.

CHAPITRE II.

DU NIVELLEMENT ET DU CALCUL DES TERRASSES.

D'après le tracé, on procède à l'opération du nivellement. Le niveau est un instrument propre à tirer une parallèle à l'horizon et à la continuer à volonté; ce qui sert à trouver la différence de hauteur entre deux ou plusieurs endroits. On a imaginé des instruments de plusieurs sortes et de différentes natures pour perfectionner le nivellement. Il y en a de deux espèces bien distinctes : le niveau d'eau et le niveau à bulle d'air.

Le niveau d'eau consiste dans un tube de fer-blanc ou de cuivre d'environ 1 mètre à 1^m,50 de longueur, recourbé aux deux extrémités qui sont surmontées de deux tubes de verre; au milieu est disposée une douille pour être placée sur un trépied où on le fixe définitivement, après s'être assuré qu'il est dans une situation convenable pour procéder au nivellement (*fig. 1, Pl. 1*). On le remplit d'eau jusqu'à ce qu'elle monte à 3 ou 4 centimètres en contre-bas de la tête des verres. L'eau dans les deux tubes représente par sa surface la ligne de niveau, d'après ce principe incontestable que l'eau, placée dans deux vases ayant communication ensemble, tend toujours à prendre la même ligne de niveau.

Le niveau à bulle d'air est celui qui montre la ligne de niveau par le moyen d'une bulle d'air enfermée avec quelque liqueur dans un tube de verre d'une grosseur et d'une longueur indéterminées et dont les deux extrémités sont fermées. Lorsque la bulle d'air vient se placer à une certaine marque pratiquée au milieu du tube, elle indique

que le plan sur lequel est placé la machine est exactement de niveau. Ce tube de verre est contenu dans un autre tube de cuivre, qui a au milieu une ouverture par laquelle on observe la position de la bulle d'air. Cet instrument est surmonté d'une lunette parfaitement parallèle au tube qui renferme la bulle d'air; au-dessous se trouve une vis de rappel pour le mettre de niveau, et enfin une douille à *genoux* pour que l'instrument puisse être placé sur son trépied (*fig. 2, Pl. 2*).

L'opération du nivellement consiste à placer le niveau entre deux points sur lesquels on fait poser successivement par un aide qu'on appelle *porte-mire* un instrument gradué, portant un voyant mobile qu'on appelle, le tout ensemble, mire (*fig. 8*). On braque le niveau contre le voyant de la mire; de manière que le rayon visuel passe à la fois, si c'est le niveau d'eau, par les deux points que déterminent la ligne d'eau et le milieu du voyant; et si c'est le niveau à bulle d'air, de manière aussi que le rayon visuel, les cheveux qui se croisent dans la lunette et le milieu de la mire se trouvent dans le même alignement ou dans le même plan horizontal. Ce point pris, on fait placer la mire à l'autre terme et on fait avec le niveau la même opération que pour le premier; en faisant une soustraction de la première cote sur la seconde, on obtient ce qu'on appelle la différence de niveau entre ces deux points, et pour continuer le nivellement dans toute l'étendue du tracé qu'on a eu soin de diviser par sections de 100^m, 50^m, ou 25 mètres, au moyen de piquets solidement plantés dans le terrain, et des bornes en pierre à chaque kilomètre, on déplace le niveau pour le poser entre les deux termes suivants, on braque le niveau sur la mire qui est demeurée à la même place, et on prend un coup de niveau qu'on appelle coup arrière, et ainsi de suite dans toute l'étendue du tracé, où indépendamment de donner des coups de niveau sur chaque piquet on doit encore en donner sur chaque accident de terrain qu'on rencontre, afin d'obtenir par le nivellement une section, la plus exacte possible, du terrain traversé par le tracé. Cette opération s'appelle le nivellement en long, qui doit toujours être fait avec la plus sérieuse attention et la plus minutieuse exactitude; car pour être bien certain qu'un nivellement est exact, et qu'il ne renferme, dans toutes ses parties, ni erreurs ni omissions, il est essentiel que cette opération soit faite par trois

niveleurs exercés, opérant séparément, et que les trois résultats de ce même nivellement ne diffèrent entre eux que de 0^m,01 au plus pour qu'il y ait exactitude certaine. Il y a encore le nivellement en travers, ou profils en travers. Ce nivellement se fait quelquefois en même temps que le nivellement en long, suivant que les profils en travers n'ont pas trop d'étendue.

Pour l'intelligence de ce que nous venons de dire, nous avons tracé ces deux tableaux de nivellement rapportés et calculés. Le premier est pour le nivellement en long, et le deuxième pour le nivellement en travers.

Tableau n° 1.

NUMÉROS des piquets.	DISTANCE.	COUPS		DIFFÉRENCE		COTES finales.	OBSERVATIONS et indications des accidents du terrain.
		d'arrière.	d'avant.	en plus.	en moins.		
0	m.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	Suivant que le tracé se trouve long, on fait passer dans les calculs du nivellement la ligne horizontale par un plan de 10 mètres ou 100 mètres au-dessus du point de départ ou du piquet 0, et nous avons pris 100 mètres pour ce point. Pour qu'un nivellement rapporté soit exact, il faut qu'au total la différence des coups d'arrière aux coups d'avant soit la même que celle des totaux des colonnes en plus et en moins. Et il doit en être de même dans la colonne des cotes finales, entre la première et la dernière de ces cotes. C'est ce qui a lieu en effet, puisque nous trouvons partout 4 ^m ,35 de différence.
	»	2.15	»	»	»	100.00	
1	100	1.00	1.50	»	0.65	99.35	
2	100	1.50	2.15	1.15	»	100.50	
3	100	1.00	1.80	0.30	»	100.80	
4	100	0.80	1.10	0.10	»	100.90	
5	100	1.40	2.00	1.20	»	102.10	
6	100	1.10	1.50	0.10	»	102.20	
7	100	1.00	1.20	0.10	»	102.30	
8	100	0.80	2.15	1.15	»	103.45	
9	100	0.90	1.60	0.80	»	104.25	
10	100	»	1.10	0.20	»	104.35	
		11.65	16.10	5.10	0.65		
		4.35		4.35			

Tableau n° 2.

NUMÉROS des piquets.	DISTANCE.	COUPS		DIFFÉRENCE		COTES finales.	OBSERVATIONS et indications des accidents du terrain.
		d'arrière.	d'avant.	en plus.	en moins.		
Profil en travers sur le piquet 5. . . .						m. c.	Repère pris sur le piquet 5, 1 ^m ,50, dont la cote finale est de 102,10. (Tableau n° 1.)
5	m.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	102.10	
	5	1.15	»	»	»	101.75	
	4	2.15	0.80	»	0.35	102.75	
	5	1.10	3.15	1.00	»	103.82	
	6	0.50	2.17	1.07	»	104.32	
»	»	1.00	0.50	»	104.32		
	20	4.90	7.12	2.57	0.35		
		2.22		2.22			

Il existe une troisième espèce de niveau appelé niveau de pente. Il est connu depuis peu; il est fort ingénieux et fait honneur à son inventeur (les *fig. 3* et *4* représentent cet instrument).

C'est un niveau d'eau à peu près pareil, dans les formes, à celui que nous avons décrit; mais sans tubes de verre, ayant un mètre de longueur et ses bouts recourbés beaucoup plus grands et plus gros. Il est disposé comme les autres niveaux pour être placé sur un trépied. On l'emplit d'eau et l'on place dans les boîtes du niveau, qui sont disposées à cet effet, deux flotteurs de même poids et de mêmes dimensions, surmontés chacun d'une petite *nivellette* qu'on peut monter et descendre à volonté. Il est constant que si les *nivellettes* sont de même hauteur, la ligne qu'elles indiqueront se trouvera de niveau; mais si l'une demeure à zéro et qu'on monte l'autre de 0^m,01; 0^m,02; 0^m,03 etc. centimètres, la ligne ou rayon visuel passant par les deux points de mire des nivellettes, donnera 0^m,01; 0^m,02; 0^m,03 etc., centimètres de pente.

Comme on le voit, cet instrument peut réunir les avantages des deux premiers niveaux et servir en même temps de niveau de pente. Sa précision incontestable est établie sur le principe suivant : La surface de l'eau mise dans deux vases qui ont communication entre eux se tient constamment de niveau. Si donc, on plonge dans ces deux vases deux flotteurs de même poids et de mêmes dimensions avec *nivellettes* graduées au-dessus, la projection des nivellettes, si elles sont à zéro, ou à tout autre numéro semblable, sera la ligne parallèle à l'horizon, ou de niveau, et si, l'une est à un numéro plus haut ou plus bas, la projection des nivellettes indiquera une ligne de pente.

Après que les nivellements sont calculés et rapportés sur des tableaux semblables aux modèles n^{os} 1 et 2; et qu'on est certain de l'exactitude des calculs, on rapporte le nivellement sur un dessin à l'échelle de 0^m,005, pour les longueurs, par mètre, et de 0^m,01 pour les hauteurs. Le nivellement en long dessiné sur le papier tel que nous venons de l'indiquer suivant la ligne d'axe de l'ouvrage projeté, s'appelle le profil en long; et on nomme profils en travers le nivellement en travers dessiné sur le papier à la même échelle. Ces dessins doivent être exécutés et rapportés avec la plus minutieuse exactitude et la plus rigoureuse précision.

Cette opération terminée, on étudie, sur ces dessins qui représentent la configuration du terrain, la ligne de projet qui est d'ordinaire une ligne rouge qu'on applique sur ces mêmes dessins (1). Cette ligne de projet doit toujours remplir les conditions, pour chaque nature d'ouvrage que nous avons posées dans le précédent chapitre, savoir : que les pentes et rampes des routes ordinaires ne doivent pas dépasser 0^m,04 et pour les chemins de fer 0^m,004 par mètre; pour les canaux, c'est autre chose : les chutes du terrain sont divisées par seuils de 2^m et au-dessus qui sont rachetés par des écluses, et les biefs sont de niveau.

(1) Comme il n'est pas possible d'appliquer sur le dessin lithographié (*Pl. 2.*) des lignes rouges et des cotes rouges, la ligne du terrain est représentée par une ligne noire avec hachures et la ligne de projet par un trait noir, les cotes noires sont en chiffres en ronde et les cotes rouges en chiffres penchés ordinaires.

Pour établir le projet d'un canal, on fait sur le profil en long la somme de la pente totale du nivellement qu'on divise par la hauteur qu'on veut donner à chaque écluse et on obtient ainsi le nombre des écluses d'un canal. On les indique sur le profil en long dans les lieux les plus convenables, tant pour l'économie que pour le bon goût, sans oublier l'intérêt de la navigation qui doit toujours passer le premier.

L'étude de la ligne rouge consiste à faire diverses combinaisons desquelles il doit en général résulter :

1° Que les déblais et remblais seront toujours les moindres possibles :

2° Que les déblais compensent les remblais autant que faire se pourra : Néanmoins, il est des circonstances quelquefois qui exigent impérieusement qu'on s'écarte sensiblement de cette règle générale : Alors si les déblais se trouvent en excédant, le surplus est retroussé sur la propriété riveraine, et si au contraire les remblais excèdent, on prend le complément sur la propriété riveraine la plus voisine, ou la plus commode du lieu de l'emploi, et on appelle cela : faire des emprunts de terre.

La ligne de projet étudiée et établie dans toutes les conditions que nous venons d'indiquer, on passe au calcul des terrassements qui se fait d'après les principes géométriques. On calcule d'abord les surfaces. et à cet effet on cherche avant, les points de passage, c'est-à-dire les points d'intersection de la ligne rouge avec la ligne noire. La similitude des triangles et leur rapport mathématique entre eux, donnent les formules géométriques pour trouver ces points de passage. Pour obtenir le cube des terrassements, on fait la surface de chaque profil séparément pour les déblais et les remblais et on multiplie chaque surface par la somme des demi-distances du profil qui le précède et de celui qui le suit. On appelle cotes rouges celles qui marquent l'espace entre la ligne du projet, ou la directrice, et la ligne du terrain.

Voici quelques propriétés des points de passage, ou intersections des lignes. Si l'intersection a lieu entre deux cotes A, A' , dont l'intervalle mesuré horizontalement soit B , on appelle x la distance du point

de passage à la cote A , et on a $x = \frac{AB}{A+A'}$, (*fig. 5*).

Mais si le talus du terrain dont la pente par mètre est P monte, tandis que celui du projet dont la pente est p descend, on a $x = \frac{A}{P+p}$

et si les deux talus vont dans le même sens on a $x = \frac{A}{P-p}$ (*fig. 5*).

La *fig. 6* représente un profil en travers éloigné également de 50^m de chaque profil de droite et de gauche. Ce profil est une section transversale de canal.

SURFACES DES DÉBLAIS.		SURFACES DES REMBLAIS.	
	m. c.		m. c.
Fossé $a = \frac{1+4.00}{2} \times 1.50$, ci.	3.75	Triangle $m = \frac{1.50+1.00}{2} = \dots\dots$	0.75
Triangle $b = \frac{2.74 \times 1.93}{2}$, ci.	2.64	Rectangle $n = 4.00 \times 1.00 = \dots\dots$	4.00
Rectangle $c = \frac{2.08 \times 1.93}{2} \times 5.50 = \dots\dots$	10.35	Trapèze $o = \frac{1.00+0.40}{2} \times 1.20 = \dots\dots$	0.84
Rectangle $d = \frac{2.08+2.20}{2} \times 5.5 = \dots\dots$	11.77	<i>Id.</i> $p = \frac{0.60+0.40+0.60}{2} \times 0.40 = \dots\dots$	0.32
Triangle $e = \frac{3.30 \times 2.20}{2} = \dots\dots\dots$	3.63		
Rectangle $f = \frac{4.00 \times 2.03}{2} = \dots\dots\dots$	4.06		
<i>Id.</i> $g = \frac{2.03+0.60+0.63}{2} \times 4.00 = \dots\dots$	6.52		
<i>Id.</i> $h = \frac{2.00+0.60}{2} \times 0.60 = \dots\dots$	0.78		
<i>Id.</i> $i = \frac{0.63+2.58}{2} \times 3.00 = \dots\dots$	4.81		
<i>Id.</i> $j = 0.63 \times 3.00 = \dots\dots\dots$	1.89		
Triangle $k = \frac{2.58 \times 3.50}{2} = \dots\dots\dots$	4.53		
Fossé $l = \frac{3+1.00}{2} \times 1.00. \dots\dots\dots$	2.00		
TOTAL DES SURFACES.	56.73	TOTAL DES SURFACES.	5.91

Chacun de ces tableaux multiplié par 50^m donnera le cube des déblais et des remblais afférant à ce profil ; il en serait de même pour d'autres qui suivraient.

On peut encore pour simplifier cette opération faire le produit des cotes rouges par les cotes rouges et des cotes noires par les noires, et

les différences entre les produits donnent les cubes des déblais et des remblais. Cette méthode est préférable à la première, mais on ne s'en sert qu'à titre de vérification.

Ces méthodes de calculer les terrassements sont très-exactes et très-certaines, et pour éviter les erreurs matérielles de calcul, qui sont toujours la conséquence inévitable de si nombreuses opérations, il est essentiel que tous les calculs se fassent simultanément par trois commis; mais on voit qu'elles demandent beaucoup de temps et de sujétion et que de plus elles n'ont rien d'attrayant: aussi un habile ingénieur est-il venu, par un simple moyen mécanique, suppléer parfaitement à tous ces calculs fastidieux et avec la plus rigoureuse exactitude. C'est au moyen d'un instrument qu'on appelle Roulette. Aujourd'hui tous les calculs de terrasse se font à la Roulette avec la plus rigoureuse précision et avec moins du $\frac{1}{10}$ de temps qu'il fallait autrefois par les méthodes sus-indiquées.

Roulette. Il est essentiel que les profils qu'on veut calculer avec cet instrument soient dessinés avec toute la précision qu'exige la plus rigoureuse exactitude. Ils doivent être rapportés à l'échelle de $0^m,005$ par mètre pour les longueurs ou largeurs, et à celle de $0^m,01$ pour les hauteurs.

Cet instrument se compose d'une roulette graduée de $0^m,10$ de circonférence, dont le pignon fait mouvoir une autre petite roulette graduée de 0 à 10, qui ne fait qu'un dixième de révolution toutes les fois que la grande en fait une. Deux aiguilles sont fixées chacune sur l'axe de chaque roulette pour indiquer le parcours de chacune.

Voici le moyen de se servir de cet instrument aussi utile qu'ingénieux. Il est construit à l'échelle de $0^m,01$ pour un mètre, c'est-à-dire à l'échelle des profils qu'il est destiné à mesurer. On applique sur le profil qu'on veut calculer un calque divisé par bandes perpendiculaires de $0^m,005$ de largeur, de manière qu'une ligne du calque coïncide parfaitement avec l'axe du profil, et on fait passer la roulette, dont on a soin de fixer les deux aiguilles à 0, sur chaque ligne du calque, et séparément pour les déblais et pour les remblais, sans jamais dépasser dans les profils la ligne rouge ni la ligne noire qui sont les limites de l'espace qu'on veut mesurer. Après avoir ainsi parcouru toute la partie du profil en déblais, on regarde la place que les

aiguilles occupent, et les chiffres qu'elles indiquent donnent exactement la surface des déblais : on fait immédiatement la même opération sur les remblais, qui donne aussi leur surface.

Ces calculs sont basés sur le principe mathématique suivant :

Au moyen du calque tout le profil se trouve divisé par sections rectangulaires ayant pour mesure la longueur de la ligne du calque dans chaque profil, et $0^m,005$ ou $1^m,00$ de hauteur (largeur de chaque bande). Ainsi, si l'une de ces lignes a, d'après l'échelle, $5^m,50$ de hauteur, qui doivent être multipliés par la largeur qui est toujours de 1 mètre, la surface de cette bande sera la même que sa longueur, $5^m,50$, d'après ce principe mathématique que tout nombre multiplié par l'unité demeure toujours le même ; dès lors, la somme des longueurs de toutes les lignes comprises dans toute l'étendue de ce profil représente la surface du profil, puisque ce résultat, qui n'est que la somme des longueurs de tous les petits rectangles, doit être multiplié par l'unité, qui est la hauteur ou largeur commune à tous les rectangles.

La *fig. 5 (Pl. 1)* représente la roulette, et la *fig. 7 (Pl. 2)* indique un profil calculé au moyen de cet instrument. Les lignes ponctuées marquent celles du calque et ce profil donne 22 mètres, surface des déblais, et $15^m,80$ de remblais. Ce que nous venons d'expliquer et de développer au sujet du calcul des terrassements est applicable à toutes sortes de profils de routes, chemins de fer, canaux, etc.

Classification du terrain. On ne saurait jamais porter assez d'attention et de précision à la classification des terrains à déblayer, car cette opération d'appréciation est la base fondamentale pour former les prix qui servent à établir l'évaluation des déblais et des remblais de l'ouvrage projeté. On explore aussi le pays sur les ressources en matériaux qu'il peut présenter pour la construction des chaussées et des ouvrages d'art, et à l'effet d'atteindre à une classification de tous les terrains aussi précise qu'incontestable, il est essentiel de faire pratiquer des sondes de toute l'épaisseur des déblais tous les kilomètres et plus près si c'est jugé nécessaire. Ces sondes sont destinées à faire connaître les divers degrés de résistance et de difficulté d'exploitation que peuvent présenter toutes les diverses couches des terrains à fouiller, qui sont ordinairement classées dans les catégories suivantes : 1^{re} terrains sablonneux des vallées ; 2^e terrains graveleux et argileux ;

3° roc ou tuf tendre ; 4° roc ou tuf de dureté moyenne ; 5° rocher vif ou granit ne pouvant être exploité qu'à la mine.

Appréciation des cours d'eaux. Il faut enfin étudier avec la plus minutieuse attention tous les divers cours d'eaux et ravins qui sont traversés par les ouvrages projetés, et se procurer, sur des renseignements authentiques ou dignes de foi, des données bien certaines sur la plus grande hauteur des eaux pendant les inondations ; les plus petits ruisseaux comme les plus grandes rivières doivent être, à cet égard, l'objet d'une étude aussi sérieuse que précise, afin de donner toujours aux ouvrages d'art le débouché convenable aux eaux des grandes inondations. C'est principalement des soins apportés dans cette étude que dépendent souvent le sort et la durée de la nouvelle construction, soit grand pont ou aqueduc qu'on édifie : car, combien de fois n'a-t-on pas eu à déplorer de grands désastres à cause qu'un pont ou un aqueduc ne présentait pas assez de débouché aux eaux des grandes inondations. On ne saurait jamais apporter assez de soins à l'étude de tous les cours d'eaux sur lesquels on a à construire quelque grand monument.

La pente des rivières va toujours en diminuant depuis leur source jusqu'à leur embouchure : c'est-à-dire que vers la source la pente est la plus roide et vers l'embouchure la plus douce : cette propriété de tous les cours d'eaux explique que dans les grandes inondations les courants sont considérablement plus rapides vers leur source que dans le voisinage de leur embouchure.

Tous ces principes posés, on parvient à connaître le volume des plus grandes eaux au moyen d'un profil levé à l'endroit du pont à établir, et on rapporte ce profil au repère des plus grandes inondations connues. On calcule, d'après ce profil, l'ouverture à donner au pont, dont la hauteur sous la clef devra avoir 3 mètres au moins au-dessus des grandes eaux. On doit remarquer aussi si le lit de la rivière est encaissé ou ne l'est pas : une rivière est réputée encaissée lorsque les deux berges n'ont jamais été franchies par les plus grandes inondations connues, alors l'ouverture du pont doit avoir une surface équivalente à la section des grandes eaux, et le dessous de la clef doit être à 3 mètres au moins au-dessus des plus fortes inondations connues.

Dans les rivières ou fleuves qui ne sont pas encaissés et qui inondent une grande étendue de terrain, si le pont est destiné au service d'une route ordinaire, on ne lui donnera qu'un débouché d'environ les deux tiers des grandes eaux connues, mais on tiendra la route submersible à 400 ou 450 mètres du pont pour donner passage à l'excédant des eaux : c'est ainsi qu'ont été construits les ponts de Bergerac, de Libourne sur la Dordogne, d'Aiguillon sur le Lot, d'Agen sur la Garonne et de Moissac sur le Tarn.

Si, au contraire, le pont est destiné à un chemin de fer ou à un canal, on donne au pont une ouverture équivalente à la section des grandes eaux, ou bien on fait à la suite du pont un viaduc dans la plaine submersible, parce que les chemins de fer comme les canaux doivent être toujours insubmersibles : c'est ainsi qu'a été construit le viaduc de Réveyre, à la sortie du nouveau pont de Libourne, chemin de fer de Paris à Bordeaux. Il en a été de même du pont-canal d'Agen, construit sur la Garonne, qui a dix-huit arches de 20 mètres chacune, tandis que le grand pont d'Agen, route nationale 122, n'a que onze arches de même ouverture.

CHAPITRE III.

BASES ESSENTIELLES POUR DRESSER LA SÉRIE DE PRIX DE TOUTES SORTES D'OUVRAGES.

On appelle série de prix une suite de prix de l'unité de chaque nature de fourniture et de main-d'œuvre qui entrent dans la formation de l'édifice ou du monument qu'on veut construire ou qui composent la construction de la route ordinaire qu'on veut percer, ou du chemin de fer qu'on veut ouvrir.

Toutes les entreprises de l'État, des Départements comme des Communes s'exécutent par voie d'adjudications publiques sur série de prix, sauf quelques rares exceptions.

La série de prix doit donc être autant que possible l'expression réelle des prix de revient du pays où on veut construire, augmentés d'abord de 5 pour 100 pour faux frais, outils et conduite, et ensuite de 10 pour 100 pour bénéfice de l'entrepreneur.

Pour arriver à la composition exacte de tous les prix qui doivent former la série de prix, il faut avant connaître parfaitement les prix élémentaires du pays. On appelle prix élémentaires, les prix de la journée de toute espèce de travailleurs, ouvriers, chefs d'ateliers, etc., du cheval ou bêtes de somme attelées à la voiture, etc., et de la matière première, telles que la chaux, la pierre, le sable, etc.

On comprend que tous ces prix varient à l'infini sur le territoire de la France, et qu'il nous est impossible de les donner tous, même pour chaque département; mais voici les prix moyens élémentaires de toutes les contrées, et qui pourront servir de guide pour trouver ceux qui conviennent à chaque localité.

BASES DES PRIX.

1° Journées.

	fr.	c.
Terrassier rouleur, manœuvre.	4	75
<i>id.</i> de première classe.	2	»
Chef d'atelier.	3	»
Maçon carrier.	2	50
Mineur.	3	»
Charpentier.	2	50
Poseur, première classe.	4	»
Tailleur de pierre, poseur de deuxième classe et contreposeur. .	3	»
Un cheval ou collier.	5	00
Une charrette à bœufs ou un tombereau à un cheval, conducteur compris, ci.	7	»

Les transports seront déterminés par les formules :

A la brouette $X = \frac{2pD}{100}$: à la voiture $X = \frac{P(2D \times d)}{L \times C}$, dans lesquelles on représente par :

X le prix du transport à déterminer.

p le prix de la journée du rouleur. 1 75
P le prix de la journée de la voiture, ci. 7 »

d la distance répondant au temps perdu pour le chargement et le déchargement, ce temps est :

Pour les déblais, 15 minutes, soit, ci. 600^m,00
id. la pierre de taille, 30 minutes, ci. 1200 00
id. charpente, 60 *id.* 2400 00

L le parcours journalier de la voiture en kilomètres, ci. 36^k,00

C le cube du chargement qui varie ainsi :

pour les déblais, le moellon, le sable, etc. (*a*). 0,50
id. la chaux (*b*). 0,75
id. la pierre de taille, fort libages, etc., ci (*c*). 0,30
id. le bois de charpente (*d*). 1,00

D représente la distance de transport en décamètres dans la formule relative à la brouette, et en kilomètres dans la formule à la voiture.

Ces formules deviennent numériquement, pour transport du mètre cube :

A la brouette $X = \frac{2pD}{100} = \frac{3,50 \times 1}{100} = 0^{\text{fr}},035 D$, c'est-à-dire 3 centimes et $1/2$ par décamètre ou $0^{\text{fr}},40$ et $1/2$ par relais de 30 mètres.

Elles deviennent pour la voiture :

(a) $X = \frac{P(2D+d)}{L \times C} = \frac{7 \times 2 + 600}{36000 \times 0,50} = 0^{\text{fr}},80 D + 0^{\text{fr}},24$ pour les moellons, les déblais, etc.; c'est-à-dire $0^{\text{fr}},80$ par kilomètre, plus $0^{\text{fr}},24$ pour temps perdu pour chargement et déchargement.

(b) $X = 0^{\text{fr}},52 D + 0^{\text{fr}},24$ pour la chaux.

(c) $X = 1^{\text{fr}},40 D + 0^{\text{fr}},48$ pour la pierre de taille.

(d) $X = 0^{\text{fr}},46 D + 0^{\text{fr}},96$ *id.* pour le bois de charpente.

On arrive à trouver le prix des transports par eau d'après les données suivantes à la descente, savoir :

Un bateau du port de 16 tonneaux ou 16,000 kilog., monté par 5 hommes, et le prix de la journée de cet équipage, bateau compris, étant de 46 fr., dans ce cas :

$L = 30$ kilomètres.

$C = 8$ mètres cubes de déblais : 12 mètres de chaux : $4^{\text{m}},80$ de pierres de taille et 16 mètres cubes de bois de charpente.

$d = 4,000$, 8,000 et 12,000, d'où pour :

Moellon, déblais, etc.

$$(a) X = \frac{P(2D+d)}{L \times C} = \frac{16 \times 2000 + 4000}{240,000} = 0^{\text{fr}},15 D + 0^{\text{fr}},30$$

Chaux.

$$(b) X = \frac{P(2D+d)}{L \times C} = \frac{16 \times 2000 + 4000}{30000 \times 12} = 0^{\text{fr}},10 D + 0^{\text{fr}},30$$

Pierre de taille, libage, etc.

$$(c) X = \frac{P(2D+d)}{L \times C} = \frac{16 \times 2000 + 8000}{36,000 \times 4.80} = 0^{\text{fr.}},23 D + 0^{\text{fr.}},60$$

Bois de charpente.

$$(d) X = \frac{P(2D+d)}{L \times C} = \frac{16 \times 2000 + 12000}{36000 \times 16} = 0^{\text{fr.}},09 D + 0^{\text{fr.}},90$$

N. B. Le transport par eau en remontant sera compté double.

CHAPITRE IV.

CHAUSSÉES DES ROUTES ORDINAIRES.

On distingue trois sortes de chaussées : 1° les chaussées pavées en grès d'échantillon cubique de 0^m,20 de côté (*Profil 1, Pl. 3*); 2° les chaussées pavées en galets ou en blocages de moellon de choix (*Profil 2, Pl. 3*); 3° et enfin les chaussées en empierrement dites à la Macadam (*Profil 3, Pl. 3*).

Depuis une dizaine d'années on supprime tous les jours les chaussées de blocage, pour les remplacer par des empierrements qui font les meilleures chaussées, les moins coûteuses, les plus solides, les plus durables, les plus faciles et les plus agréables pour la circulation des voitures et des charrettes qui y roulent avec la même facilité que sur un plancher. Elles ont été adoptées dans tous les pays avec le plus grand empressement, et ont obtenu la préférence sur les chaussées en pavé de grès, qu'elles sont même destinées à remplacer dans un avenir peu éloigné, par le double motif que les chaussées de grès sont bien plus coûteuses et qu'elles ont l'inconvénient de causer aux voitures, qu'elles ébranlent, des cahots continuels qui sont insupportables aux voyageurs. Cela tient à ce que les pavés de grès sont équarris au marteau, et que cet équarrissage n'est jamais assez bien fait pour obtenir des chaussées parfaitement unies.

Les chaussées pavées en cailloux roulés dits galets, ou en moellon de choix, ont le même inconvénient que celles de grès au sujet de l'ébranlement des voitures, et elles ne sont en usage que dans les traverses des villes et villages où l'emploi des pavés de grès se trouve

trop coûteux ; mais on remplace ces pavés de blocages , quoique dans les traverses des villes , par des chaussées à la Macadam.

Chaussées pavées.

Pour que les chaussées pavées donnent toutes les garanties de solidité et de durée qu'on doit en attendre, il faut que tous les pavés, soit de grès, soit de galet ou de moellon de choix, se posent sur la forme de la chaussée disposée et préparée avec une couche de sable de 0^m,10 d'épaisseur. Le sable de mine, pour la forme, est préférable à celui de rivière.

On doit légèrement battre l'aire de la forme sur laquelle on va asseoir le pavé, et le bombement de cette forme doit être conservé un peu plus fort que celui qu'on veut donner à la chaussée, soit du 40° de la largeur.

Lorsque la forme est bien dressée, on pose les pavés, et au fur et à mesure de la pose, le paveur en marque la place avec le pommeau de son marteau, pour les ranger les uns suivant les autres, garnir les joints de sables et frapper les pavés à petits coups, pour unir autant que possible la surface du pavage, qui est ensuite fortement battu à la hie et à plusieurs reprises. Cette opération de battage, qui resserre les pavés les uns contre les autres, leur donne de suite toute la consistance nécessaire pour supporter le roulage des plus pesantes voitures. Chaque rang de pavé doit couper par moitié les joints du rang qui le précède et de celui qui le suit.

Chaussées d'empierrement dites à la Macadam.

On est parvenu aujourd'hui, au moyen du cylindrage avec le rouleau compresseur, à faire faire de suite prise aux empierrements sans aucune espèce de perte de matériaux, et pour une dépense dont le maximum ne dépasse jamais 0^f,20 par mètre superficiel de chaussée de 0^m,20 à 0^m,25 d'épaisseur sur 5 mètres de largeur, tandis que,

faute de cylindrage, une chaussée neuve livrée à la circulation ne peut être considérée comme terminée, puisque pendant plus de trois mois le service du roulage souffre considérablement par l'excédant de traction du tirage; les chevaux se déchirent les jambes; il faut prendre des renforts pour traverser ces passages; les matériaux sont constamment déplacés et broyés sous la pression des roues, la chaussée est tous les jours bouleversée, et pendant tout le temps que dure ce désordre jusqu'à la consolidation de la chaussée, qui finit toujours par avoir lieu durant la saison des pluies auxquelles succèdent les gelées (en sorte qu'on n'a jamais une chaussée solide), il faut un entretien de tous les instants tant en main-d'œuvre qu'en matériaux; et c'est à ce point qu'environ 40 pour 100 de l'empierrement est pulvérisé et réduit en débris avant l'agrégation complète des matières qui le composent.

Bien des expériences ont été faites pour le cylindrage, et toutes ont démontré qu'il y avait une économie considérable à opérer l'agrégation des empierremens au moyen du cylindre compresseur, et qu'indépendamment de l'économie de matériaux qui résulte du cylindrage, ces chaussées sont toujours plus unies, et par cela seul s'usent uniformément et bien moins vite que celles qui ne le sont pas. Aussi leur entretien, au dire de tous les ingénieurs, est moitié de celui des chaussées dont l'agrégation des matières n'a été faite que par le roulage.

Tout ceci s'explique facilement. Par le cylindrage, l'agrégation de l'empierrement a pour ainsi dire été fait par juxtaposition. Il a été comprimé également dans toute l'étendue de sa surface, et les interstices ont été garnis d'une matière liante; en sorte que l'agrégation des matériaux se trouve complète et qu'elle ne renferme que la quantité d'argile qui lui est nécessaire pour en former un corps solide et résistant uniformément dans toutes les couches qui le composent. Mais il ne peut en être de même pour une chaussée qui n'a jamais été cylindrée, parce que, avant de faire prise à l'aide du roulage, l'empierrement a été constamment bouleversé, plus comprimé sur un point que sur l'autre; de trop grosses pierres mélangées avec de trop petites forment des couches ondulées et irrégulières. Toutes ces imperfections dans l'uniformité de l'agrégation et de la composition des couches, ainsi que dans l'irrégularité de la compression, démontrent

jusqu'à l'évidence que ces chaussées ne peuvent pas s'user uniformément, et qu'elles doivent coûter plus d'entretien que les premières, le double au moins.

A l'appui de cette opinion, nous allons exposer tous les faits, expériences et renseignements que nous avons pu recueillir sur le cylindrage des empierrements exécutés dans diverses contrées. Ces documents devront inspirer d'autant plus de confiance à nos lecteurs, que nous les tenons de l'obligeance de plusieurs de nos anciens camarades, conducteurs et entrepreneurs.

Rapport fait à l'Académie des sciences sur le cylindre compresseur de M. Schattenmann.

M. Schattenmann donne aux chaussées une largeur de 5 à 8 mètres, suivant les circonstances et suivant leur destination. Il propose de supprimer, ou au moins d'empierrier les accotements en terre et de remplacer les fossés par des rigoles empierrées ou pavées. Il porte l'épaisseur de la chaussée dans son axe à 20 centimètres, avec un bombement de 6 centimètres par mètre (1). Le fond de la forme ou de l'encaissement qui doit recevoir les matériaux est aussi un peu bombé, environ 4 centimètres par mètre, afin que l'empierrement conserve une certaine épaisseur jusque sur les bords de la route. Le bombement réduit auquel on arrive après la compression, est suffisant pour l'écoulement de l'eau quand la chaussée est unie; il est commode pour les voitures, qui peuvent circuler sans crainte sur toute la largeur de la chaussée, et l'user à peu près uniformément. Avec un bombement exagéré, on n'a pas la même sécurité; la chaussée s'use principalement dans le milieu, où se portent toutes les voitures.

L'empierrement peut s'établir sur un sol quelconque; peu importe sa nature, quand il est couvert par une couche compacte et imperméable. Cependant, s'il était par trop mou, on pourrait le raffermir

(1) C'est trop, un bombement de 5 par mètre est plus convenable.

un peu par un passage de rouleau compresseur. Un simple pilonnage suffirait dans les parties où il ne paraîtrait pas trop résistant.

On place les matériaux réduits par le cassage à 6 centimètres de diamètre dans le fond de l'encaissement ; ceux qui se trouvent plus petits sont réservés pour la surface. S'il en reste à la surface qui aient plus de 4 centimètres, on les casse sur place ou bien on les enlève à la main (1).

Ces matériaux, plus ou moins durs, plus ou moins liants, peuvent être rapprochés, enchevêtrés, par une forte pression ; mais cela ne suffit pas pour qu'ils forment immédiatement une couche compacte, imperméable ; il faut nécessairement incorporer dans l'empierrement une matière pulvérulente pour remplir les vides et opérer la liaison de toutes les parties. La consolidation des chaussées par le cylindrage repose sur le double principe de la compression et du mélange des matériaux avec une matière d'agrégation.

Cette matière doit être de telle ou telle espèce, suivant la dureté des matériaux de l'empierrement et leur facilité à se lier avec des matériaux durs, sans liant, comme les pierres siliceuses, les granits, les quartz, etc. On prend pour opérer l'agrégation, la marne, les calcaires tendres, toute espèce de terre forte, etc., qui se lient facilement.

Mais avec des calcaires d'une certaine dureté, on emploie du sable ; il reçoit du calcaire le liant qui lui manque. Les détritits des chaussées, provenant de pierres dures ou tendres, sont dans tous les cas une bonne matière agglomérante.

Quand la chaussée est préparée et chargée de petites pierres ou de cailloutis, on procède au cylindrage, qui comprend deux opérations bien distinctes : la compression des matériaux et leur agglomération.

1° La compression est produite par deux tours ou deux passages de rouleau à vide, avec la charge simple de 3,000 kilogrammes ; par deux tours à mi-charge de 4,500 kilogrammes ; par deux tours à charge entière de 6,000 kilogrammes (2).

Pendant ces six premiers tours de rouleau, on est obligé, dans

(1) L'emploi de l'empierrement dans la forme de la chaussée doit être exécuté rigoureusement tel qu'il est prescrit.

(2) Le nombre de tours est variable.

une grande sécheresse, d'arroser les matériaux pour qu'ils glissent mieux les uns sur les autres et s'enchevêtrent plus facilement.

2° L'agglomération s'opère en continuant de comprimer avec le rouleau à pleine charge; *mais après chaque tour on étend à la surface de la chaussée* une légère couche de matière liante, sèche, réduite en poudre et choisie convenablement, suivant la nature des matériaux de l'empierrement. Le volume de la matière d'agrégation est d'*environ 15 p. 100 du cube des matériaux* qui constituent l'empierrement. *Six tours* de rouleau suffisent dans cette seconde période de la consolidation (1).

Le cylindre, réduit au minimum de douze tours de rouleau à douze passages dans chaque endroit, pourra, dans une journée, s'étendre à 2 ou 300 mètres de longueur et couvrir une surface de 1,500 à 2,000 mètres carrés; mais quand la consolidation marchera lentement, on sera parfois obligé d'augmenter un peu le nombre des passages du rouleau, et la surface cylindrée dans un jour sera moindre. Ce travail s'exécute avec six chevaux sur des routes à pentes ordinaires; on en emploie huit quand les pentes s'élèvent au-dessus de 4 à 5 centimètres par mètre.

Malgré la grande mobilité des pierres cassées et surtout des cailloux roulés, au commencement de l'opération, l'attelage de six à huit chevaux de force moyenne peut sans effort faire marcher le rouleau à vide, et pesant seulement 3,000 kilogrammes. A mesure que l'opération avance le roulage devient plus facile, et l'on peut augmenter successivement la charge du cylindre jusqu'à 6,000 kilogrammes. Dans tous les cas, il faut *que chaque cheval n'ait à exercer qu'une traction modérée; s'il devait agir avec force, ses pieds bouleverseraient sans cesse la surface de la chaussée, et la marche se trouverait par moments trop lente et trop rapide, ce qui nuirait considérablement à l'uniformité de la compression de la chaussée, et par suite à l'agrégation des matériaux qui la composent.*

Après une douzaine de passages de rouleau, la chaussée peut être livrée à la circulation, si l'opération a été bien conduite.

(1) Le nombre de tours est variable suivant le degré de dureté et de propreté des matériaux, suivant aussi l'état de l'atmosphère et le volume de la matière d'agrégation peut aller à 20 pour 100 du cube des matériaux.

Le succès dépend principalement de la nature de la matière d'agrégation et de son introduction dans l'empierrement; elle doit remplir les vides qui restent entre les matériaux et les envelopper en partie d'une espèce de gangue qui les consolide en séchant.

Quand le rouleau marche pendant la compression, il s'enfonce peu dans l'empierrement, même au premier tour. On remarque seulement, en avant, une agitation analogue à celle qui a lieu dans un fluide refoulé. La pression de surface se transmet de proche en proche, les pierres glissent les unes sur les autres; il se forme une espèce de feutrage. Les vides qui existaient d'abord se remplissent en partie par les matériaux eux-mêmes. L'ondulation en avant du rouleau diminue graduellement à mesure que les pierres se casent et perdent leur mobilité. De là résulte, dans l'épaisseur de la chaussée, une diminution d'environ $1/6$ pour la meulière cassée, mais moindre pour des cailloux roulés qui ne se touchent guère que par des points (1).

Le saupoudrage de la matière d'agrégation s'opère partiellement par couches minces, pour qu'elle pénètre facilement dans l'empierrement. Pendant ce travail l'ondulation diminue vite; elle s'éteint bientôt, et la matière d'agrégation reste à la surface. C'est le signe certain que l'on peut cesser le cylindrage: cela arrive ordinairement après une douzaine de passages. Alors on répand sur la matière d'agrégation restée à la surface de la chaussée, une couche de 1 centimètre de sable ou de gravier fin, pour couvrir les pierres, amortir l'action des pieds des chevaux et empêcher les dégradations à la surface, et l'adhérence aux roues des matières grasses qui n'ont pas pénétré dans la masse. Dans cet état il faut encore que la chaussée soit mouillée par la pluie (2) ou par un arrosage abondant. Alors elle peut être livrée à la circulation. Cependant elle n'est pas encore consolidée: ce n'est qu'après une dessiccation d'environ deux mois que toutes ses parties sont bien liées et qu'elles forment une masse compacte et imperméable. Si après le cylindrage il survenait des pluies continuelles et plus tard des gelées, la chaussée se consoliderait difficilement. Il ne faut donc pas entreprendre ces opérations en hiver ou à l'entrée de l'hiver.

(1) Plusieurs expériences ont démontré que la diminution varie du $1/6$ au $1/7$.

(2) Par la pluie douce ce sera très-facile.

Quand une chaussée empierrée est usée ou réduite à une couche trop mince pour résister au roulage, il faut augmenter son épaisseur. On la recouvre d'une couche de matériaux que l'on consolide au moyen du rouleau compresseur, en suivant la même marche que pour une chaussée neuve; seulement, dès les premiers tours du rouleau, par un temps pluvieux ou à la suite d'un arrosage convenable, il faut saupoudrer avec la marne, le sable ou les détritux, pour lier promptement les parties de la nouvelle couche entre elles et la superficie de l'ancienne chaussée.

Quelquefois on se sert d'un pic pour pratiquer à la surface de la chaussée en réparation des cavités où se logent les matériaux dont on la charge. Avec le rouleau compresseur, on lie parfaitement sans repiquage les deux couches superposées, et l'on évite la dépense d'une opération assez longue qui a d'ailleurs l'inconvénient de désagréger les parties de l'ancienne chaussée.

Examinons ces deux questions importantes : Quelle est la pression exercée par le petit rouleau, et à quelle profondeur se fait sentir son action ?

Le cylindre s'appuie sur l'empierrement dans toute sa longueur de 4^m,30, sur une largeur de 0^m,20 à 0^m,25. La pression, pour une zone de 4 centimètre de largeur, varie de 23 à 46 kilog.; tandis que la pression des roues, par zone de 4 centimètre, varie de 100 à 170 kilog. Ainsi une pression trois ou quatre fois plus petite que celle des lourdes voitures de roulage suffit pour opérer la consolidation d'une couche de 20 à 25 centimètres d'épaisseur.

M. Schattenmann opérant avec son rouleau sur une couche de 50 centimètres d'épaisseur, a reconnu que la compression a lieu jusqu'à 30 centimètres de la surface. L'action de ce petit rouleau peut donc se transmettre dans toutes les parties d'un empierrement réduit à l'épaisseur de 20 à 30 centimètres, regardée maintenant comme très-suffisante. L'échantillon de 20 centimètres d'épaisseur qui a été extrait de Bouxwiller, et dont nous avons déjà parlé, ne laisse aucun doute à cet égard.

On avait cru d'abord qu'il fallait un grand poids pour comprimer les empierremets, et l'on fut conduit à employer des cylindres de 4^m,50 de longueur, de 2 mètres de diamètre, pesant 4, 5, 6,000 kilog. à vide, et le double à pleine charge. La pression par zone de 4 cen-

timètre est alors presque double de celle du petit rouleau, et cependant elle paraît moins efficace. M. Schattenmann soutient catégoriquement, dans son mémoire, qu'un grand et lourd cylindre ne consolide ordinairement un empièrrement que jusqu'à 6 ou 7 centimètres de la surface; à l'appui de cette opinion, il cite des cylindrages opérés aux Champs-Élysées, et surtout celui qui a été fait l'année dernière près de Saint-Denis par le génie militaire avec le grand rouleau des fortifications, qui exige un attelage de dix-huit à vingt chevaux. L'empièrrement de 20 centimètres d'épaisseur en cailloux exécuté de cette manière a été promptement bouleversé par le roulage.

Nous ajouterons que cette année les mêmes officiers ont opéré dans une rue militaire, près du canal de Saint-Denis. L'empièrrement se composait d'une couche de 20 centimètres d'épaisseur en cailloux siliceux, roulés, non cassés, tirés des carrières de Clichy. Le cylindrage avec les rouleaux de M. Schattenmann a donné une chaussée qui résiste parfaitement depuis trois mois au plus gros roulage. A son ouverture elle a pu supporter une voiture à dix chevaux chargée de pierres de taille. La dépense pour le cylindrage, la matière d'agrégation et le sable s'est élevée à 25 centimes par mètre carré.

Résultats de cylindrages faits dans les environs de Paris.

La parfaite compression et réunion en couches compactes d'empièrrement en cailloux siliceux roulés a exigé vingt passages de rouleau, tandis qu'il n'en a fallu que quinze pour les pierres siliceuses cassées, et douze seulement pour les pierres calcaires.

L'opération la plus difficile et qui exige le plus de soins avec une attention soutenue, est sans contredit l'introduction des matières d'agrégation pour lier et mastiquer les empièrrements. Six ou huit passages de rouleau à vide et à demi-charge doivent suffire à la compression de l'empièrrement, qui doit être alors dans un état parfait à la surface, et toutes les empreintes des pieds de chevaux doivent avoir disparu; on ne doit y remarquer aucune pierre roulante, et tout doit être tenu dans le plus grand ordre. Les matières d'agrégation,

dans le rapport du $1/5$ du cube des matériaux, sont déposées de distance en distance sur les accotements, suivant les besoins présumés.

Tout étant ainsi disposé, on jette sur la chaussée une légère couche de matières d'agrégation sèche et en poudre, et à mesure que le rouleau y passe on regarnit de matières d'agrégation les parties découvertes où il se montre des interstices. Dès que les matières d'agrégation cessent de pénétrer dans l'empierrement, quoiqu'il en soit recouvert sur toute sa surface d'une légère couche, on relève à la main les pierres roulantes qui auraient échappé à la pression du cylindre, et on jette une légère couche de sable que le rouleau broie avec les matières d'agrégation demeurées à la surface, afin de les rendre moins adhérentes en cas de pluie. Alors l'empierrement peut être arrosé, et on y fait un dernier passage de rouleau; puis on livre la chaussée à la circulation, qui n'y produit aucune dégradation. Cependant il est bien de répandre le lendemain matin une légère couche de sable pour que les matières d'agrégation fassent prise avec le sable et se collent ensemble sur la surface de la chaussée, pour la protéger pendant les premiers jours de circulation. On doit autant que possible faire disparaître les frayés des roues à mesure qu'ils se forment sur cette couche; et si on remarque quelque dégradation sur la chaussée, produite par les pieds des chevaux ou par les roues, ou enfin par toute autre cause, on les répare immédiatement au pilon ou à la hie. Après un ou deux mois, l'agrégation est tellement complète et intime dans toutes les parties de l'empierrement, qu'il résiste à toute cause de dégradation.

Il est important de bien se pénétrer que, dans de grandes chaleurs, on peut arroser un peu les pierres avant de faire fonctionner le cylindre, pour en faciliter la compression, mais qu'il faut bien se garder d'arroser l'empierrement au moment du répandage des matières d'agrégation, qui ne pénètrent complètement dans les vides que sèches et en poudre; car dès qu'elles sont mouillées elles forment pâte, restent à la surface de la couche et se collent même contre le cylindre en produisant des arrachements sur l'empierrement.

Les matières d'agrégation devant être introduites sèches et en poudre, et les chaussées cylindrées, après avoir été mouillées pour favoriser l'union intime des matières qui les composent, devant être soumises à une dessiccation, il est convenable de ne pas entreprendre des

cylindrages dans la mauvaise saison, mais de les exécuter du 1^{er} avril au 30 septembre.

Résultats de cylindrages exécutés dans le département de la Corrèze.

Chaussée de la route nationale n° 120, traverse de Tulle.

La largeur de la chaussée est de 5 mètres, l'épaisseur de 0^m,25, et le bombement de 0^m,425. Les matériaux sont très-bien cassés à l'anneau de 0,06 de diamètre; ils sont en granit porphyroïde excessivement dur. Avant le cylindrage, la chaussée avait été exactement cercée et ne laissait voir aucune flache dans toute son étendue. L'exactitude de cette opération est de rigueur, parce que les flaches existent, après comme avant le cylindrage, et présentent une surface détestable.

Il fut procédé au cylindrage avec le rouleau compresseur de M. Chattenmann, et suivant les instructions qui précèdent, au mois de mai 1848, par un temps très-sec.

La chaussée fût arrosée avant de faire passer le rouleau. Après six passages de cylindre on commença le répandage des matières d'agrégation, et on fit dix tours pendant cette opération, après lesquels on remarqua que l'empierrement avait cessé de produire des ondulations sous la pression du cylindre, et on conclut que la compression était terminée. On arrosa abondamment la chaussée sur le détrit, et on fit encore deux passages de rouleau après avoir laissé sécher à moitié. Enfin on y répandit une couche de gros sable de rivière d'un centimètre d'épaisseur, et on fit un tour de cylindre. Le lendemain cette chaussée fut livrée à la circulation.

Pendant les premiers jours des cantonniers furent occupés à effacer les frayés des roues sur la couche de sable, et à bien entretenir cette couche uniformément répandue sur toute la surface de l'empierrement. Voilà plus d'un an que cette chaussée a été livrée à une grande circulation; il ne s'en est jamais détaché une pierre, et son profil est toujours le même, tant le cylindrage a été bien fait et l'agrégation des matières complète. Il est entré 20 p. 400 de matières d'agrégation; tous les empierremens exécutés dans le département de la Corrèze ont également réussi. Il faut dire que cette contrée possède d'excellents matériaux.

Tableau d'attachement de cylindrage des rechargements de la route nationale dans la plaine du Basteyrou, commune d'Argentat, département de la Corrèze.

Longueur.	Largeur moyenne.	Surface.	Mètres cubes de pierres cassées employées.	TRIAGE et répannage de la pierre.		MATIÈRE D'AGRÉGATION					SABLES OU MATIÈRES ANALOGUES				RAGRÉS de la chaussée de la cylindrage et répannage des matières régulières et du sable.	Frais d'arrosage.	Fournitures et dépenses diverses.	Dépense totale.	Dépense par mètre superficiel.	Nombre d'heures de travail employées au cylindrage.	NOMBRE DE PASSAGES sur chaque zone					NATURE des passages.		OBSERVATIONS.	
				Nombre de journées.	Dépense.	provenant de la pierre cassée.	provenant d'ailleurs et rendue à pied d'œuvre.		Cube total employé.	Quantités employées par mètre cube de pierre cassée.	provenant de la pierre cassée cube.	provenant d'ailleurs et rendus à pied d'œuvre.		Cube total employé.							Épaisseur de la couche.	Nombre de journées.	avant le répannage des matières d'agrégation.	durant le répannage.	après le répannage du sable.	total.	Nombre de chaque nature.		Nature.
m.	m.	m.	m.	journ.	fr. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	h.										
1^o Rechargement compris entre 22 et 23 bornes kilométriques.																													
100	4	400	36	12.48	18.72	0.50	3.54	2.12	4.54	0.14	»	6.00	11.65	6.00	0.015	3.75	10.84	1.90	0.36	71.22	0.178	7	6	5	3	14	2	à vide.	La pierre employée dans ces rechargements était du galet siliceux cassé à 0,06 centimètres de diamètre.
2^o Rechargement compris entre 23 et 4-23 bornes kilométriques.																													
50	5	250	15	5.20	7.80	0.40	2.00	1.20	2.40	0.16	»	3.00	5.82	3.00	0.012	1.00	6.00	0.95	0.15	35.42	0.142	5	3	7	1	11	3	à 1/2	Bauchée de 50 mètres de longueur sans interruption.
3^o Rechargement compris entre 23 et 3-23 bornes kilométriques.																													
107	5	535	50	18.50	27.75	1.50	6.50	3.90	8.00	0.16	»	6.50	12.62	6.50	0.012	4.00	6.27	2.75	0.66	83.95	0.156	8	4	6	3	13	4	à 1/2	Bauchée de 107 mètres de longueur, composée de trois parties de rechargements embrassant un parcours de 177 mètres de longueur.
4^o Rechargement compris entre 22 et 2-23 bornes kilométriques.																													
167	5	835	68	23.50	35.25	2.24	10.00	6.00	12.24	0.18	»	9.00	17.48	9.00	0.01	8.00	6.82	2.85	0.68	105.08	0.125	9	3	7	1	11	5	à 1/2	Bauchée de 167 mètres de longueur, composée de deux parties de rechargements embrassant un parcours de 207 mètres de longueur.
5^o Rechargement compris entre 25 et 1-23 bornes kilométriques.																													
208	5	1040	83	29.00	43.00	2.50	10.80	6.48	13.30	0.16	»	12.50	24.28	12.50	0.012	9.00	7.84	3.60	0.80	129.50	0.124	10	3	7	2	12	4	à 1/2	Bauchée de 208 mètres de longueur sans interruption.
6^o Rechargement compris entre 23 et 22 bornes kilométriques.																													
230	5	1150	115	39.00	58.50	2.00	16.50	9.90	18.50	0.16	»	11.50	22.33	11.50	0.01	11.00	7.84	4.75	1.15	150.97	0.131	10	3	7	2	12	4	à 1/2	Bauchée de 230 mètres de longueur sans interruption.
7^o Rechargement compris entre 22 et 3-22 bornes kilométriques.																													
80	5	400	40	14.00	21.00	1.00	5.00	3.00	6.00	0.15	»	4.00	7.77	4.00	0.01	4.00	6.49	1.90	0.40	66.56	0.166	7	3	6	2	11	3	à 1/2	Bauchée de 80 mètres de longueur, composée de cinq parties et embrassant un parcours total de 240 mètres de longueur.
8^o Rechargement compris entre 22 et 1-22 bornes kilométriques.																													
170	5	680	60	20.00	30.00	2.00	7.00	4.20	9.00	0.15	»	7.00	13.59	7.00	0.01	6.00	6.27	»	0.60	87.66	0.129	9	2	6	2	10	3	à 1/2	Bauchée de 170 mètres de longueur, composée de trois parties embrassant un parcours de 200 mètres.
<p>Ces rechargements ont été exécutés au mois de mars 1849, l'agrégation a été parfaite, rien n'a bougé depuis, et la chaussée était, au mois suivant d'août, dans le meilleur état qu'on pût désirer.</p>																													

Avis sur la manière de faire fonctionner le cylindre de M. Schattenmann.

Lorsqu'on veut se servir du cylindre, on abat le timonneau de derrière, on le fixe à la clef, on ôte le coin qui presse sur l'encliquetage, et la machine est prête à fonctionner.

On se sert du timonneau pour guider le cylindre pendant la marche. Lorsqu'on est arrivé au bout de la bauchée, on soulève, le timon devient libre et l'équipage tourne pour reprendre la marche en sens inverse, etc.

Il faut avoir soin de graisser l'essieu du cylindre et le grand anneau du timon de temps en temps; on se sert à cet effet d'huile grasse et non d'huile siccative; on peut mettre à l'essieu de la graisse verte ou du vieux oing, ce qui s'exécute alors, en ôtant le chapeau du dessous du palier que l'on remet ensuite, lorsque l'essieu est graissé. L'essieu et le grand anneau du timon doivent toujours fonctionner librement pour éviter le frottement et rendre la manœuvre facile.

Il ne faut pas négliger, à chaque tour, de relever la curette de devant et d'abaisser celle de derrière; on a soin alors de les secouer fortement pour faire tomber la boue et les corps qui s'y attachent. Si par suite de l'adhérence des matières, les curettes n'avaient pas assez d'énergie, on les fait presser plus fortement, en suspendant un poids à la poignée et en le portant de l'une à l'autre à chaque tour; on se sert à cet effet d'une pierre suspendue par une corde, etc.

Pendant les heures de repas, le chef cantonnier chargé du cylindrage visite la machine, et avec la clef anglaise il resserre les vis et écrous qui viendraient à se lâcher par suite de la sécheresse et du mouvement.

Lorsqu'on change le cylindre d'atelier, et qu'on est obligé de passer sur des routes pavées, il faut toujours aller au pas et autant que possible éviter les chocs trop brusques, afin de ne pas compromettre la solidité du rouleau en fonte. Il faut aussi éviter de faire tourner les chevaux lorsque l'encliquetage n'est pas soulevé, car on courrait le risque de briser le timon.

On commence par cylindrer la chaussée en y conduisant le rouleau à vide jusqu'à ce qu'elle devienne ferme; on y répand des matières

d'agrégation, puis on cylindre de nouveau en chargeant peu à peu les caisses avec les matériaux d'approvisionnement qu'on jette toujours dans celle du dessus, en les faisant tomber par la trémie dans celle du dessous. Nous croyons qu'en général il vaut mieux charger moins, et passer plus de tours : cela fait aussi bien et est moins cher ; du reste cela dépend du temps, de la nature du terrain et des matériaux qu'on emploie, etc.

La *fig. 5* (*Pl. 3*) représente le cylindre compresseur de M. Schattmann, perfectionné par M. Houyau, ingénieur mécanicien à Angers.

Le prix de ce rouleau et de ses accessoires, prêts à marcher, est de 2,000 fr., pris à Angers dans les ateliers de M. Houyau, qui se transporte volontiers auprès des administrateurs qui désirent acquérir de ses rouleaux à l'effet de leur donner toutes les explications nécessaires au sujet de ces machines.

Chaque arrondissement d'ingénieur des ponts et chaussées, comme chaque division d'agent-voyer devrait posséder au moins un cylindre compresseur de M. Houyau.

Instruction sur l'emploi du cylindre.

Pendant le cylindrage, il faut avoir soin de graisser les essieux à chaque parcours de 2000 mètres. Cette opération se fait pendant la marche du cylindre en introduisant de l'huile dans le petit conduit placé dans la chantignolle.

La surveillance à exercer et les soins à prendre pendant le cylindrage consistent :

1° A éviter qu'il se rencontre sous le rouleau de la boue et des matières trop humides pour se coller au cylindre et produire ainsi des arrachements dans la chaussée. L'enlèvement de la boue doit être fait de suite et très-minutieusement et en même temps on fait fonctionner la mécanique à décrottoire, en pressant légèrement contre le cylindre le levier longitudinal garni d'une plate-bande de fer qui en nettoie la surface. La boue tombe en larges plaques que l'on enlève immédiatement en suivant le rouleau. Cet inconvénient explique combien il faut prendre de précautions dans l'arrosage pour ne pas trop humidifier

les matières d'agrégation, et combien il est imprudent surtout d'opérer par un temps pluvieux et trop humide.

2° A faire rouler le cylindre le plus lentement possible et uniformément dans tout le parcours, à veiller à ce que les chevaux soient bien dirigés suivant la zone que l'on comprime, et à ralentir la marche dans les descentes au moyen de la mécanique qui sert de frein.

3° A n'entreprendre d'un empierrement que ce que l'on peut comprimer en une journée, afin d'empêcher les dégradations qui pourraient survenir par le roulage dans l'intervalle de la reprise du cylindrage.

Comparaison des dépenses entre le nouveau et l'ancien système d'empierrement.

Frais de cylindrage d'un empierrement ayant 5 mètres de largeur et 0^m,25 d'épaisseur.

	fr. c.	fr. c.
Frais de traction, journée d'un attelage de 8 chevaux, à 60 fr. par jour, conducteurs compris, comprimant 1000 mètres carrés, soit par mètre, ci.	0.060	
Répandage des matières d'agrégation à 10 mètres cubes par journée d'homme à 3 fr., ou à 30 centimes par mètre cube, à raison de 20 pour 100 du cube des matériaux employés, ci.	0.015	
Répandage d'un mètre cube de sable, à raison de 10 mètres cubes par journée à 3 fr., ou à 30 centimes d'un mètre cube, et la couche étant d'un centimètre d'épaisseur, le mètre superficiel sera, ci.	0.003	
Frais de cylindrage et de répandage des matériaux d'agrégation.	0.078	0.078
Le mètre cube de matières d'agrégation à 2 fr., à raison de 20 pour 100 du cube des matériaux, ou une couche de 0 ^m ,25, ci.	0.10	
Le mètre cube de sable à 3 fr. répandu en couche de 0 ^m ,01, ci.	0.03	
Valeur des matières d'agrégation, ci.	0.13	0.130
Dépenses imprévues et frais de cylindre.		0.012
Total des frais de cylindrage, des matières d'agrégation et du sable par mètre carré, ci.		0.220

Frais d'entretien et perte de matériaux d'une chaussée livrée à la circulation sans être cylindrée.

	fr. c.	fr. c.
Une chaussée en cet état met ordinairement six mois dans un désordre déplorable avant de faire prise, et son entretien est de tous les instants si on veut la conserver passable après sa consolidation ; aussi l'entretien de main-d'œuvre pendant ce temps peut bien être porté à, ci.	0.15	
Détérioration des matériaux pendant tout le temps qu'a duré l'agrégation 40 pour 100, et le prix étant de 5 fr. le mètre cube, pour 1 mètre superficiel, on aura 1 fr. 25 c., et pour 40 pour 100 de cette somme, on a, ci.	0.50	
Total des frais et perte de matériaux avant l'agrégation de l'empierrement.	0.65	
Prix du cylindrage, ci.	"	0.22
L'entretien de ces deux chaussées sera bien différent, parce que l'empierrement qui n'est pas cylindrée s'usera, sans exagérer, deux fois plus vite que l'autre, à ce point que si la main-d'œuvre d'entretien est de 10 centimes par an pour le premier, il ne sera que de 5 centimes pour le second, ci.	0.10	0.05
Il en sera de même pour les matériaux, soit par an, ci.	0.20	0.10
Si on ajoute le prix de l'empierrement à 5 fr. le mètre cube, on a.	1.25	1.25
Prix.	2.20	1.62
Économie par mètre superficiel en faveur des chaussées cylindrées ou 36 pour 100 de la dépense.	0.58	

En présence d'un résultat aussi satisfaisant en faveur des chaussées cylindrées, on devra à l'avenir opérer l'agrégation des empierrements neufs ou des rechargements de vieilles chaussées au moyen du rouleau compresseur.

CHAPITRE V.

ENTRETIEN DES EMPIERREMENTS.

L'entretien des chaussées consiste à les tenir dans un état permanent de propreté, qu'elles soient parfaitement calibrées et sans trous ni flaches où les eaux puissent séjourner ; on doit les ébouer souvent dans les temps de pluies en passant légèrement à la surface avec la râquette qui ne doit jamais pénétrer jusqu'au vif de l'empierrement. On doit les balayer en été avec des balais très-flexibles et les arroser quelquefois. L'entretien simple qui est l'ouvrage des cantonniers doit toujours être dirigé de manière à ce que l'empierrement soit bien roulant et parfaitement uni dans toute sa surface, et qu'il s'use uniformément dans toute son étendue afin que des rechargements généraux de 8 à 12 centimètres d'épaisseur puissent se pratiquer tous les ans sur les parties les plus usées.

Il suit de là, que l'entretien des chaussées doit se diviser en deux parties que nous appellerons : Entretien simple, et Rechargements.

L'entretien simple est la tâche des cantonniers. Ces ouvriers habiles et intelligents sont les conservateurs des chaussées. Durant les pluies ils doivent toujours s'étudier à éloigner les eaux hors de la chaussée, à ébouer, et aussitôt qu'ils aperçoivent la plus petite flache où l'eau puisse séjourner, ils doivent l'encadrer dans un périmètre en traçant avec le pic un léger sillon pour former l'encadrement destiné à retenir les matériaux neufs ; on en pioche légèrement l'intérieur au pic ; on y verse de l'eau au besoin, et cette flache, ou trou ainsi préparé, est rempli de matériaux neufs bien cassés et parfaitement purs : ces

matériaux sont régalez avec soin et comprimés avec un pilon de manière à suivre parfaitement le profil de la chaussée; puis on les saupoudre de matières d'agrégation, et on pilonne de nouveau à l'effet d'obtenir de suite une agrégation convenable entre l'ancienne couche et la nouvelle qu'on recouvre de sable et à son défaut de détrit. On arrose abondamment, on laisse sécher à moitié et on repasse le pilon. Si ces opérations se font pendant un temps humide, on pourra se dispenser d'arroser, ou bien peu, afin de ne donner aux matières que l'humidité convenable pour obtenir entre elles une prompte liaison. Par un semblable entretien on obtient des chaussées unies et qui s'usent également à la surface.

En général pour obtenir un bon entretien simple des empièrrements, il faut que les matériaux soient employés avec discernement et qu'ils aient fait liaison avec les vieux, avant de les abandonner à la circulation du roulage. Dans l'entretien simple le pilon est destiné à remplir les fonctions du rouleau compresseur dans les chaussées neuves, et son effet doit toujours être le même, si on opère comme nous venons de l'indiquer. Par ce système d'entretien, on n'aura jamais sur la chaussée des pierres roulantes et des matériaux désunis entre eux qui hâtent la destruction des empièrrements par les chocs qu'ils reçoivent de la pression du roulage des voitures.

Pendant les grandes sécheresses, on doit balayer souvent les empièrrements avec des balais flexibles et les arroser fréquemment, surtout ceux qui n'ont jamais été cylindrés.

Les rechargements généraux doivent avoir lieu tous les ans dans les parties de la route où les empièrrements ont la moindre épaisseur et doivent être traités comme les chaussées neuves (voir à cet égard les instructions du chapitre 3 sur le cylindrage). Mais pour connaître les parties d'empièrrement qui ont le moins d'épaisseur, il est essentiel d'avoir pratiqué à l'avance, tous les 50 mètres au moins, des sondes sur l'axe de la chaussée et d'avoir rapporté les cotes sur l'itinéraire de la route. Cette opération a pour résultat de faire connaître la situation exacte de l'empièrrement et de mettre à nu les parties les plus mauvaises comme les meilleures : avec des documents semblables, il sera toujours facile d'apprécier avec discernement les parties d'empièrrement qui devront être rechargées chaque année.

Toutes les routes nationales et départementales sont divisées par

bornes kilométriques; ces divisions sont très-avantageuses pour dresser les états d'indication de chaque année pour l'entretien des chaussées, mais il serait à désirer que ces divisions kilométriques fussent subdivisées par hectomètres au moyen de bornes bien plus petites que les premières qu'on placerait sur les bords extérieurs des accotements. Elles auraient le double avantage de servir de repère à l'épaisseur des empièvements et de faciliter considérablement la répartition des matériaux d'entretien portés dans les états d'indication.

Le choix des matériaux est d'une grande importance dans l'entretien des routes, sous le double rapport de la qualité et de l'économie. Dans le but de diminuer les frais de transport, on multiplie le plus possible le nombre des carrières; et souvent dans le choix des carrières pour économiser les frais de parcours d'un ou deux kilomètres (soit pour prendre un chiffre 4 fr. 50 d'économie), il arrive qu'on approvisionne des matériaux qui ont une valeur intrinsèque moindre de moitié que ceux qu'on délaisse, et les matériaux étant à 5 fr. le mètre cube, prix moyen, si on a économisé d'une part 4 fr. 50, on a perdu 5 fr. d'autre part, plus les frais de remaniement dans l'entretien de 2 mètres cubes au lieu d'un.

Pour obvier à ces inconvénients les repères dont nous avons parlé doivent servir à tenir un attachement rigoureux et exact du degré d'usure des rechargements; et dans un temps donné, par la comparaison des attachements, on arrivera à reconnaître quelles sont les carrières qui donnent les matériaux les plus résistants et dans quelle proportion ils le sont; et du résultat de ces divers rapports entre eux, on reconnaîtra souvent qu'il y a un avantage incontestable à employer des matériaux d'une qualité supérieure, bien qu'ils coûtent 25 ou 30 pour 100 plus cher à cause des transports, que d'autres d'une qualité inférieure et moins résistante.

Je sou mets ces réflexions à l'appréciation judicieuse des ingénieurs des ponts et chaussées, des conducteurs et des agents voyers.

Observations importantes.

Il est certain et incontestable qu'il y a une économie de près de

100 pour 100 à cylindrer les empierrements ; et pour que cette opération eût toujours lieu en temps utile , il faudrait pour le service des routes nationales et départementales un cylindre compresseur non-seulement dans chaque chef-lieu d'arrondissement d'ingénieur ordinaire , mais bien dans chaque division de conducteur.

Pour les chemins de grande communication comme pour les routes vicinales, il en faudrait un par canton pour que le service de cylindrage se fit parfaitement et dans la saison convenable à cette opération ; mais il y a beaucoup de départements qui n'en possèdent peut-être pas un seul pour le besoin de ce service si essentiel à la solidité des empierrements et surtout à leur bonne confection. La compression par le cylindre est à l'empierrement, ce qu'est le maçon à la bâtisse de blocage.

Il est vrai que le rouleau compresseur de M. Schattenmann avec tous ses accessoires peut se trouver d'un prix trop élevé pour l'administration des chemins vicinaux, dans chaque département, pour qu'elle pût faire l'acquisition de tous les rouleaux compresseurs dont elle aurait besoin pour le service de tous ses empierrements.

Alors voici ce qu'il y aurait à faire : les chemins vicinaux ne sont jamais fatigués par le roulage comme les routes nationales et départementales, et pour les cylindrer, on pourrait se servir de rouleaux moins lourds et plus simples que celui de M. Schattenmann : à cet effet, nous proposons le rouleau compresseur en pierre (*fig. 4*) ; ce rouleau a 4^m,40 de long et 1 mètre de diamètre ; son cube est de 4^m,40 et son poids de 3,300 kilog. Ce rouleau produira le même effet de compression que celui de M. Schattenmann, à vide. Deux tourillons en fer sont placés à chaque bout de l'axe du cylindre ; ils forment l'essieu de l'avant-train destiné à recevoir 4 ou 6 chevaux pour le faire fonctionner. Au premier tour comme à tous les autres, on ôte les chevaux, on fait pivoter sur les axes l'avant-train, de l'avant à l'arrière, on attelle les chevaux et on continue la marche en sens contraire.

Le prix d'un pareil cylindre varie de 180 fr. à 220 fr. suivant la difficulté de trouver un bloc de pierre très-dure et de la meilleure qualité possible avec de si grandes dimensions. Mais cela se trouve très-facilement dans bien des contrées.

CHAPITRE VI.

CONNAISSANCE DES MATÉRIAUX.

On doit principalement s'appliquer à acquérir les connaissances les plus étendues et les plus complètes sur la nature, la qualité, la composition, la forme et la résistance de tous les matériaux qui entrent dans les constructions de toute espèce.

Ces connaissances s'acquièrent par une longue étude et par de fréquentes expériences sur les matériaux qu'on emploie dans les constructions.

Pierres. Les pierres les plus dures sont réputées les meilleures pour les bâtiments. En cela les granits sont mis au premier rang, et les marbres viennent ensuite. Les pierres sont un composé de matières terreuses ou sablonneuses qui ont acquis un tel degré de dureté qu'il ne leur permet plus de s'amollir dans l'eau. Les parties qui les forment sont plus ou moins étroitement liées les unes aux autres, selon qu'elles sont plus dures ou plus tendres.

Les pierres prennent leur origine aux dépôts et aux couches successives des particules intégrantes de la terre et du sable. Il entre quelquefois dans leur composition d'autres particules hétérogènes : l'eau, l'air et le feu ont concouru à leur formation. La cause de leur liaison est la pression que leur ont fait éprouver les autres corps qui les compriment. Toutes les pierres se forment par juxtaposition. Les minéralogistes distinguent quatre classes de pierres, savoir : les argileuses, les calcaires, les gypseuses et les scintillantes.

Pierres argileuses. Les propriétés distinctives des pierres argileuses sont de ne pas faire effervescence avec les acides et de durcir au feu ordinaire, de ne pas pouvoir se convertir en plâtre ni en chaux. Elles sont douces au toucher : tels sont les micas, les schistes, les basaltes, les pierres de touche et les pierres à rasoir.

Pierres calcaires. Les pierres calcaires sont celles qu'on emploie le plus dans la construction des édifices. On les nomme ainsi, parce que, exposées à l'ardeur du feu pendant un certain temps, elles se convertissent en chaux. Elles font effervescence avec les acides. C'est pourquoi, pour connaître si une pierre appartient au genre calcaire, on verse dessus quelques gouttes d'eau forte, et si elle fait effervescence en se réduisant en bouillie au point où l'acide nitrique a été versé, on peut dire que cette pierre est calcaire et propre à donner de la chaux. Les carrières de pierres calcaires sont en général formées de bancs placés les uns au-dessus des autres et séparés entre eux par des lits d'argile, qu'on appelle, en termes de carrières, *délits*.

Pierres gypseuses. Ces pierres ne font pas d'effervescence avec les acides; frappées avec l'acier, elles font jaillir l'étincelle; mais mises un certain temps en contact avec le feu, elles se réduisent en une espèce de chaux qu'on appelle plâtre.

Pierres scintillantes. Ces pierres sont ainsi appelées, parce qu'elles produisent des étincelles, battues avec l'acier. Les acides n'ont pas de prise sur elles; quelques-unes résistent au feu le plus violent, telles que les grès purs, les pierres à briquet ou meulières; les autres se vitrifient à un très-grand feu, comme les granits, les porphyres et les laves.

Grès. Cette pierre est formée de grains de sable quartzeux de différentes figures, liés ensemble à l'aide d'un ciment particulier. Elle se débite facilement au marteau en blocs cubiques, qui servent à paver les rues et les chaussées. Les grès se trouvent en masse ou rochers informes, mais le plus souvent on les rencontre par bancs compactes.

Plus le grès est dur, plus la qualité en est supérieure, et plus il est facile de le débiter en pavés.

Pierres meulières. Ces pierres prennent aussi la dénomination de pierres quartzzeuses, appelées aussi à briquet ou à fusil. On rencontre dans plusieurs contrées de ces sortes de pierres en morceaux assez gros pour être concassés pour les chaussées à la Macadam. On appelle vulgairement ces pierres de l'*alioste*; mais la dénomination de quartz leur convient mieux. Ces pierres s'emploient très-peu pour les bâtisses, à cause que le mortier ne grippe pas assez contre leurs surfaces, qui sont très-lisses et ne forment jamais liaison avec le mortier. La pierre meulière est composée de concrétions quartzzeuses dont le tissu est souvent criblé de trous. Cette pierre sert à faire les meules de moulin. C'est aussi de là qu'elle tire son nom. Elle fait feu au briquet. On la rencontre par bancs comme les rochers calcaires et par gros blocs isolés.

Sables. Le sable de rivière est toujours préférable au sable de mine, et le meilleur sable pour la fabrication et la qualité supérieure du mortier, est celui qui est le plus pesant et rude au toucher, et qui, précipité dans un vase rempli d'eau, ne laisse aucun dégagement de matières propres à teindre l'eau. On rencontre néanmoins dans les sables de mine d'excellents sables qui peuvent valoir ceux de rivière; mais il faut avoir soin de les soumettre à l'action du lavage avant l'emploi, afin de les dégager de toutes sortes de matières terreuses. Il arrive que quelquefois ils sont préférables à ceux de rivière; ce sont les arennes, les sables ocreux qui se trouvent répandus sur certaines contrées, et qui sont une sorte de pouzzolane naturelle, qu'ils peuvent au besoin remplacer avec quelque succès.

Chaux. La chaux, qui est l'élément principal du mortier, au rapport de Plin et de Vitruve, remonte à la plus haute antiquité, mais elle est le résultat du hasard. A la suite de l'embrasement d'un édifice, on remarqua qu'en jetant de l'eau pour éteindre l'incendie sur quelques-unes des pierres calcinées par la violence du feu, elles se dissolvaient en faisant effervescence. Le premier usage qu'on fit de cette matière fut d'en couvrir les enduits des palais.

Les pierres calcaires qui donnent les meilleures chaux sont généralement les plus dures, les plus pesantes, celles enfin dont le grain est fin et homogène et qui a la plus compacte texture : c'est pourquoi les cailloux calcaires et les marbres font d'excellente chaux. On trouve de la pierre à chaux dans presque toutes les contrées (consulter le résumé des mortiers de Vicat).

Les pierres à chaux sont divisées en plusieurs catégories, qu'on appelle chaux grasse, chaux moyennement hydraulique et chaux éminemment hydraulique. La première, après l'extinction et réduite en pâte, foisonne de 0^m,75 ou d'un mètre par mètre cube; la deuxième peut foisonner de 0^m,30 à 0^m,40, aussi par mètre cube; mais la chaux éminemment hydraulique, après l'extinction et réduite en pâte, ne foisonne pas et conserve toujours son volume primitif. La chaux hydraulique, mélangée avec du sable et de la pouzzolane, doit faire corps dans l'eau en très-peu de temps. La meilleure chaux hydraulique est celle qui durcit le plus vite dans l'eau (consulter le mémoire de Vicat sur les mortiers).

Chaux hydraulique artificielle. Vicat enseigne, dans son ouvrage que nous avons cité, le moyen de fabriquer cette chaux, qui consiste à mélanger ensemble deux parties de chaux grasse en pâte avec une d'argile aussi en pâte, et de fabriquer avec le mélange, parfaitement trituré, de petits pains en forme de prismes triangulaires, ayant 0^m,20 de longueur sur 0^m,07 de hauteur, de les exposer au soleil jusqu'à parfaite siccité, et de les mettre dans un four à chaux pour les faire cuire, comme si c'était de la pierre à chaux, et d'opérer de même pour la cuisson. On obtient le même résultat en remplaçant la chaux par de la craie. C'est ainsi qu'avec une partie d'argile de Vaugirard et deux parties de craie de Meudon, on obtient la chaux hydraulique artificielle de Meudon.

Extinction des chaux. Il y a deux moyens d'éteindre la chaux, l'un par immersion et l'autre par jet d'eau continu. Le premier consiste, au fur et à mesure qu'on décharge les fours, de mettre la chaux dans des paniers et plonger le tout dans l'eau, qu'on retire immédiatement. La chaux ainsi immergée est placée dans des magasins ou hangars disposés à cet effet. La chaux ainsi éteinte est réduite en poussière en

moins de vingt-quatre heures; mais toutes ces chaux, avant d'être employées dans les mortiers, doivent être passées dans un cylindre de 0^m,004 de maille, pour extraire toutes les parties de chaux dites paresseuses, et faute d'opérer ce criblage, voici ce qui arrive presque toujours dans les maçonneries. Des morceaux de chaux gros comme des noisettes, et même plus gros, ne se trouvent pas réduits en poussière et sont ainsi employés dans le mortier, où ils prennent une nouvelle humidité qui aide à leur extinction, qui n'avait pas eu lieu et qui n'aura évidemment lieu que plus d'un mois après l'emploi du mortier. Ce sont ces morceaux de chaux qu'on appelle chaux paresseuse; et leur emploi dans les maçonneries produit les plus grands désordres, en les soulevant et les écartant à droite et à gauche. Ces mouvements des maçonneries, qui se trouvent disloquées dans tous les sens et qu'on est obligé de démolir, sont produits par l'augmentation de volume que prennent ces globules de chaux paresseuse par leur extinction tardive dans les maçonneries.

Le deuxième moyen d'éteindre la chaux consiste à mettre de la chaux vive dans un bassin dont le fond et les parois sont recouverts de planches ou de briques, et d'y verser constamment de l'eau, en ayant soin que la chaux en soit également pénétrée et saturée; pour que la chaux conserve toutes ses qualités, il faut n'y ajouter que la quantité d'eau suffisante pour opérer l'extinction.

CHAPITRE VII.

EMPLOI DES PIERRES DANS LES CONSTRUCTIONS.

Maintenant que nous avons fait connaître les diverses natures de pierres et leurs propriétés, nous allons les examiner sous le rapport de leur emploi dans les constructions, et de leurs qualités propres aux grands travaux.

Les pierres, dans l'art de construire, se divisent en deux classes, les tendres et les dures. Les premières sont celles qui se débitent à la scie et à la trace avec une grande facilité, et les dernières s'exploitent à la trace ou à la mine, et se débitent à la scie avec frottement de sable mouillé. Nous ne nous occuperons que de celles-ci, c'est-à-dire des dures, parce que ce n'est guère que cette qualité qu'on emploie dans les édifices publics.

On doit éviter d'employer des pierres gélives dans toutes les constructions. On appelle pierres gélives celles qui, après une forte gelée, et pendant le dégel, s'exfolient et tombent par écailles, semblables aux éclats de pierre meulière qui tombent sous le marteau de l'ouvrier qui la travaille.

Par de fortes gelées, les pierres de meilleure qualité, qui ne sont pas encore dépourvues de leur eau de carrière, ou qui sont saturées d'une grande quantité d'eau de pluie, sont susceptibles de se geler, si on ne prend pas des précautions convenables dans les chantiers, en les recouvrant de paille et de terre. Ces pierres, au lieu de faire comme les premières, qui à la longue tombent en poussière, se fendent ou se délitent dans toute leur longueur parallèlement au lit

de carrière. Les belles pierres de Barsac, Rozan, Saint-Macaire, Langoiran, dans le département de la Gironde; Roquefond, dans le département de Lot-et-Garonne; et Céfonds, Bruniquel et Caylus, dans le département de Tarn-et-Garonne, se fendent et se délitent, si on n'a pas soin de les préserver en les recouvrant de paille et de terre. On reconnaît qu'une pierre est de bonne qualité lorsqu'elle résonne sous les coups de marteau et qu'elle rend un son éclatant; lorsqu'en la mouillant elle s'imprègne peu d'eau et que son grain est très-fin. Il est peu de pierres qui réunissent toutes ces qualités; c'est pourquoi les hommes de l'art doivent mettre leurs premiers soins à examiner avec la plus scrupuleuse sévérité les diverses natures de pierres dont on fait usage dans les pays où ils sont appelés à élever quelques grands édifices, afin de les employer chacune aux parties des constructions auxquelles elles sont le plus propres. En général, dans les pierres de même espèce, les plus dures et de meilleure qualité sont les plus pesantes. Cette règle n'est cependant pas sans exception.

**Instruction pratique pour essayer si les pierres sont gélives,
d'après le procédé de M. Brard.**

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 et l'aspect.

2° On fait tailler ou scier ces échantillons en cubes de 0^m,05 de côté, à vives arêtes, les morceaux simplement cassés pouvant être tressaillés ou étonnés par le choc, et pouvant offrir ainsi des détériorations fautives 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 la Chine, ou avec une pointe d'acier, et l'on conserve des notes exactes du lieu ou 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 Glober (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, $0^k,50$ de ce sel suffit pour saturer un litre d'eau 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 complètement.

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'outré-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 ainsi été suspendues, leurs surfaces couvertes de petites aiguilles blanches salines tout à fait pareilles 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 qu'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 point 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 s'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 arêtes vives; et enfin

l'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 ou 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 complètement 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 cinquième jour, comme nous l'avons prescrit ci-dessus.

40° 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 saura de suite celle qui sera la plus gélive des deux.

Enfin, si un cube de 150 centimètres carrés de surface a perdu 10 grammes, 1^m,50 carrés de surface ou 15,000 centimètres de la même pierre aurait perdu 4,000 grammes ou 4 kilogramme dans le même espace de temps.

CHAPITRE VIII.

DES MAÇONNERIES.

Mortiers et ciments

Le mortier est un amalgame de chaux et de sable qui a la propriété de durcir à l'air et dans l'eau, d'unir fortement les pierres et de faire corps avec elles ; mais il faut essentiellement, pour obtenir ce résultat, que les matières dont il est composé soient de bonne qualité, que les pierres qu'il est destiné à unir soient imprégnées d'eau avant son emploi et qu'elles soient pour ainsi dire noyées dans un bain de mortier, sans quoi on ne peut pas espérer de bonnes maçonneries de blocage ou de moellon ordinaire.

Le meilleur procédé pour la fabrication du mortier est le pilonnage et une partie de chaux pour deux de sable, avec le moins d'eau possible ; mais cette main-d'œuvre est très-coûteuse. Les mortiers confectionnés au gâchoir ne laissent rien à désirer tant que le mélange est fait avec le moins d'eau possible. En un mot, n'importe les moyens qu'on emploie pour confectionner les mortiers, les mélanges doivent être faits de telle manière qu'on ne puisse rencontrer dans le mortier aucun grain de sable qui ne soit imprégné de chaux, comme aussi on ne doit y voir aucun globule de chaux qui ne soit mélangé de sable. Et le moyen le plus certain de s'assurer que le mortier est dosé et massivé convenablement, c'est qu'il happe fortement à une pelle renversée qui s'en trouve chargée.

Dans les grands chantiers, on fabrique les mortiers à la mécanique. Les mélanges s'opèrent bien et on obtient une grande économie sur les frais de main-d'œuvre. Parmi toutes les machines employées à cette fabrication, le moulin à manège est le plus en usage. Il consiste en une cuve cylindrique, cubant environ 1 mètre cube, plus haute que large, parfaitement assujettie contre le sol par un système de charpente. Elle a une traverse en fer au-dessus et une crapaudine au-dessous pour recevoir un arbre qu'on nomme l'axe, armé de dix palettes en fer. Cet axe, ainsi assujetti, est surmonté dans le haut par un manège à deux bras de 4 mètres chacun, qui sont disposés pour recevoir un cheval attelé. Au bas de la cuve qui est établie sur un plancher, est ménagé un trou d'environ 30 centimètres de large sur 20 de hauteur, destiné à l'écoulement du mortier au fur et à mesure de sa fabrication (1).

Voici le moyen de se servir de cette machine. Pendant qu'on attelle le cheval au manège, on fait faire à la main une volée de mortier d'environ $\frac{1}{5}$ ou $\frac{1}{4}$ de mètre cube qu'on jette dans la cuve. On appelle cela allumer la machine. De plus on charge avec du sable et de la chaux la cuve dans toute sa hauteur en ayant soin d'arroser convenablement pour opérer le mélange, on ferme le récipient à mortier et on fait tourner le manège : après une douzaine de tours, on ouvre le récipient par lequel s'écoule constamment le mortier, et on continue la charge par le haut, de sable, de chaux et d'eau au fur et à mesure que la cuve vide le mortier par le bas, qui se trouve ainsi parfaitement confectionné.

On appelle ciment ordinaire la poudre de tuileau; mais nous la considérons comme de la pouzzolane artificielle. La pouzzolane naturelle se trouve dans les contrées voisines des volcans; mais Vicat nous a enseigné à en fabriquer d'artificielle avec un mélange de $\frac{4}{5}$ d'argile et $\frac{1}{5}$ de chaux, le tout en pâte, et de former des petits pains comme pour la chaux hydraulique artificielle; de les faire sécher et cuire comme la brique et de les réduire en poudre comme pour le ciment de tuileau : on obtient ainsi de la pouzzolane artifi-

(1) La planche 4 représente le plan, la coupe et l'élévation d'un manège à fabriquer le mortier.

cielle bien supérieure en qualité au ciment de tuileau. Le ciment de tuileau comme la pouzzolane s'emploie avec le plus grand avantage dans les fondations sous l'eau, ou qui doivent être dans une perpétuelle humidité : ces matières, mélangées avec les mortiers hydrauliques, ont la propriété d'absorber une grande partie de leur humidité et de leur faire ainsi une plus prompte liaison et acquérir une plus grande dureté.

On distingue encore les ciments naturels, parce qu'ils se trouvent à cet état dans certaines contrées privilégiées ; on les appelle ciments romains. Ces ciments, gâchés comme le plâtre et employés sans addition d'aucun autre corps étranger, produisent dans les constructions sous l'eau ou exposées au mauvais temps les effets les plus merveilleux : de ce nombre sont les ciments d'Angleterre et de Cahors, ces derniers récemment découverts par MM. les ingénieurs des ponts et chaussées de cette contrée.

Béton.

Le béton est une espèce de maçonnerie qu'on emploie dans les fondations sous l'eau, et qui consiste en un mélange de $\frac{2}{5}$ de mortier hydraulique avec $\frac{3}{5}$ de galets ou recoupures de pierrailles concassées de 0^m,03 à 0^m,04 de côté.

Aujourd'hui on emploie beaucoup de ces maçonneries dans toutes les fondations, et même dans les maçonneries ordinaires de remplissage : un jour viendra que ces maçonneries feront une grande révolution dans l'art de bâtir, et voici toute notre idée à cet égard.

Dans notre époque si féconde en découvertes heureuses, on voit encore les applications lentes à éclore pour faire jouir de suite de tous leurs bienfaits le siècle qui les voit naître. Aussi nous voyons de nos jours le savant ingénieur Vicat avoir reculé bien loin les limites de l'art de bâtir par son habile et profond résumé sur les mortiers et ciments, et les hommes de l'art ne tirent à mon sens qu'un très-faible avantage d'une si précieuse découverte, qui est destinée à faire une révolution complète dans l'architecture hydraulique.

Eh bien ! dans notre siècle de travaux publics, qui jette en une

année plus de ponts sur nos fleuves, creuse plus de canaux et perce plus de routes que nos devanciers en un demi-siècle, au moment où notre belle France va se trouver sillonnée de chemins de fer qui exigent les travaux d'art les plus considérables et les mouvements de terre les plus extraordinaires que l'imagination humaine ait jamais pu concevoir, dans le but de créer des communications qui sont destinées, par leurs conditions de viabilité, à élever les vallées à la hauteur des hautes plaines et à baisser les montagnes au niveau de celles-ci, il est impossible qu'au milieu de ce grand concours général de travaux qui occupent tant de savants aussi distingués par leurs ouvrages que par leur mérite, il ne jaillisse, par le choc de tant de lumières, un système économique de l'art de bâtir qui étonnera le monde par sa hardiesse de conception, par ses résultats de solidité et de durée et par la grande économie de temps et de dépenses qu'il présentera dans l'exécution.

Nous sommes loin de penser que nous avons trouvé ce système, mais nous croyons avoir une idée qui ne doit pas s'en écarter sensiblement, et qui pourra, avec le temps, servir de jalon aux hommes de l'art plus savants et plus éclairés que nous, pour résoudre le problème qui nous occupe; et la voici en raccourci : *Les bétons, mortiers et ciments hydrauliques de Vicat, jetés pour ainsi dire comme dans un moule, massifs et comprimés à une pression de 100 kilog. par 0^m,01 carré*, doivent donner de magnifiques ponts qui uniront à la beauté et à la solidité des grands ponts de pierre qui couronnent nos fleuves et embellissent nos cités, l'économie des ponts suspendus et la même célérité que ces derniers dans la construction. Ce seront des ponts moulés, et la perfection et la célérité du moulage sont passés en proverbe.

Déjà, dans les travaux hydrauliques, les maçonneries intérieures et de fondations sont de purs bétonnages tels que Vicat les a décrits; et quand ils sont de bonne qualité et bien massifs, on sait qu'ils acquièrent en peu de temps une dureté de 60 à 80 kilog. par 0^m,01 carré. Ce degré de dureté, qui va toujours en augmentant, est sans contredit subordonné au plus ou moins de pression qu'ils reçoivent dans leur emploi par la massivation.

On voit que, dans les constructions actuelles, la moitié du problème que je propose est résolue, et que, pour que la solution soit complète, il s'agit de remplacer la chemise de pierre de taille par une

continuation de bétonnage : c'est là qu'est toute la question, c'est là que sont toutes les difficultés pour faire admettre cette innovation.

Vicat dit (p. 64) : « Les nombreuses pièces que nous avons mou-
» lées, tant en bas-relief qu'en ronde bosse, prouvent, comme nous
» l'avons dit, que le mortier reçoit et conserve bien les empreintes.
» Ces pièces ont supporté sans le moindre accident les intempéries de
» plusieurs hivers ; leur dureté a toujours été en augmentant, et l'es-
» pèce de vernis dont le temps les a couvertes leur donne une telle
» ressemblance avec la pierre ordinaire, que l'œil le plus exercé s'y
» méprend. »

Ce principe de Vicat tendrait à faire des pierres artificielles pour remplacer les naturelles ; mais cet ingénieur signale un inconvénient : c'est la quantité considérable de moules qui deviendraient indispensables pour cet objet.

Dans mon système, j'évite cet inconvénient : je coule mon édifice comme dans un moule, par assises de 0^m,20 d'épaisseur ; je massive et je comprime à une pression de 400 kil. par 0^m,04 carré, en ayant soin d'entourer le gros béton d'une chemise de ciment ou mortier hydraulique de 10 à 15 centimètres d'épaisseur pour former les parements de l'édifice. Dans son savant ouvrage, Vicat a dérobé à la nature le secret de créer les rochers ; mais l'application telle que je la comprends n'en a pas encore été faite.

Ainsi, on voit que le système de construction que je propose découle de source certaine de l'ouvrage de Vicat, et qu'il est la conséquence toute naturelle de la théorie et des principes que ce savant ingénieur a posés et développés avec autant d'habileté que de savoir, avec cette légère différence que je coule des édifices d'une seule pièce comme une statue de bronze jetée dans un moule de terre, au lieu de m'amuser à mouler des pierres artificielles pour les ajuster ensuite et les poser les unes sur les autres.

Pour faire le fer et le bronze, l'homme a pris le minerai de fer et de cuivre dans les entrailles de la terre, les a jetés avec des matières combustibles dans un immense creuset, semblable au cratère d'un volcan, dont il a ouvert une conduite à la partie inférieure pour donner passage à la fonte de fer ou au bronze incandescent qui va se précipiter dans des moules de terre d'où naissent ces colosses d'airain qui remontent à la plus haute antiquité.

Jusqu'à nos jours, pour construire ces immenses édifices qui couronnent nos fleuves, qui décorent nos ports et embellissent nos cités, l'homme a taillé dans le roc d'immenses pierres, les a transportées à l'aide de machines à de longues distances, les a polies avec le fer, et a placé ces lourdes masses à des hauteurs prodigieuses.

A l'avenir, pour créer de ces gigantesques monuments, il construira un immense moule en charpente qu'il remplira d'un amalgame de petits cailloux ou galets, de chaux hydraulique et de sable, matières répandues à profusion sur toute la superficie de notre belle France; en sorte qu'à une époque peu reculée de nous, le plus petit hameau, comme la grande cité, pourra voir s'élever son monument à cause de la modicité des prix de ces nouvelles constructions, et la facilité qu'on aura de les exécuter.

Ces sortes de constructions reviendront au système des temps primitifs : les murs en pisé, constructions en terre qu'on voit encore dans le midi de la France.

Ces maçonneries seront incontestablement d'une solidité et d'une durée plus que séculaire, car il n'est pas un homme de l'art qui n'ait fait la remarque que, dans la démolition des édifices antiques, on rencontre souvent que les mortiers ont acquis plus de dureté et de solidité que les matériaux qu'ils étaient destinés à relier ensemble.

Je le répète, dans son savant ouvrage, Vicat a dérobé à la nature le secret de créer des rochers; l'application de cette précieuse découverte n'a pas encore été faite; et peut-être même aucun essai n'en a été tenté. Eh bien! c'est à notre glorieuse République qu'il appartient d'expérimenter en grand ce nouveau système de construction qui assure de si grandes économies dans la dépense.

Je communiquai, il y a environ six mois, cet article à un ingénieur des ponts et chaussées; il me fit l'observation qu'un architecte distingué avait fait exécuter, sur une petite rivière, dans le département de Tarn-et-Garonne, un pont d'une certaine ouverture entièrement en béton. J'étais dans l'ignorance complète de ce fait lorsque je conçus cette idée, et je vois avec plaisir qu'un autre m'ait devancé dans cette voie, ce qui justifierait l'avantage de ce système.

Tout en conservant mon article, je laisse la priorité à l'habile architecte qui le premier a eu l'idée de faire cet essai d'un pont entièrement en béton, et je fais des vœux pour que l'administration supé-

rière des ponts et chaussées fasse des expériences pour s'assurer si de pareilles constructions à celles que je propose, ne seraient pas praticables, économiques et avantageuses.

Maçonnerie de brique.

La maçonnerie de brique est très-ancienne; elle a dû prendre naissance dans les contrées privées de tous les autres matériaux propres aux constructions. On emploie beaucoup ce genre de maçonneries dans le midi de la France, comme à Moissac, Montauban et Toulouse, où la pierre de taille de Caylus, Bruniquel, Cérons et autres lieux, coûte plus de 100 francs le mètre cube brut. Toutes les constructions importantes de ce pays sont en maçonnerie de brique, avec encadrement des angles en pierre de taille de grand appareil. Ces sortes de constructions réunissent à une solidité remarquable une certaine élégance qui ne manque pas de goût et de beauté.

On distingue trois qualités de briques qui ont toutes les mêmes dimensions, savoir : 0^m,40 de longueur, 0^m,25 de largeur, et 0^m,05 d'épaisseur. La première qualité est la brique biscuite marseillaise; la deuxième, biscuite du pays, et la troisième qualité, dite roujette, de cuisson ordinaire.

La première qualité se vend, rendue sur les chantiers, 100 francs le millier; la deuxième 90 fr., et la troisième 70 fr. Ces prix peuvent varier suivant que les travaux sont plus ou moins en activité.

Maçonneries de pierre de taille, de moëllon piqué et de moëllon ordinaire, ou idée générale sur les maçonneries, et motifs pour n'adopter désormais qu'un seul genre de maçonnerie : celui de moëllon ordinaire.

L'art de bâtir consiste dans une heureuse application des sciences exactes aux propriétés de la matière. La construction devient un art, lorsque les connaissances de la théorie réunies à celles de la pratique, président également à toutes ses opérations; et d'un autre côté, Vicat

nous a démontré par ses nombreuses expériences, que les mortiers éminemment hydrauliques acquièrent en peu de temps la dureté de la pierre.

Ces principes posés, nous allons examiner les divers genres de maçonneries depuis les temps les plus reculés jusqu'à nos jours.

En remontant dans l'histoire de l'architecture ancienne, à cette époque si éloignée de nous, où la chaux et le ciment n'étaient pas encore connus pour joindre les pierres ensemble, on conçoit que le génie inventif de l'homme ait cherché à placer l'une sur l'autre de lourdes masses pour former ces grands édifices qui étonnent encore le monde : je veux parler des pyramides d'Égypte, dont la construction, au rapport de Pline, remonte à plus de quarante siècles. L'architecture grecque de cette époque était comme celle des Égyptiens.

Cette construction est l'origine du grand appareil dont la solidité ne pouvait résider que dans une certaine massivité de blocs superposés, sans adhérence d'aucun ciment pour les unir ensemble.

Plus tard, lorsque la chaux et les ciments furent découverts, l'art de bâtir éprouva une véritable révolution, et principalement chez les Romains, qui, au rapport de Pline, furent les premiers qui firent usage du mortier et du ciment dans leurs édifices, pour unir ensemble les matériaux de petit appareil qu'ils commencèrent à employer, au lieu de ces lourdes pierres qui devaient nécessairement augmenter considérablement les prix de main-d'œuvre, à cause des difficultés qu'elles présentaient à chaque instant pour les remuer, les transporter et les mettre en place. On ne se servit plus, dans tout l'empire romain, que de pierres maniables de forme oblongue qu'on unissait ensemble au moyen de mortier, et on avait soin de choisir, pour mettre en parement vu, les échantillons de meilleure qualité, qu'on équarrissait légèrement et qu'on posait sur bain de mortier. Ce système de bâtir, dont on remarque encore d'imposantes ruines dans tout le midi de la France, réunissait à une grande solidité une durée plus que séculaire et une économie extraordinaire sur la maçonnerie de grand appareil.

Il ne serait pas mal que ce système de maçonnerie fût employé de nos jours, au milieu de ce grand concours de travaux publics, pour des motifs d'économie, d'utilité et de convenance, et voici notre pensée à ce sujet.

En général, dans tous les travaux des ponts et chaussées, on distingue quatre espèces de maçonneries, sans compter celle de béton, dont nous avons parlé assez longuement dans l'article qui lui est propre, sans qu'il soit nécessaire de nous en occuper ici.

Le prix moyen de la pierre de taille mise en place, taille non comprise, est de 60 fr. le mètre cube, ci. . . 60 00

Un mètre cube de pierre de taille donne 3 mètres superficiels de parement taillé, à 5 fr., ci. . . . 45 00

Le prix du moellon piqué mis en place, taille non comprise, est de 30 fr. le mètre cube, ci. . . 30 00

Un mètre cube de moellon piqué donne 3 mètres superficiels, à 3 fr. 50, ci. 10 50

Le prix moyen d'un mètre cube de moellon esmilié, mis en place, esmiliage compris, est de. 28 00

Le prix moyen du mètre cube de maçonnerie de moellon ordinaire est de. 40 00

On sait que les bons mortiers hydrauliques acquièrent en peu de temps un degré de dureté presque égal aux pierres qu'ils sont destinés à unir ensemble, et souvent on a remarqué dans la démolition de constructions récemment faites, que les pierres se brisaient plutôt que de se détacher du mortier.

Eh bien? que pour la construction même d'un grand édifice, tel que grand pont ou viaduc, on fit exploiter dans les carrières, de pierre dure bien entendu, rien que du moellon ordinaire, qu'on fit un choix de celui de meilleure qualité et du plus fort échantillon, qui serait grossièrement équarri et dressé à la pointe pour être employé en parement vu, et on payerait pour cette main-d'œuvre 75 centimes par mètre superficiel. On aurait soin que les angles et autres parties saillantes des édifices construits de cette manière, fussent arrondis et terminés en quart de rond. Il ne serait même pas mal que cette mesure fût appliquée à toute espèce de maçonnerie, parce qu'il est à remarquer que dans tous les édifices antiques les angles sont toujours les parties qui résistent le moins aux injures du temps.

En examinant au fond le système actuel des maçonneries, tout esprit éclairé dans l'art de bâtir reconnaîtra que les maçonneries de pierre de taille et de moellon piqué, par la grande disproportion de

leur prix avec celui de la maçonnerie ordinaire, sont encore une erreur de notre siècle, et qu'on devrait n'adopter pour toutes les constructions que la maçonnerie de moellon ordinaire, telle que nous venons de la décrire. Par ce système de construction, l'État obtiendrait d'immenses économies sur les grands travaux qu'il fait exécuter, sans compromettre en rien ni leur solidité, ni leur durée, et de plus tous les ouvrages s'exécuteraient avec plus de promptitude, parce que les constructeurs se trouveraient délivrés des sujétions sans nombre qu'exigent l'extraction, la taille et la pose de la pierre de taille. Il est des cas néanmoins où l'emploi de la pierre de taille est d'une absolue nécessité, et pour ces cas rares nous n'entendons pas la prohiber, mais c'est au constructeur prudent et habile à savoir les distinguer pour ne placer que la pierre de taille absolument nécessaire, afin de concilier l'économie des deniers publics qu'il doit toujours avoir en vue, avec la solidité, la durée et le bon goût du monument qu'il veut élever.

Ce système de construction, je le répète, se retrouve dans les anciennes constructions romaines, et il est à regretter que les ingénieurs aient totalement abandonné depuis longtemps ce genre de bâtir, qui est aussi simple qu'économique, et dont tout le mérite consisterait dans l'emploi de la meilleure chaux possible avec le sable de rivière le plus pur.

A l'appui de ce système de bâtir, je citerai les trois arches en plein cintre et de plus de 20 mètres d'ouverture, construites depuis peu dans la traverse de la ville de la Réole, département de la Gironde, entièrement en moellon ordinaire, et dont les échantillons mis en parement vu ont été équarris à la pointe.

Le prix moyen d'extraction du mètre cube de moellon ordinaire est de 4 fr. 75 c., tandis que celui de la pierre de taille est de 30 fr., et les prix des transports, bardages et autres mains-d'œuvre accessoires sont toujours, pour le moellon, la moitié de ceux de la pierre de taille.

Comme dans tous les ouvrages de maçonnerie tout n'est que main-d'œuvre, on concevra parfaitement qu'un édifice construit en maçonnerie de moellon ordinaire sera plus promptement terminé que son pareil en pierre de taille et moellon piqué, et que le premier, pourvu qu'on ait employé la première qualité de chaux, donnera d'immenses

économies sur le dernier, tout en assurant une pareille solidité et la même garantie de durée pour les siècles à venir.

Les antiquités romaines sont un témoignage éclatant en faveur du système de maçonneries que je propose, et elles semblent encore demeurées debout pour démontrer que ce genre de construction, qui se distingue par un principe d'économie au-dessus de tout éloge, résistera aussi bien aux injures du temps que les plus belles constructions en pierre de taille. Maintenant pourquoi n'adopterait-on pas ce système de construction? Du moins on devrait l'admettre en remplacement de la maçonnerie de moellon piqué, qui n'est autre chose qu'un système transitoire entre la pierre de taille et la maçonnerie de moellon ordinaire de parement vu.

A cette époque difficile, où les finances de l'État sont obérées pour permettre de continuer les travaux publics qui sont le pain du travailleur, sur le pied que le gouvernement déchu les avait établis, je recommande spécialement les maçonneries de béton et de moellon ordinaire, qui font l'objet de ce chapitre, à l'examen sérieux et consciencieux des hommes éclairés et familiarisés avec l'art de bâtir, et ils trouveront, je l'espère, de grandes économies à réaliser.

CHAPITRE IX.

DE LA PROPRIÉTÉ DES MATÉRIAUX, DE LEUR PESANTEUR SPÉCIFIQUE, DE LEUR POIDS ET DE LEUR RÉSISTANCE APPLIQUÉE AUX CONSTRUCTIONS.

Des bois.

Le commencement de l'automne jusqu'à la fin de l'hiver est l'époque la plus favorable pour la coupe des bois destinés aux bâtiments. Au printemps tous les arbres sont en travail, et l'humidité de la dernière saison qui les a pénétrés jusqu'au cœur les dilate et enlève à la fibre toute sa fermeté.

Le pin, le sapin et le chêne sont les seuls bois, en général, qui soient employés dans les constructions; on y emploie rarement le peuplier. Les bois doivent toujours être bien sains, sans nœuds vicieux ni échauffés, surtout les bois de pin et de sapin. On connaît ces vices à la seule inspection des bois: en général les bois sont comme la pierre: essence par essence, les plus lourds sont toujours les meilleurs.

Dans les bâtiments on doit toujours employer le chêne de préférence à tout autre bois. Pour le rendre d'une qualité supérieure il convient, immédiatement après l'abatage, d'équarrir les pièces et de les tenir submergées dans l'eau au moins pendant six mois.

Pour de plus amples détails sur les bois, consulter les ouvrages de Rondelet et voir le tableau qui suit:

Tableau contenant les hauteurs moyennes auxquelles peuvent s'élever plusieurs espèces d'arbres, celle de leur tronc; la pesanteur spécifique de leur bois et celle du mètre cube.

NOMS DES ARBRES.	HAUTEUR MOYENNE		DIAMÈTRE des troncs.	PESANTEUR spécifique.	POIDS du mètre cube.
	des arbres.	des troncs.			
	m. c.	m. c.	m. c.	kilog.	k.
Abricotier.	9.00	4.00	0.27	789	750.00
Acacia à trois épines ou févier.	12.00	6.00	0.49	676	675.00
Alizier commun.	24.00	13.00	0.72	879	830.25
Allier.	20.00	12.00	0.60	739	688.50
Amandier.	12.00	7.00	0.36	1102	1039.50
Arbre de Judée.	10.00	6.00	0.32	686	648.00
Aune commun.	25.00	14.00	0.75	655	621.00
Bois de Sainte-Lucie.	9.00	5.00	0.27	865	810.00
Bouleau commun.	27.00	15.00	0.81	702	661.50
Buis de Mahon.	9.00	5.00	0.27	919	864.00
Catalpa.	14.00	8.00	0.42	467	432.00
Cèdre du Liban.	30.00	16.00	1.00	603	567.00
Charme commun.	18.00	10.00	0.54	760	715.50
Châtaignier.	24.00	14.00	0.72	685	648.00
Chêne commun.	27.00	14.00	0.81	905	837.00
Chêne blanc du Canada.	30.00	18.00	0.90	842	796.50
Chêne de Bourgogne.	25.00	14.00	0.75	764	715.50
Chêne rouge de Virginie.	27.00	15.00	0.81	587	553.50
Chêne vert.	21.00	12.00	0.63	994	931.50
Cormier ordinaire.	15.00	8.00	0.45	911	830.25
Cyprés-pyramidal.	24.00	12.00	0.72	655	621.00
Cyprés étalé.	20.00	11.00	0.60	572	540.00
Ébénier des Alpes.	10.00	6.00	0.30	1054	985.50
Érable de Virginie.	24.00	12.00	0.72	629	594.00
Érable jaspé.	12.00	7.00	0.36	554	513.00
Faux acacia.	20.00	10.00	0.60	791	741.50
Févier sans épine.	18.00	9.00	0.54	780	729.00
Frêne.	20.00	12.00	0.60	787	741.50
Hêtre.	24.00	14.00	0.72	720	675.00
If.	9.00	5.00	0.27	778	729.00
Marronnier.	24.00	14.00	0.92	657	621.00
Mélèze.	25.00	15.00	0.90	656	621.00
Noyer.	18.00	9.00	0.92	680	634.50
Noyer d'Amérique.	20.00	10.00	0.96	735	688.50
Orme.	24.00	14.00	0.80	738	688.50
Peuplier d'Italie.	25.00	15.00	0.81	415	461.50
Pin du Nord.	27.00	15.00	0.87	612	580.50
Plane.	25.00	14.00	0.75	622	587.25
Platane d'Orient.	27.00	14.00	0.96	538	499.50
Platane d'Occident.	25.00	13.00	0.90	704	661.50
Poirier sauvage.	12.00	6.00	0.36	715	675.00
Pommier sauvage.	9.00	5.00	0.33	735	688.50
Prunier sauvage.	12.00	5.00	0.30	762	717.50
Sapin.	38.00	18.00	1.20	542	513.00
Saule.	20.00	9.00	0.30	462	432.00
Sycomore.	22.00	10.00	0.72	645	607.50
Sorbier.	18.00	6.00	0.42	742	702.00
Tilleul.	20.00	10.00	0.66	564	526.50
Tulpier.	20.00	10.00	0.70	477	445.50
Thuya de la Chine.	18.00	10.00	0.56	560	526.50
Vernis du Japon.	10.00	6.00	0.36	820	769.50

De la pesanteur spécifique des matières.

La pesanteur spécifique d'une matière est le rapport de son poids avec un pareil volume d'eau qu'on suppose de 1000 kilog. Cela posé, le poids d'un décimètre cube d'eau étant d'un kilog., le poids d'un pareil volume d'une matière quelconque indiquera aussi la pesanteur spécifique en kilogrammes.

On obtient la pesanteur spécifique d'une matière, ou celle d'un mètre ou d'un décimètre cube, sans être obligé de lui donner cette forme, en pesant cette matière dans l'air et dans l'eau, et faisant la proportion suivante : La quantité de poids que cette matière perd dans l'eau est à 1000, comme son poids dans l'air est à la pesanteur spécifique.

Voici une seconde définition à ce sujet : La pesanteur spécifique d'une matière quelconque est son propre poids, moins le poids de son volume réduit en eau, d'après ce principe incontestable que tout corps pèse dans l'eau tout son poids, moins le poids du volume d'eau qu'il déplace.

Par exemple : soit un morceau de pierre d'une forme quelconque qui pèse dans l'air 20 kilog. et dans l'eau 15 kilog. : le décimètre cube d'eau pesant 1 kilog. ou 1000 grammes et le morceau de pierre perdant 5 kilog., il cubera 5 décimètres cubes, et son poids spécifique par décimètre cube sera de 3 kilog. ou 3000 grammes. C'est d'après ces bases qu'a été dressée la table qui suit :

Table dans laquelle on indique la pesanteur spécifique, le poids du mètre cube réel et la force de plusieurs espèces de pierres propres à bâtir, des terres et sables, des chaux, plâtre, ciments, pouzzolane et briques.

NATURE DES MATERIAUX.	PESANTEUR spécifique et poids en kilogr. d'un mètre cube de pierre.	POIDS réel en kilogram du même mètre cube de pierre.	POIDS en kilogram pour écraser un cube de 25 centim. de superficie de base.
<i>Pierres.</i>			
	k. c.	k. c.	k.
Pierre du Mans dite roussarde.	2643.80	3643.80	6852
Lave du Vésuve.	2641.70	3641.70	15881
Pierre grise { de Florence.	2557.50	3557.50	10566
{ de Milan.	2552.20	3552.20	11557
{ de Passy.	2462.70	3462.70	6750
Cliquart de Meudon.	2439.00	3439.00	8982
Pierre de Compiègne de la carrière du Roi.	2323.00	3323.00	6967
Roche de la chaussée Saint-Germain.	2355.00	3355.00	2879
Pierre de Fécamp, près Saint-Denis.	2341.40	3341.40	3627
Roche rousse de Saint-Cloud.	2308.10	3308.10	4549
Roche d'Arcueil.	2303.90	3303.90	6334
Roche dure de Châtillon.	2294.80	3294.80	4347
{ de Saint-Maur.	2160.20	3160.20	13020
{ de la plaine d'Ivry.	2118.00	3118.00	9620
Pierre { de Senlis.	2113.80	3113.80	9520
{ de Charenton.	1968.90	2968.90	8560
{ à plâtre de Montmartre.	1918.05	2918.05	4340
Granit vert des Vosges.	2854.00	3854.00	37044
Granit gris de fer de la Corrèze.	2860.00	3860.00	38536
Pierre calcaire { du départ. de Lot-et-Garonne, Roquefond.	2576.00	3576.00	12750
{ du départ. de la Gironde, Saint-Macaire.	2467.00	3467.00	11540
{ du départ. du Gers, Condom, sur la Baise.	2576.00	3576.00	12750
{ du départ. de Tarn-et-Garonne.	2489.00	3489.00	10345
<i>Terre et sable.</i>			
Terre { végétale.	400.00	1400.00	»
{ argileuse.	600.00	1600.00	»
{ glaise.	900.00	1900.00	»
{ forte graveleuse.	700.00	1700.00	»
Vase.	700.00	1700.00	»
Argile et glaise.	800.00	1800.00	»
Terre mêlée de petites pierres.	1000.00	2000.00	»
Terre grasse mêlée de cailloux.	1300.00	2300.00	»
Terre ou sable de Bruyère.	600.00	1600.00	»
Sable { fin sec.	500.00	1500.00	»
{ fin humide.	900.00	1900.00	»
{ fossile argileux.	800.00	1800.00	»
{ de rivière.	900.00	1000.00	»
<i>Chaux, plâtre, ciments et briques.</i>			
Chaux grasse vive sortant du four.	»	900.00	»
Chaux grasse éteinte en pâte.	400.00	1400.00	»
Chaux hydraulique en poudre.	»	700.00	»
Plâtre { sec en poudre.	300.00	1300.00	»
{ gâché sec.	500.00	1500.00	»
{ gâché humide.	650.00	1650.00	»
Ciment de terre cuit.	250.00	1250.00	»
Ciment du Lot (Cahors).	250.00	1250.00	»
Pouzzolane d'Italie.	250.00	1250.00	»
Briques à bâtir très-cuites.	800.00	1800.00	»
Tuiles creuses et à crochet pour couverture de faîtage.	700.00	1700.00	»
Maçonnerie de moellon ordinaire.	1000.00	2000.00	»

Tableau de la pesanteur spécifique des métaux.

NATURE DES MÉTAUX.	POIDS DU MÈTRE CUBE		NATURE DES MÉTAUX.	POIDS DU MÈTRE CUBE	
	réel.	spécifique.		réel.	spécifique.
	k.	k.		k.	k.
Platine..	21000.00	20000.00	Cuivre jaune..	8544.00	7544.00
Or..	19230.00	18230.00	Acier..	7840.00	6840.00
Mercure..	13560.00	12560.00	Fer forgé.	7788.00	6788.00
Plomb..	11350.00	10350.00	Étain..	7291.00	6291.00
Argent..	10510.00	9510.00	Fer fondu..	7208.00	6208.00
Cuivre rouge..	8878.00	7878.00	Zinc fondu..	6861.00	5861.00

N. B. 40000 millimètres carrés égalent 4 décimètre carré; 4000 millimètres 40 centimètres — 400 millimètres 4 centimètre.

4 mètre cube égale 4000000 de centimètres cubes; dès lors, pour obtenir le poids d'un centimètre cube de chaque espèce de métal, il faut diviser le poids du mètre cube par 4000000, et on aura pour :

1 centimètre cube de platine. . . .	k. g. m.	0.021.000	1 centimètre cube de cuivre jaune.	k. g. m.	0.008.544
1 <i>id.</i> or.		0.019.230	1 <i>id.</i> acier.		0.007.840
1 <i>id.</i> mercure. . . .		0.013.560	1 <i>id.</i> fer forgé. . . .		0.007.788
1 <i>id.</i> plomb.		0.011.350	1 <i>id.</i> étain.		0.007.291
1 <i>id.</i> argent.		0.010.510	1 <i>id.</i> fer fondu. . . .		0.007.208
1 <i>id.</i> cuivre rouge.		0.008.878	1 <i>id.</i> zinc fondu. . .		0.006.841

Le gramme est le poids de 0^m,01 cube d'eau distillée. Pour obtenir le poids d'un lingot ou barre d'un métal quelconque, il suffira de faire le cube en centimètres cubes du lingot ou de la barre, et de le multiplier par le poids d'un centimètre cube qui correspond au métal dont on veut connaître le poids.

Soit donné pour exemple une barre de fer fondu de 4 mètres de longueur, de 0^m,05 d'épaisseur et de 0^m,08 de largeur. J'écris :

$$4^m,00 \text{ ou } 400^c \times 5 \times 8 = 16000^c \times 0,007^s 208^m = 115^k,228^g.$$

*De la résistance des bois appliquée aux constructions.***Résistance du bois de bout.**

Toutes les expériences ont démontré qu'un poteau de chêne ou de sapin, dont la hauteur est de huit à dix fois le diamètre de la base, supporte de 5 à 7 kilog. par millimètre carré avant de s'écraser sous le fardeau dont il est chargé, et que lorsque cette limite de hauteur est plus grande par rapport à la base le poteau plie avant de rompre : ce qui démontre qu'un poteau ne devrait jamais avoir en hauteur plus de dix fois la largeur ou le diamètre de sa base.

Cela posé, nous prendrons 6 kilog. par millimètre carré pour la résistance absolue de la force du bois de bout, et en ne conservant dans l'application que les $\frac{5}{6}$ de cette force absolue soit 5 kilog. par millimètre carré (*a*), on trouve qu'un poteau de 10000 millimètres carrés ou de dix centimètres de côté pourrait soutenir 50000 kilog.

Mais comme il se rencontre une foule de circonstances qui doublent, triplent et décuplent même l'effort d'un poids ou d'une charge, il est prudent de ne compter la force d'un poteau, dont la hauteur est dix fois le diamètre de la base, que pour le $\frac{1}{10}$ ou 500 grammes par millimètre carré, ce qui réduit à 5000 kilog. la charge à supporter par un poteau de 10000 millimètres superficiels de base.

Dans les constructions les charges sont bien moins considérables, parce qu'il ne suffit pas qu'un poteau ait une superficie de base proportionnée à la charge qu'il a à soutenir, il faut qu'il ait une stabilité en rapport avec sa position, et qu'il s'harmonise avec les règles de l'art de bâtir qui prescrit que les colonnes auront pour hauteur entre sept et dix fois le diamètre de leur base.

Résistance du bois tiré par les deux bouts.

Il résulte des expériences faites par les constructeurs anciens et modernes sur la force des bois de chêne et de sapin tirés par les deux

bouts, que leur résistance absolue est de 11 à 13 kilog. par millimètre carré, soit en moyenne 12 kilog. (*b*).

Dans les constructions les bois agissent tantôt par leur force absolue et tantôt par leur force relative. On entend par force absolue, l'effort qu'il faut pour rompre une pièce de bois en la tirant par les deux bouts, suivant la longueur de ses fibres.

La force relative du bois dépend de la position qu'il occupe : ainsi une pièce de bois placée horizontalement, ayant ses extrémités sur deux appuis se rompt plus facilement et sous un plus petit effort que si elle se trouvait inclinée ou d'aplomb. On a constaté que l'effort nécessaire pour la rompre est d'autant moins grand qu'elle se trouve plus longue par rapport à sa grosseur, et cet effort décroît à peu près en raison inverse de la longueur, lorsque les grosseurs sont égales. Par exemple, une pièce de 25 centimètres d'équarrissage et de 3 mètres de longueur, placée horizontalement, porte un peu plus du double d'une autre de même grosseur sur 6 mètres de longueur posée de la même manière.

Résistance du bois posé horizontalement sur deux appuis.

Les mêmes expériences démontrent aussi que pour obtenir la force relative d'une pièce de bois placée horizontalement, qu'il suffit de multiplier la surface de la grosseur de la pièce par la moitié de la résistance absolue (*b*), et de diviser le produit par le nombre de fois que son épaisseur verticale est contenue dans la longueur.

Soit donné, par exemple, pour l'application de cette formule une pièce de bois de 0^m,25 sur 0^m,25 d'équarrissage, de 4 mètres de longueur entre les appuis ; dans cette proposition, on voit que l'épaisseur est contenue 16 fois dans la longueur.

Désignant la moitié de la force absolue par $a=6$ kilog.

Id. la superficie de la section de la pièce par $s=0,062,500^{\text{mm}}$.

Id. le rapport de la longueur à l'épaisseur par $r=16$.

La formule est $\frac{as}{r}=x$; substituant $\frac{6 \times 62500}{16} = 23437^{\text{k}},50$.

Il est d'usage pour que les pièces de bois puissent résister avec la solidité convenable à tous les efforts qu'elles peuvent avoir à soutenir, que leur charge soit de beaucoup moindre que le poids capable de les faire rompre. Dans la pratique, on a adopté le $\frac{1}{10}$ de la charge qui occasionne la rupture. D'après ce principe, au lieu de 23437^k,50, on n'aura égard qu'au $\frac{1}{10}$ de cette somme pour la charge permanente, soit 2343^k,75.

LONGUEUR des pièces.	ÉQUARRISSAGE de 0 ^m .250 sur toutes faces.	RAPPORT de la grosseur verticale à la longueur.	POIDS pour rompre la pièce d'après le poids absolu.	LONGUEUR des pièces. Section 1.	ÉQUARRISSAGE de 0 ^m .350 sur toutes faces.	RAPPORT de la grosseur verticale à la longueur.	POIDS pour rompre la pièce d'après le poids absolu.	OBSERVATIONS.	
m.	mm.		k. c.	m.	mm.		k. c.		
4	62500	16.00	23437.50	6	122500	17.14	42883.49	La charge est supposée au milieu des solives. Dans l'application on ne devra prendre que le $\frac{1}{10}$ de la force absolue pour avoir la force permanente dans la construction des ouvrages de charpente.	
5	<i>id.</i>	20.00	18750.00	7	<i>id.</i>	20.00	36750.00		
6	<i>id.</i>	24.00	15625.00	8	<i>id.</i>	23.14	31694.05		
7	<i>id.</i>	28.00	12678.57	9	<i>id.</i>	26.20	28053.43		
8	<i>id.</i>	32.00	11718.75	10	<i>id.</i>	29.25	25142.26		
10	<i>id.</i>	40.00	9375.00	12	<i>id.</i>	35.35	20792.08		
	m. m. (0.300 × 0.300)				m. m. (0.400 × 0.400)				
4	90000	13.33	40510.13	8	160000	20.00	48000.00		
5	<i>id.</i>	16.66	32957.54	9	<i>id.</i>	22.50	42653.33		
6	<i>id.</i>	20.00	27000.00	10	<i>id.</i>	25.00	38400.00		
7	<i>id.</i>	23.33	23133.73	11	<i>id.</i>	27.50	34909.09		
8	<i>id.</i>	26.66	20292.58	12	<i>id.</i>	30.00	32000.00		
10	<i>id.</i>	33.33	16201.62	14	<i>id.</i>	35.00	27428.57		

Force des bois placés obliquement.

La force des bois placés obliquement procède de la double position du bois de bout et du bois horizontal: aussi plus l'obliquité se rapproche de la perpendiculaire, plus la force est considérable, tandis que plus elle s'en éloigne pour coïncider avec l'horizontale, plus elle s'amointrit.

Ce principe posé, la force d'une pièce de bois placée obliquement est donnée par la surface de sa section transversale, multipliée par la moitié de la force absolue (*b*) (6 kilog.), et ce produit divisé par le nombre de fois que l'épaisseur de la pièce est contenue dans la projection horizontale *cd* de son obliquité *ab* (fig. 1, Pl. 6.).

De la force des fers et de leur résistance.

Bon nombre d'auteurs célèbres ont traité cette question, et toutes leurs recherches expérimentales ont eu pour objet de déterminer la force nécessaire pour rompre une pièce de fer située dans les positions suivantes :

1° Tirée par les deux bouts, soit 48 kilog. par millimètre carré.

2° Debout sous la pression, soit 55 *id.* *id.*

3° Horizontale entre deux appuis $\frac{55^k \times s}{r}$ (*s* indique la section et *r* le rapport).

4° Oblique entre deux appuis, même formule, mais le rapport de l'épaisseur à la projection (*fig. 4, Pl. 6.*).

Nous avons pris les chiffres qui précèdent comme les plus exacts et les plus certains d'une foule d'expériences dont les résultats différaient considérablement entre eux en raison de la variété de qualité de la matière première comme de la meilleure fabrication des barres soumises à l'épreuve. Les fers qui n'ont pas de nerfs ou excessivement peu, tirés aux deux extrémités, présentent une force absolue de 27 kilog. par millimètre carré, tandis que les fers nerfs, de bonne qualité, présentent une résistance absolue comprise entre 46 et 52 kilog. et en moyenne 48 kilog.

Il est à remarquer aussi que la résistance des fers varie suivant le rapport de leur périmètre avec leur section transversale, et on obtient la résistance de chaque grosseur de fers par millimètre carré, en faisant la somme du périmètre avec la section, multipliée par 27 kilog., qui est la résistance des fers tout grains.

Désignant par *p* le périmètre, par *s* la section et par *a* la force absolue du fer tout grains, et enfin par *x* la résistance : cette formule sera $p + s \times a = x$.

Résistance des fontes de fer.

1° Fonte de 2° fusion tirée par les deux bouts, 24 kilog. par millimètre carré.

2° Debout sous la pression, 30 kilog. par millimètre carré.

3° Horizontalement entre deux appuis (*b. p. 78.*) $\frac{30^k \times s}{r}$ (*s* indique la section et *r* le rapport de la grosseur à la longueur).

Formules pour cuber les bois cylindriques et coniques.

Le cubage des bois cylindriques ou ronds est d'un usage très-fréquent, et il ne sera pas déplacé d'en dire un mot en passant, d'autant plus que son application est journalière pour cuber les pilots qui entrent dans la confection des tunages ou dans toute autre construction.

On mesure la longueur et le diamètre de chaque piquet qui reçoit un numéro d'ordre, et on inscrit à côté, dans une colonne à cet effet, la longueur, et dans une autre colonne le diamètre moyen.

On sait que la mesure du cercle est la circonférence multipliée par la moitié du rayon, ou bien le rapport de la circonférence multiplié par le carré du rayon; on sait aussi que le rapport de la circonférence au diamètre est de 3^m,1416.

Ces principes posés, pour faire le cube d'un piquet quelconque, il faut multiplier 3^m,1416 par le diamètre moyen du piquet; ce premier produit donne la circonférence qui doit être multipliée par le 1/4 du diamètre moyen, et ce dernier produit, que nous appelons section de tous les bois ronds et coniques de même diamètre, multiplié par la longueur du piquet, sera le cube demandé.

Pour être plus précis, servons-nous du langage algébrique.

1° désignons par P le rapport de la circonférence au diamètre 3^m,1416;

2° *id.* D le diamètre du piquet à cuber représentant 0^m,25;

3° Désignons par L la longueur du piquet, 5 mètres.

4° *id.* x le cube.

Faisant l'opération nous aurons $P \times D \times \frac{D}{4} = x$.

Substituant les valeurs aux lettres nous aurons :

$$3^m,1416 \times 0^m,25 \times \frac{25}{4} \times 5^m = 0^m,2455$$

qui est le cube d'un piquet ayant 0^m,25 de diamètre moyen et 5 mètres de longueur.

On peut substituer à cette formule la suivante qui est plus simple : Multiplier le rapport 3^m,1416 par le carré du rayon ; soit R le rayon :

$$P \times R^2 \times L = x.$$

$$\text{Substituant} = 3^m,1416 \times 0^m,015625 \times 5 = 0^m,2455.$$

Le tableau suivant donne toutes les sections des cercles depuis le diamètre 0^m,15 jusqu'au diamètre 0^m,38. La première colonne indique les numéros des piquets, la deuxième leur diamètre moyen, la troisième la section qui, multipliée par la longueur de chaque piquet qui lui correspond, donne le cube ; la colonne 4 indique cette longueur et la colonne 5 le cube.

NUMÉROS des piquets.	DIAMÈTRE moyen.	SECTION.	LONGUEUR.	CUBE.	NUMÉROS des piquets.	DIAMÈTRE moyen.	SECTION.	LONGUEUR.	CUBE.
			m. c.	m. c.				m. c.	m. c.
1	0.15	0.0177	5.00	0.089	13	0.27	0.0572	8.00	0.458
2	0.16	0.0201	7.00	0.141	14	0.28	0.0616	10.00	0.616
3	0.17	0.0226	9.00	0.234	15	0.29	0.0660	10.00	0.660
4	0.18	0.0254	4.00	0.102	16	0.30	0.0707	12.00	0.848
5	0.19	0.0293	7.00	0.205	17	0.31	0.0754	12.00	0.905
6	0.20	0.0314	6.00	0.188	18	0.32	0.0804	12.00	0.965
7	0.21	0.0346	8.00	0.276	19	0.33	0.0852	10.00	0.852
8	0.22	0.0379	5.00	0.190	20	0.34	0.0908	10.00	0.908
9	0.23	0.0416	6.00	0.250	21	0.35	0.0961	10.00	0.961
10	0.24	0.0452	8.00	0.362	22	0.36	0.1018	10.00	1.018
11	0.25	0.0490	10.00	0.490	23	0.37	0.1074	10.00	1.074
12	0.26	0.0530	10.00	0.530	24	0.38	0.1194	12.00	1.433

CHAPITRE X.

DE LA POUSSÉE DES TERRES.

Rondelet, dans son art de bâtir, établit que l'inclinaison moyenne du talus des terres ordinaires est de 50 degrés et que leurs efforts contre les murs de revêtement sont beaucoup diminués, quand on a la précaution de les pilonner et de les relier par des lits de fascinage qui les empêchent de glisser.

En appelant h la hauteur d'un mur, et x son épaisseur, on obtient d'après les expériences et la théorie de cet auteur, $x = h \times 0,213$ pour résister à la poussée des terres. Cette formule est remarquable par sa simplicité.

L'humidité et les eaux qui sont sans issue derrière les murs de revêtement, sont dans le cas à la longue de décomposer quelques pierres de ces murs et d'y causer par la suite de graves accidents.

Le moyen de prévenir ces inconvénients est de laisser de distance en distance des ouvertures étroites appelées barbicanes depuis la base jusqu'à 0^m,50 en contre-bas du mur, pour donner passage aux eaux qui pénètrent les terres : dans ces cas, il faut avoir soin que le derrière du mur de revêtement soit enveloppé d'une chemise de gravier de 1 mètre d'épaisseur.

Ce même auteur cite qu'il a fait construire depuis plus de 30 ans un mur de revêtement qui était tombé plusieurs fois et qui se trouve après cette époque dans le meilleur état possible et où il a pratiqué les barbicanes convenables. Voici les dimensions de ce mur : 1^m,40

à la base, 7^m,40 de hauteur, 0^m,68 d'épaisseur au sommet, 1/12 de talus.

Tableau dressé d'après la formule $x = h \times 0.213$.

HAUTEUR des terres à soutenir.	MURS DROITS. Épaisseur,		ÉPAISSEUR des murs, 1/8 talus,		ÉPAISSEUR des murs, 1/10 talus,		ÉPAISSEUR des murs, 1/12 talus,		ÉPAISSEUR des murs, 1/15 talus,	
	à la base.	au sommet.	à la base.	au sommet.	à la base.	au sommet.	à la base.	au sommet.	à la base.	au sommet.
3 ^m .00	0.88	0.40	0.88	0.40	0.88	0.40	0.88	0.40	0.88	0.40
3 .50	1.10	0.40	1.10	0.40	1.10	0.40	1.10	0.40	1.10	0.40
4 .00	1.20	0.50	1.20	0.50	1.20	0.50	1.20	0.50	1.20	0.50
4 .50	1.39	0.55	1.39	0.55	1.39	0.55	1.39	0.55	1.39	0.55
5 .00	1.52	0.60	1.52	0.60	1.52	0.60	1.52	0.60	1.52	0.60
5 .50	1.69	0.65	1.69	0.65	1.69	0.65	1.69	0.65	1.69	0.65
6 .00	1.86	0.70	1.86	0.70	1.86	0.70	1.86	0.70	1.86	0.70
6 .50	2.01	0.75	2.01	0.75	2.01	0.75	2.01	0.75	2.01	0.75
7 .00	2.18	0.80	2.18	0.80	2.18	0.80	2.18	0.80	2.18	0.80
7 .50	2.35	0.85	2.35	0.85	2.35	0.85	2.35	0.85	2.35	0.85
8 .00	2.55	0.90	2.50	0.90	2.50	0.90	2.50	0.90	2.50	0.90
8 .50	2.67	0.95	2.67	0.95	2.67	0.95	2.67	0.95	2.67	0.95
9 .00	2.84	1.00	2.84	1.00	2.84	1.00	2.84	1.00	2.84	1.00
9 .50	2.98	1.05	2.98	1.05	2.98	1.05	2.98	1.05	2.98	1.05
10 .00	3.16	1.10	3.16	1.10	3.16	1.10	3.16	1.10	3.16	1.10

N. B. Quand il s'agira de murs à pierre sèche on ajoutera à l'épaisseur de la base une moitié en sus et l'épaisseur au sommet demeurera la même.

Voici une 2^e formule qui n'est pas moins intéressante que celle dont nous nous sommes servis pour dresser le tableau ci-dessus. De l'opinion générale de tous les ingénieurs, les terres glissent sur un plan incliné de 45 degrés, et la hauteur des terres devient le côté d'un triangle rectangle dont l'hypoténuse est le plan incliné à 45 degrés. Le rapport de la diagonale au côté du carré est de $\frac{99}{70}$: supposant donc la hauteur des terres de 6 mètres, la diagonale sera $\frac{6 \times 99}{70} = 8.49$ et le 1/6 de ce nombre sera l'épaisseur cherchée 1^m44.

Ce mur qui est supposé d'aplomb en parement et d'une épaisseur uniforme de 1^m,44 doit prendre dans l'application à peu près le profil

suivant : $0^m,70$ au sommet et à la base $2^m,44$ et ayant du côté des terres une retraite de $0^m,20$ par mètre.

Démonstration : soit h la hauteur des terres ; $\frac{r}{5}$ le rapport de la diagonale au côté du carré ou $\frac{99}{70}$ et x l'épaisseur du mur à chercher,

on aura $\frac{h \times r}{5} =$ la diagonale ou D . D'après la proposition $x = \frac{D}{6}$.

Cette formule consiste à donner à l'épaisseur des murs de soutènement le $1/6$ de la diagonale de la hauteur des terres à soutenir. (Voir pour plus amples renseignements à ce sujet les tables et formules de Bélidor et Rondelet.)

Je terminerai cet article, qui est d'un haut intérêt, par une dernière réflexion. Les murs droits ou en talus peu sensibles ne doivent presque pas éprouver de différence dans leur épaisseur jusqu'au $1/5$ de talus, parce que du côté des terres il faut toujours que ces murs soient élevés suivant une ligne perpendiculaire à leur base ; néanmoins, dans l'application, on fait subir à ces murs certaines retraites du côté des terres qui donnent des économies sans nuire en cela à la solidité.

Jusqu'ici nous n'avons considéré ces murs que comme n'ayant qu'à résister à l'effort des terres qui tend à les renverser et les formules que nous avons données pour les établir leur procurent une résistance double de la puissance qui tend à les renverser ; aussi nous ne craignons pas d'avancer que de pareils murs, indépendamment de la poussée des terres, peuvent être soumis avec succès à l'action des eaux les plus violentes et faire d'excellents murs de quai.

CHAPITRE XI.

DE LA POUSSÉE DES VOUTES, DE LEURS PILIERS ET DE LEURS DIMENSIONS.

Je n'entreprendrai pas de traiter de la théorie des voûtes, parce que cette étude me jeterait au delà des limites que je me suis proposées, et je renverrai au savant ouvrage de Bélidor, en me contentant de placer ici quelques tables dressées d'après les formules de cet habile ingénieur.

Table des différentes épaisseurs qu'il faut donner aux voûtes en berceau, en plein cintre et à leurs pieds droits en raison de leur diamètre et de la manière dont elles sont extradossées.

VOUTES EXTRADOSSÉES.							VOUTES EXTRADOSSÉES.								
Diamètre des voûtes de metre en metre.	Entièrement de niveau		Moitié de niveau et moitié d'égale épaisseur		Moitié de niveau et moitié d'inégale épaisseur			Diamètre des voûtes de metre en metre.	Entièrement de niveau		Moitié de niveau et moitié d'égale épaisseur		Moitié de niveau et moitié d'inégale épaisseur		
	des voûtes à la clef.	des pieds droits.	des voûtes à la clef.	des pieds droits.	au milieu des reins.	des voûtes à la clef.	des pieds droits.		des voûtes à la clef.	des pieds droits.	des voûtes à la clef.	des pieds droits.	au milieu des reins.	des voûtes à la clef.	des pieds droits.
m.								m.							
4.00	0.083	0.363	0.111	0.444	0.125	0.083	0.400	25.00	0.526	2.272	0.694	2.777	0.781	0.520	2.500
5.00	0.104	0.454	0.138	0.550	0.156	0.104	0.500	26.00	0.541	2.363	0.722	2.888	0.812	0.541	2.600
6.00	0.125	0.545	0.166	0.666	0.187	0.125	0.600	27.00	0.562	2.454	0.750	3.000	0.843	0.562	2.700
7.00	0.145	0.636	0.194	0.777	0.218	0.145	0.700	28.00	0.583	2.545	0.777	3.111	0.875	0.583	2.800
8.00	0.166	0.727	0.222	0.888	0.250	0.166	0.800	29.00	0.604	2.636	0.805	3.222	0.906	0.604	2.900
9.00	0.187	0.818	0.250	1.000	0.281	0.187	0.900	30.00	0.624	2.727	0.833	3.333	0.937	0.624	3.000
10.00	0.207	0.909	0.277	1.111	0.312	0.207	1.000	31.00	0.645	2.818	0.861	3.444	0.968	0.645	3.100
11.00	0.228	1.000	0.305	1.222	0.343	0.228	1.100	32.00	0.666	2.909	0.888	3.555	1.000	0.666	3.200
12.00	0.250	1.090	0.331	1.333	0.375	0.250	1.200	33.00	0.687	3.000	0.916	3.666	1.031	0.687	3.300
13.00	0.270	1.181	0.359	1.444	0.406	0.270	1.300	34.00	0.708	3.090	0.944	3.777	1.062	0.708	3.400
14.00	0.291	1.273	0.389	1.555	0.437	0.291	1.400	35.00	0.720	3.181	0.972	3.888	1.093	0.729	3.500
15.00	0.312	1.363	0.416	1.666	0.468	0.312	1.500	36.00	0.750	3.272	1.000	4.000	1.125	0.750	3.600
16.00	0.333	1.454	0.444	1.777	0.500	0.333	1.600	37.00	0.770	3.363	1.027	4.111	1.156	0.770	3.700
17.00	0.353	1.545	0.472	1.888	0.531	0.353	1.700	38.00	0.792	3.454	1.055	4.222	1.187	0.792	3.800
18.00	0.374	1.636	0.500	2.000	0.562	0.374	1.800	39.00	0.812	3.545	1.083	4.333	1.218	0.811	3.900
19.00	0.395	1.727	0.528	2.123	0.601	0.401	1.925	40.00	0.833	3.636	1.111	4.444	1.250	0.833	4.000
20.00	0.416	1.818	0.556	2.222	0.625	0.416	2.000	41.00	0.854	3.727	1.138	4.555	1.281	0.854	4.100
21.00	0.437	1.909	0.583	2.333	0.656	0.437	2.100	42.00	0.874	3.818	1.166	4.666	1.312	0.874	4.200
22.00	0.458	2.000	0.611	2.444	0.687	0.458	2.200	43.00	0.894	3.849	1.194	4.777	1.343	0.894	4.300
23.00	0.478	2.090	0.638	2.555	0.718	0.479	2.300	44.00	0.914	3.880	1.220	4.888	1.374	0.914	4.400
24.00	0.499	2.181	0.666	2.666	0.750	0.499	2.400	45.00	0.934	3.911	1.248	4.999	1.405	0.934	4.500
24.25	0.505	2.204	0.673	2.694	0.757	0.505	2.425	46.00	0.954	3.942	1.276	5.000	1.436	0.954	4.600
24.50	0.510	2.227	0.680	2.722	0.765	0.510	2.425	47.00	0.974	3.973	1.302	5.111	1.467	0.974	4.700
24.75	0.515	2.250	0.687	2.750	0.773	0.515	2.475	48.00	0.994	4.004	1.328	5.222	1.498	0.994	4.800
25.25	0.526	2.295	0.701	2.805	0.789	0.536	2.525	49.00	1.014	4.035	1.354	5.333	1.529	1.014	4.900
25.50	0.531	2.318	0.708	2.833	0.796	0.531	2.550	50.00	1.034	4.066	1.380	5.444	1.560	1.034	5.000

Des grands ponts en pierre.

La construction des ponts en pierre remonte à la plus haute antiquité; mais je n'en parlerai que très-superficiellement en me bornant à faire quelques citations, parce que leur étude approfondie exigerait au moins le travail d'un gros volume.

Dans les grands ponts en pierre on distingue trois sortes d'arches : le plein cintre, l'anse de panier et l'arc de cercle.

Le plein cintre est une demi-circonférence de cercle : ces arches présentent une grande solidité, elles sont assez gracieuses et c'est en général cette courbe qu'on a employée de préférence pour tous les grands ponts qui couronnent nos fleuves et embellissent nos cités : les grands ponts d'Aiguillon, d'Agen et de Moissac sont des arches en plein cintre.

Les arches en anse de panier sont composées de plusieurs arcs de cercle, et j'emprunte à Rondelet la définition suivante : « Le pont » d'Orléans sur la Loire passe pour être celui où l'on a employé les » premières grandes arches de ce genre. Ce pont est composé de neuf » arches dont les naissances sont établies à $0^m,325$ au-dessus des » basses eaux : celle du milieu a $32^m,48$ et 9 mètres sous clef. Son » cintre qui est surbaissé est composé de trois arcs de cercle formant » ensemble une courbe plus ouverte que l'ellipse. Le rayon des petits » arcs au droit des naissances est de $7^m,38$ et celui de l'arc du milieu » de $48^m,35$. La partie du milieu est extradossée de niveau : la clef » a $2^m,44$ de hauteur et les voussoirs des extrémités $3^m,24$; celle des » autres va en diminuant jusqu'aux naissances. »

Les arches en arc de cercle présentent trois cas différents : le premier est celui où les naissances sont au-dessous de l'eau, comme le pont du St-Esprit et l'ancien pont d'Avignon. Ces arches ont le désavantage sur l'anse de panier, de donner aux eaux un moindre débouché dans les inondations et d'occasionner des tympans très-massifs qui pèsent considérablement sur les arches et sur les piles : ce dernier défaut, les premiers constructeurs l'ont bien senti et y ont suppléé en pratiquant dans les tympans des ouvertures pour donner

passage aux eaux pendant les inondations. Dans le second cas, les naissances des arcs sont élevées sur des piles à la hauteur moyenne des eaux du fleuve, comme dans le magnifique pont de Bordeaux. L'emploi de cette méthode peut exiger quelquefois le percement des tympans, mais on ne le fait plus. Le troisième cas est celui où les naissances de l'arc sont élevées sur des piles à peu près à la hauteur des inondations, comme on le trouve dans le pont de l'École militaire de cinq arches, dont voici les dimensions données par Rondelet : « 28 mètres d'ouverture ; 3^m,30 de flèche et leur courbe génératrice » est un arc de cercle de 31^m,347 : le rapport entre la flèche et la » soutenance est comme 2 est à 17 et les naissances des voûtes sont » à 6 mètres au-dessus de l'étiage ; l'épaisseur à la clef est de » 1^m,44 ; les piles ont 3^m,00 d'épaisseur et 14 mètres de longueur et » le pont 13^m,44 de largeur entre les parapets et 9^m,34 de chaussée. »

Table de la moindre épaisseur des voûtes circulaires ou elliptiques prises au milieu de la clef (Rondelet, t. II, p. 107).

OUVERTURE des arches.	ARCHES des ponts.	VOUTES moyennes.	VOUTES légères.	OUVERTURE des arches.	ARCHES des ponts.	VOUTES moyennes.	VOUTES légères.
	m. c.	m. c.	m. c.		m. c.	m. c.	m. c.
1	0.44	0.22	0.11	26	1.44	0.72	0.36
2	0.48	0.24	0.12	27	1.48	0.74	0.37
3	0.52	0.26	0.13	28	1.52	0.76	0.38
4	0.56	0.28	0.14	29	1.56	0.78	0.39
5	0.60	0.30	0.15	30	1.60	0.80	0.40
6	0.64	0.32	0.16	31	1.64	0.82	0.41
7	0.68	0.34	0.17	32	1.68	0.84	0.42
8	0.72	0.36	0.18	33	1.72	0.86	0.43
9	0.76	0.38	0.19	34	1.76	0.88	0.44
10	0.80	0.40	0.20	35	1.80	0.90	0.45
11	0.84	0.42	0.21	36	1.84	0.92	0.46
12	0.88	0.44	0.22	37	1.88	0.94	0.47
13	0.92	0.46	0.23	38	1.92	0.96	0.48
14	0.96	0.48	0.24	39	1.96	0.98	0.49
15	1.00	0.50	0.25	40	2.00	1.00	0.50
16	1.04	0.52	0.26	41	2.04	1.02	0.51
17	1.08	0.54	0.27	42	2.08	1.04	0.52
18	1.12	0.56	0.28	43	2.12	1.06	0.53
19	1.16	0.58	0.29	44	2.16	1.08	0.54
20	1.20	0.60	0.30	45	2.20	1.10	0.55
21	1.24	0.62	0.31	46	2.24	1.12	0.56
22	1.28	0.64	0.32	47	2.28	1.14	0.57
23	1.32	0.66	0.33	48	2.32	1.16	0.58
24	1.36	0.68	0.34	49	2.36	1.18	0.59
25	1.40	0.70	0.35	50	2.40	1.20	0.60

Des plus grandes arches des ponts connus.

Le pont à trois arches de la Sainte-Trinité à Florence en anse de panier ; la hauteur de chaque arche est le $\frac{1}{6}$ du diamètre, l'arche du milieu a $32^m,50$ d'ouverture et les deux autres $27^m,50$; les piles ont 8 mètres d'épaisseur et les voûtes sont construites en moellon.

Le pont construit en Italie, par Michel Ange, d'une seule arche en arc de cercle de $42^m,23$ d'ouverture ; la voûte n'a que $1^m,62$ d'épaisseur à la clef.

On pourrait arriver à construire des ponts en pierre dont les arches en arc de cercle seraient de 50 mètres d'ouverture et du $\frac{1}{5}$ de hauteur sous clef, et les piles de 5 mètres d'épaisseur. De tels ponts présenteraient une grande économie sur ceux de cette espèce exécutés jusqu'à ce jour qui n'ont guère au delà de 20 mètres d'ouverture. On économiserait ainsi les $\frac{3}{5}$ des piles et les $\frac{3}{5}$ des faux frais de fondations, mais d'un autre côté les piliers auraient plus d'épaisseur ainsi que les voûtes pour se maintenir.

CHAPITRE XII.

FONDATIONS DES ÉDIFICES.

Dans l'art de bâtir, on doit regarder les fondations comme la partie la plus indispensable des édifices, parce qu'elle leur sert d'assiette. C'est uniquement de la manière dont ils sont établis que dépend leur solidité et leur durée séculaire. Les imprévoyances ou la négligence apportées dans les fondations sont bien souvent irremédiables et entraînent quelquefois la ruine des monuments.

Pour obvier à tous ces inconvénients, un bon constructeur doit pratiquer des sondes sur divers points du terrain sur lequel doit reposer l'édifice qu'il est chargé de construire; toutes ces sondes sont d'autant plus nécessaires qu'elles servent pour établir l'évaluation des fouilles à pratiquer, en faisant connaître la résistance et la densité des diverses couches de terrain. En un mot, ces sondes ont pour but de s'assurer si le sol est solide et s'il est de même nature dans toute son étendue, car souvent il change à très-peu de distance.

Les couches qui forment le sol le plus résistant sont celles qui ne sont pas compressibles: tels sont les rocs, rochers, le tuf, les graviers, les terres franches et compactes qui n'ont jamais été remuées.

Les mauvais terrains, au contraire, sont ceux qui sont susceptibles d'affaissements sous le plus léger fardeau, tels que les terres légères et humides, marécageuses, limoneuses et tourbeuses, etc.; les terrains mouvants et infiltrés d'eau sont réputés les plus mauvais.

Des fondations sur le bon sol.

Après avoir fait toutes les expériences d'usage pour s'assurer que le terrain n'est pas compressible, on trace les fondements qui doivent être de $1/2$ ou du double plus large que les murs qu'ils doivent supporter. Les meilleures fondations se font en maçonnerie de béton.

Les fondations sur le roc sont les meilleures, mais on doit en général le niveler autant que possible ou bien le trancher par sortes de retraites toujours de niveau pour ne jamais asseoir sur plan incliné.

Des fondations sur mauvais terrain.

Si on a à élever un édifice considérable sur un mauvais terrain, on doit d'abord pratiquer des sondes pour connaître exactement l'épaisseur du mauvais terrain, y faire des expériences dessus pour arriver à la connaissance exacte du degré d'affaissement dont il est susceptible. Dans des terrains de cette nature, les fondations les plus certaines sont celles sur pilotis et sur grillage. On peut encore fonder sur un arc de cercle renversé comme cela a été pratiqué au pont de Cubzac pour les deux culées et arceaux de décharge.

Au canal de la Teste, des écluses ont été établies sur un sable mouvant et n'ont point éprouvé d'accident.

Dans ces deux derniers cas, il est essentiel de donner aux fondations une grande largeur, deux et trois fois l'épaisseur des murs suivant le degré de compressibilité du fond et peut-être ne serait-il pas mal de former une enceinte continue de palplanches, afin que les terres qui forment l'assiette ne boursoufflent pas au dehors comme cela a eu lieu pour la levée du pont de Cubzac et pour les grands remblais du ravin de Meudon, chemin de fer de Paris à Versailles.

La plupart des accidents qui arrivent aux grands édifices viennent de ce que les fondements sur leurs points d'appui, n'ayant point des empâtements assez étendus, cèdent sous le poids de la charge des constructions et y occasionnent des accidents graves. Quand les fon-

dements sont faits sur un terrain qui inspire des craintes pour l'avenir, il ne serait peut-être pas mal de faire les frais de les charger de tout le poids qu'ils auront à supporter quand l'édifice sera construit; mais il est toujours prudent de ne rien épargner pour obtenir des fondations solides. Les meilleurs fondements sont ceux qui consistent en une assise de 0^m,50 ou 1 mètre de hauteur de béton.

Quand il s'agit de grands travaux à établir, il est très-prudent de faire subir au terrain toutes les expériences convenables pour s'assurer du degré de compressibilité. Les fondements doivent toujours avoir plus d'épaisseur que les murs à établir, et ils doivent être d'autant plus larges que le terrain se trouve plus compressible, et on peut en général, sur des terrains douteux, leur donner deux fois l'épaisseur des murs qu'ils doivent porter.

Il est des constructeurs qui ont imaginé de faire battre le terrain avant de jeter les fondements : quelquefois ils s'en sont bien trouvés, mais ce moyen ne pouvait promettre quelque succès que sur un terrain douteux et qui laissait concevoir peu de craintes sur sa compressibilité; cette opération peut être praticable avec avantage sur une terre presque franche, mais sur un terrain sablonneux et autres de même nature, ce serait sans succès, car ces sortes de terres chasseraient de côté sous la machine qui les batterait.

Cette idée de battre le terrain amène naturellement la nécessité d'établir ici la force du choc d'un corps qui tombe de différentes hauteurs, et nous empruntons à l'ouvrage de Rondelet le tableau ci-contre qui exprime les résultats de diverses expériences qui ont été faites dans cet objet au moyen du dynamomètre inventé par M. Grenier, ancien garde du dépôt d'artillerie et des archives à Paris.

Table qui indique les différentes hauteurs desquelles un corps doit tomber pour que la force du choc forme une progression arithmétique dont la différence soit égale au poids de ce corps.

Les colonnes marquées A indiquent la progression naturelle des nombres qui donnent la force du choc en multipliant le poids du corps par chacun de ses termes.
 Les colonnes B indiquent les carrés des nombres des colonnes précédentes, lesquels expriment, d'après la théorie, les espaces parcourus en prenant pour unité la valeur de la ligne réduite en millimètres ou égale à 0^m.0022558310.
 Les colonnes C indiquent les espaces trouvés par l'expérience pour que la force du choc augmente dans la raison des nombres indiqués par les colonnes A.
 D expriment la force du choc par un boulet de fer pesant. . . 4650 gr.
 E *id.* 3060 —
 F *id.* 1840 —

A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
	millim. et 100 c.	millim. et 100 c.	kilogr. et gram.	kilogr. et gram.	kilogr. et gram.		millim. et 100 c.	millim. et 100 c.	kilogr. et gram.	kilogr. et gram.	kilogr. et gram.
1	2.25	2.25	4.65	3.06	1.84	34	2607.74	2866.94	158.10	104.04	62.56
2	9.02	9.46	9.30	6.12	3.66	35	2663.39	3038.18	162.75	107.10	64.40
3	20.31	21.61	13.95	9.18	5.52	36	2923.36	3244.37	167.40	110.16	66.24
4	36.10	38.80	18.60	12.24	7.36	37	3088.03	3395.93	172.05	113.22	68.08
5	56.39	60.90	23.25	15.30	9.20	38	3257.42	3582.26	176.70	116.28	69.92
6	81.24	87.97	27.90	18.36	11.04	39	3431.13	3772.90	181.35	119.34	71.76
7	110.53	120.23	32.55	21.42	12.88	40	3609.33	3969.82	186.00	122.40	73.60
8	144.37	157.24	37.20	24.48	14.72	41	3792.05	4171.03	190.65	125.46	75.44
9	182.73	198.93	41.85	27.54	16.56	42	3977.29	4377.42	195.30	128.52	77.28
10	225.58	246.33	46.50	30.60	18.40	43	4171.03	4588.36	199.95	131.58	79.12
11	272.95	298.22	51.15	33.66	20.24	44	4367.29	4804.47	204.60	134.64	80.96
12	324.84	355.28	55.80	36.72	22.08	45	4568.07	5025.35	209.25	137.70	82.80
13	381.23	417.10	60.45	39.78	23.92	46	4773.34	5251.35	213.90	140.76	84.64
14	442.14	484.10	65.10	42.84	25.76	47	4983.13	5482.39	218.55	143.82	86.48
15	507.57	556.05	69.75	45.90	27.60	48	5193.44	5718.35	223.20	146.88	88.32
16	577.49	632.75	74.40	48.98	29.44	49	5416.25	5959.39	227.85	149.94	90.16
17	651.93	714.64	79.05	52.02	31.28	50	5639.58	6205.58	232.50	153.00	92.00
18	730.81	801.50	83.70	55.08	33.12	51	5867.43	6455.99	237.15	156.06	93.84
19	814.35	893.31	88.35	58.14	34.96	52	6099.77	6711.89	241.80	159.12	95.68
20	901.33	990.00	93.00	61.20	36.80	53	6336.63	6973.69	246.55	162.18	97.52
21	994.83	1091.82	97.65	64.26	38.64	54	6578.01	7239.42	251.10	165.24	99.36
22	1091.80	1198.51	102.30	67.32	40.48	55	6823.89	7510.34	255.75	168.30	101.20
23	1193.33	1310.18	106.95	70.38	42.32	56	7074.22	7786.24	260.40	171.36	103.04
24	1299.36	1426.81	111.60	73.44	44.16	57	7329.24	8066.86	265.05	174.42	104.88
25	1409.79	1548.62	116.25	76.50	46.00	58	7588.62	8352.47	269.70	177.48	106.72
26	1524.94	1678.98	120.90	79.50	47.84	59	7852.55	8642.84	274.35	180.54	108.56
27	1644.31	1806.50	125.55	82.62	49.68	60	8120.80	8938.99	279.00	183.60	110.40
28	1768.37	1942.98	130.20	85.68	51.52	61	8393.15	9239.89	283.65	186.66	112.24
29	1896.95	2084.44	134.85	88.74	53.36	62	8671.02	9545.36	288.30	189.72	114.18
30	2029.85	2230.84	139.50	91.80	55.20	63	8932.90	9856.18	292.95	192.78	116.02
31	2165.20	2382.41	144.15	94.86	57.04	64	9239.89	10171.78	297.60	195.84	118.86
32	2309.77	2538.97	148.80	97.92	58.88	65	9530.69	10492.56	302.25	198.90	119.70
33	2456.41	2600.69	153.45	100.98	60.72	66	9826.41	10817.85	306.90	201.96	121.54

Posons un exemple pour l'usage de ce tableau :

Si l'on nomme P, le poids du corps, E, l'effort indiqué dans les colonnes A, et x l'effort total : on aura l'équation : $x = P \times E$.

Cela posé, quel sera donc l'effort produit par un mouton de 150 kilog. élevé à 3 mètres de hauteur (ou 3,000 millimètres)? Je cherche dans les colonnes C le nombre ou les deux nombres qui se rapprochent le plus de celui-ci et je trouve 2923,36 correspondant à 36 de la colonne A et immédiatement au-dessous 3088,03 qui a 37 en regard (colonne A). En sorte que l'effort total sera $36^m,50 \times 150 = 5475$ kilog., et si la surface du mouton est de $0^m,05$ il faudra 20 coups par mètre carré et on aura pour la compression exercée sur cette surface $5475 \text{ kilog.} \times 20 = 109,500$ kilog.

Fondations dans l'eau.

Si on a un fond vaseux ou limoneux, il devient essentiel de faire une enceinte de pieux jointifs qu'on bat jusqu'au refus de $0^m,02$ par volée de 25 coups d'un mouton de 300 kilog. Par exemple : s'il s'agit de l'établissement d'un grand pont, après avoir battu les pieux jointifs qui forment le pourtour des culées et des piles, après avoir coulé des enrochements autour desdits pieux jointifs et les avoir même moisés ensemble, si la position le rend nécessaire pour les maintenir solidement dans leur situation primitive, on procède à l'opération du dragage au moyen d'un bateau dragueur. Le dragage ne revient en général, au moyen de ces machines, que de 60 à 75 centimes le mètre cube transporté à terre, autrement de 30 à 40 centimes rejeté dans l'eau au fur et à mesure du dragage; on drague, s'il est possible, jusqu'au terrain incompressible, si on peut l'atteindre; dans le cas contraire on bat en quinconces des pieux espacés de $0^m,66$ d'axe en axe dans l'enceinte des pieux jointifs; après les avoir recépés de niveau à $4^m,50$, 2 mètres ou 3 mètres au-dessous de l'étiage au moyen de la scie tournante inventée à cet effet, on coule dans l'enceinte du béton qu'on a soin de niveler parfaitement avec la tête des pieux d'enceinte. Toutes ces opérations faites, on y conduit un caisson construit à cet effet, qu'on place dans l'enceinte et qu'on retient en équilibre entre les pieux jointifs au moyen de cordes et poulies de retour. Le caisson ainsi placé, on s'empresse d'y bâtir dedans et à mesure que les maçonneries s'élèvent le caisson s'enfonce; mais plusieurs hommes sont

apostés pour le maintenir avec des cordes dans la position qu'il doit conserver jusqu'à ce qu'il fasse fond. En maçonnerant, on a soin de ménager sur plusieurs points une trentaine de trous symétriquement placés, au moyen de bois ronds un peu coniques, disposés le petit bout en bas, et qu'on bâtit dans la maçonnerie; après que le caisson est échoué et que les assises sont élevées au-dessus de l'eau, on enlève les morceaux de bois qui laissent autant de vides. On perce la sole du caisson par chacun de ses trous et on y fait couler de la laitance hydraulique qui est destinée à s'infiltrer entre la sole du caisson et le béton des fondations, et remplir ainsi tous les vides qui peuvent y exister. Cette opération terminée, on continue les maçonneries, après avoir bouché ces trous en maçonnerie ordinaire, et on démonte les bordages du caisson pour être appropriés à une autre sole; car, comme on le voit, il ne reste à chaque pile ou à chaque culée que la sole du caisson. (*Pl. 5, fig. 1 et 2.*)

La *fig. 1* représente en plan une pile de pont avec le caisson;

La *fig. 2* indique la coupe en travers de cette même pile suivant la ligne A B. (*Fig. 1.*)

La *fig. 3* est un panneau des bordages du caisson qu'on démonte après que les maçonneries sont élevées au-dessus des eaux.

Voici la description et les dimensions d'un de ces caissons suivant le dessin (*Pl. 5, fig. 1, 2 et 3*). Un caisson se construit avec les mêmes précautions qu'un navire à joint-carré et calfatage. Il doit être parfaitement étanche dans l'eau. Sa longueur est de 20 mètres sur 8 mètres de largeur pour une pile devant avoir 17 mètres de longueur, 5 mètres de largeur, et hauteur 3 mètres ou plus suivant la profondeur de la rivière. La sole est à joint-carré, soigneusement calfatés ainsi que les bords qui sont divisés par panneaux de deux mètres de longueur fixés à la sole par un système de longs boulons qui se divisent par le haut pour faciliter le démontage.

Si au contraire on a un fond de gravier, on en sonde l'épaisseur jusqu'au tuf, et suivant que cette épaisseur de gravier est considérable on jette une forte masse de moellon sur l'emplacement des piles et des culées qu'on aura déjà tracées au moyen de neuf piquets battus en quinconces. Ces enrochements seront élevés de 2 mètres au-dessus de l'étiage. Lorsque les eaux seront assez basses pour jeter les fondements, on formera l'assiette des piles et des culées en relevant

le moellon et nivelant convenablement jusqu'à la profondeur des fondations sur lesquelles on coulera une couche de béton qui s'élèvera à la hauteur de l'étiage et on établira les fondements sur ce massif d'enrochement ainsi nivelé avec une couche de béton. Au fur et à mesure que les maçonneries s'élèveront, on aura soin de tenir les enrochements des pourtours des piles, élevés de deux et trois mètres au-dessus de l'étiage au moyen de rechargements fréquents. Ces enrochements sont destinés, pendant les crues et les inondations, à remplacer les graviers qui seront enlevés par les affouillements aux pieds des piles et des culées; on entretiendra ces enrochements à la même hauteur pendant plusieurs années par des rechargements successifs au fur et à mesure qu'ils s'affaïsseront. C'est d'après ce système de fondations qu'ont été établis en général tous les ponts suspendus qui couvrent nos fleuves et nos rivières et embellissent nos cités et nos villages. Ce système de fonder sur enrochements a aussi été appliqué avec succès aux ponts fixes.

En général, n'importe la nature du fond au-dessous des eaux, on peut toujours fonder toutes sortes d'ouvrages sur enrochements en ne les économisant jamais et en les retenant dans une enceinte de piquets jointifs qu'on a soin de fortement enrocher en dehors, et en laissant enfin au niveau des fondements une risberme ou empatement très-large. Il faut avoir particulièrement soin d'entretenir les enrochements au fur et à mesure de leur tassement, et on établit les fondements de la même manière que nous l'avons décrit plus haut avec la précaution essentielle de charger les piles, lorsqu'elles seront montées, de tout le poids qu'elles sont destinées à supporter, en ayant soin de mesurer le degré de tassement de chacune. Ces précautions sont indispensables pour bien asseoir les fondements dans un fond mouvant, afin de prévenir de bien graves accidents qui pourraient arriver à l'édifice par l'effet du tassement du sol. Ce système de fondations est très-économique pour les murs de quai, perrés et autres ouvrages à édifier sur les bords des fleuves ou sur les rivages de la mer. On peut au besoin, pour plus de précaution, employer dans les fondations un système de charpente pour relier les pilots entr'eux, et mettre ainsi tout le système à l'abri d'un coup de mer. Ce dernier système tire son origine des ouvrages de tunage dont nous parlerons plus loin.

Tracé des ouvrages d'art sur le terrain.

On ne saurait jamais trop porter d'attention au tracé des ouvrages d'art. La moindre erreur dans les alignements, la plus petite imperfection dans les instruments dont on se sert, peuvent donner des grandes variations dans l'exactitude du tracé; c'est pourquoi un conducteur habile ne devrait se déterminer à faire établir qu'après s'être assuré par deux ou trois opérations géométriques, se vérifiant l'une par l'autre, que tous ses points ou lignes sont bien exacts.

Les grands ponts et autres constructions analogues doivent toujours, autant que possible, être perpendiculaires sur les cours d'eau qu'ils traversent. On doit bien établir les axes en fixant solidement des poteaux qui les déterminent, afin de les rendre invariables, parce que toutes les opérations pour établir se repèrent à ces axes. On doit aussi avoir des repères de nivellement et des échelles pour la hauteur des eaux, afin de pouvoir toujours faire l'établissement de la première assise, ainsi que les autres, aux hauteurs fixées au plan. Il est essentiel, je le répète, de ne jamais agir avec précipitation dans ces sortes d'opérations, et de ne faire établir qu'après que tous les points sont exactement conformes au plan; car rien n'est plus déplorable que d'être obligé de démolir un travail mal établi. Ces fausses manœuvres sont de nature à compromettre la réputation et l'avenir du conducteur qui les commet; et si c'est l'entrepreneur qui s'en soit rendu coupable, une pareille bétise peut lui causer des pertes incalculables; car en général on ne transige pas avec de semblables erreurs, principalement si elles sont du fait de l'entrepreneur. On ne saurait donc trop apporter d'attention et d'exactitude dans les tracés et établissement des travaux d'art.

CHAPITRE XIII.

ÉTUDES D'APPAREIL EN PIERRE DE TAILLE.

De la stabilité.

On doit regarder les constructions, abstraction faite du mortier qui lie entre elles les pierres de taille, comme des assemblages de corps solides qui se maintiennent en résistant par leurs formes et leurs positions à tous les efforts combinés qui résultent de la pesanteur.

La pesanteur est la force constante de tous les corps qui tendent à tomber lorsqu'ils ne sont retenus par aucun obstacle. Dans les corps d'espèces différentes, la pesanteur est toujours proportionnée à la quantité de matière renfermée dans un même volume, c'est-à-dire que celles dont les parties sont plus rapprochées et plus compactes pèsent davantage: aussi le fer, la pierre, etc., possèdent une plus grande pesanteur que le bois.

De la direction de la pesanteur.

Un corps quelconque suspendu par un fil le tend selon une direction verticale, et c'est le fil à plomb, c'est-à-dire la perpendiculaire à l'horizon: c'est le principe d'attraction que tous les corps tombant se dirigent vers le centre de la terre.

Du centre de gravité.

Le centre de gravité d'un corps suspendu se trouve dans la direction du fil qui le maintient perpendiculairement; il en est de même pour les corps au repos : leur centre de gravité se trouve toujours suivant une perpendiculaire qui met toute la pesanteur de ce corps en équilibre avec l'horizon ; car un corps pesant, n'importe sa forme, pourrait se maintenir sur un point ou une seule pointe de surface, pourvu que ce point ou cette pointe passe par la verticale, passant elle-même par le centre de gravité.

Position et forme à donner aux pierres de taille pour les pieds droits.

Tous les corps doués de pesanteur livrés à leur impulsion descendent selon une direction verticale ou d'aplomb. Il est incontestable qu'ils ne peuvent être parfaitement soutenus que sur un plan horizontal ou de niveau. D'après ce principe, la forme qui convient le mieux aux pierres de taille pour former des murs ou pieds-droits, doit être celle d'un parallépipède ou prisme à plomb, c'est-à-dire d'un solide rectangulaire placé sur un plan horizontal.

Ces pierres ainsi posées les unes sur les autres à joints coupés perpendiculairement, et par rang d'assises de niveau, tout l'effort de pesanteur tendra vers la base, en la consolidant, au point que la pression de chaque pierre l'une sur l'autre augmentera la solidité de toutes; en sorte que si ces pierres sont bien placées, elles présenteront autant de consistance que si elles étaient d'un seul bloc.

Comme c'est l'effet de la pesanteur qui unit ces pierres, il est certain que plus elles seront grandes, plus elles auront de solidité; mais il est essentiel que tous leurs lits et joints soient bien dressés et dégauchis parfaitement, afin qu'elles se trouvent juxtaposées et que les surfaces des lits et joints touchent également partout; car plus elles sont grandes et plus elles sont susceptibles de se rompre par les porte-à-faux. L'effet que cause la rupture d'une pierre portant à faux

cause un ébranlement dans tout l'édifice et occasionne souvent des accidents irréparables.

Dans la pose, les lits et les joints doivent toujours être perpendiculaires aux surfaces; ainsi, dans la construction des murs en perrés inclinés du 10°, 15° et 20°, etc., les lits des assises devront toujours être perpendiculaires à la surface de ces murs, et cette disposition ajoutera à la résistance contre la poussée des terres dont l'effort se fait horizontalement, et tend à faire glisser les pierres sur leurs lits lorsqu'elles sont réglées par assises parallèles à l'horizon, tandis qu'au contraire l'effort se dirige contre la masse du mur qui est censé ne former plus qu'un corps par la section des lits inclinés en dedans.

Avant de procéder à la pose, l'appareilleur ou l'entrepreneur devra toujours s'assurer si les lits et joints sont bien dressés au moyen d'une règle parfaitement droite qu'il appliquera diagonalement sur toutes les surfaces des lits, joints et parements, qui seront réputés tous bien dressés, lorsque la règle portera dans toute son étendue sans vides ni aspérités, et que tout se trouvera parfaitement d'équerre à un léger démaigrissement près des lits et joints. Ces sujétions bien remplies, les pierres placées les unes sur les autres porteront également dans toute leur étendue, sauf les vides résultant des inégalités du piquage qui facilitent l'adhérence du mortier entre les lits et joints, et ajoutent à la solidité de la masse.

Pour obtenir des constructions qui remplissent toutes les conditions nécessaires à la solidité et à la durée, il n'est pas suffisant que les lits et joints soient bien dressés; il faut encore que la pose soit faite avec art et sur un bon bain de mortier. Voici comment on procède à la pose: on dérase parfaitement de niveau le lit ou la surface sur lequel les pierres doivent être posées; on les présente en place en les posant à nu sur leur lit pour vérifier avec le plomb, l'équerre et le niveau si les lits, joints et parements sont disposés comme il convient. On soulèvera ensuite la pierre, et après avoir bien nettoyé et jeté de l'eau sur la place qu'elle doit occuper, on y étendra du mortier fin et on baissera la pierre en la soutenant sur des petites cales d'environ 0^m,015, et on fichera dessous du mortier à profusion; on sortira les cales et on frappera la pierre avec une masse de bois dans tous les sens sur le lit de dessus jusqu'à ce que l'épaisseur du mortier soit ré-

duite à 0^m,005 d'épaisseur, et que la pierre soit placée dans sa position d'aplomb et de niveau convenables.

S'il est question d'ouvrages dans l'eau ou destinés à en contenir, on mêle dans le mortier de la pouzzolane, ou poudre de tuileau.

Après la pose d'une assise de pierre de taille, on procède au dérasement de l'assise s'il y a lieu, et on continue de poser une autre assise sur celle-ci, en ayant soin que tous les joints de l'assise inférieure soient coupés par moitié par ceux de l'assise supérieure, si c'est un grand appareil de pierre de taille; si l'appareil est incertain, les joints des assises doivent toujours, autant que possible, se couper par le milieu.

De l'appareil.

On distingue dans l'art de bâtir deux sortes d'appareil : l'appareil régulier consiste dans des divisions et combinaisons de pierres ayant toutes des dimensions régulières et égales dans chaque assise, en sorte que toutes les assises sont pareilles alternativement; c'est-à-dire que les dimensions des pierres de la première assise sont toujours les mêmes que celles de la troisième, et ainsi de suite, et que celles de la deuxième se trouvent les mêmes que celles de la quatrième, et ainsi de suite, par assises pair et impair. Cet appareil est en général divisé par carreaux et boutisses : par exemple les carreaux auront 1 mètre de longueur de parement et 0^m,60 de queue moyenne, et les boutisses auront 0^m,50 de parement et 1 mètre de queue. Dans la pose on alternera en employant un carreau de 1 mètre avec une boutisse de 0^m,50 de parement. La boutisse fait 0^m,40 de liaison dans le mur : cet appareil est celui qui offre le plus de garantie de solidité et de durée pour les grands édifices, principalement pour les grands ponts de pierre.

L'appareil incertain ou irrégulier peut présenter la même solidité que le premier, mais il est moins gracieux à la vue : les pierres d'angle, dans cet appareil, sont toujours régulières par assises de pair et d'impair, mais les pierres qu'on emploie pour continuer les assises entre les deux angles n'ont pas de longueurs uniformes ou de sujétion; aussi le chef poseur veille autant que possible à ce que les joints de

l'assise supérieure passent par le milieu de ceux de l'assise inférieure, et ainsi de suite, et que toujours les pierres soient employées alternativement par carreaux et boutisses. On voit que cet appareil diffère peu du premier.

On distingue encore le petit appareil régulier dont l'usage est très-répandu, qui présente beaucoup d'économie sur les deux premiers, et donne presque le même degré de solidité et de durée. Les pierres d'angle sont toujours de grand appareil et les pierres de remplissage sont quelquefois de demi-assise de hauteur; les deux réunies font la hauteur des pierres d'angle; d'autres fois elles ont la même hauteur que les pierres d'angle. La longueur du parement est de 0^m,50 de tête et de 0^m,30 à 0^m,40 de queue; ces pierres sont posées alternativement par carreaux et boutisses; on appelle encore cette maçonnerie : *maçonnerie de moellon piqué de parement*.

Ce système d'appareil est très-convenable pour faire l'emploi de toute sorte de pierres provenant des carrières qui s'exploitent à la mine, telles que les carrières de Roquefond dans le département de Lot-et-Garonne.

CHAPITRE XIV.

DES DIVERSES COURBES APPLIQUÉES AUX ARCHES DES PONTS EN MAÇONNERIE.

Du plein cintre.

Le premier objet à apprécier dans les voûtes est la courbure de leurs cintres : la plus gracieuse et la plus facile à tracer est le cercle qui se décrit au moyen d'une ouverture de compas dont une pointe est fixée sur le papier ou tout autre objet, tandis que l'autre tourne autour de la première. Il y a le *trousquin* et le *scimblo*, qui sont des instruments destinés à tracer les courbes et cercles pour lever les épreuves dont nous parlerons bientôt. Le plein cintre est une ouverture d'arche d'une demi-circonférence.

De l'ellipse.

On considère diverses espèces d'ellipses. Elles sont en général le résultat de la section oblique d'un cylindre. Voici au surplus le moyen de les engendrer et de donner une idée exacte de ces courbes. (Rondelet, p. 38, t. II.)

« Si l'on expose à la lumière un cercle de fil de fer inscrit dans un carré traversé par deux diamètres qui se croisent au centre à angles droits (*Pl. 3, fig. 4.*), de manière que les rayons de la lumière soient perpendiculaires au plan qui forme cet assemblage, l'ombre

» reçue sur un plan parallèle représentera une figure parfaitement
 » semblable à cet assemblage; mais si l'on fait tourner le cercle sur
 » l'un de ses diamètres, sans changer la position du plan qui reçoit
 » l'ombre, on verra: 1° que le carré se changera en un rectangle et
 » le cercle en une ellipse; 2° que l'ombre du diamètre autour duquel
 » le cercle tourne, qui ne change pas de grandeur, représente le grand
 » axe de l'ellipse, et que l'autre, qui diminue à mesure que cette ma-
 » chine tourne, est le petit axe; 3° qu'il se trouve une position où ce
 » petit axe s'évanouit, de manière que l'ombre de l'assemblage entier
 » ne forme qu'une ligne droite, d'où il résulte que cet assemblage,
 » en tournant, peut représenter toutes les ellipses possibles comprises
 » entre le cercle et la ligne droite. »

Comparaison du cercle et de l'ellipse.

Dans l'ellipse comme dans le cercle, les lignes qui se croisent au centre divisent leur surface en parties égales; mais dans le cercle tous les diamètres sont égaux et perpendiculaires à la courbe, tandis que dans l'ellipse leur grandeur change pour chaque point de la courbe. Le plus grand de ces diamètres est appelé grand axe, et le plus petit petit axe.

De tous les diamètres, il n'y a que les deux axes qui se croisent au centre à angles droits.

L'ellipse étant une courbe fermée et symétrique, les deux axes la divisent en deux parties égales et semblables.

Le cercle n'a qu'un centre auquel aboutissent toutes les perpendiculaires à la circonférence.

L'ellipse a, indépendamment de son centre, deux foyers qui sont placés sur le grand axe; ils donnent les moyens de décrire cette courbe et de lui mener des perpendiculaires. On trouve la place des foyers d'une ellipse (*fig. 5, Pl. 5*) en décrivant des deux extrémités B, C du petit axe, des sections avec un rayon égal à qR , moitié du grand axe qui coupe ce dernier aux points MN qui sont les foyers de l'ellipse.

Une des principales propriétés des foyers consiste en ce que la somme des lignes tirées d'un point quelconque de la courbe à chacun des foyers,

est toujours égale à la longueur du grand axe, de sorte qu'on a dans tous les cas $ME + EN = AR$.

C'est sur cette propriété de l'ellipse qu'est fondée la manière de tracer l'ovale du jardinier avec un cordeau et deux piquets. On place ces piquets aux foyers et on y attache les deux bouts d'un cordeau dont la longueur doit être égale au grand axe; ensuite, avec une pointe ou un autre piquet mis dans le pli du cordeau, on trace la courbe en observant de tenir le cordeau toujours également tendu. Par ce moyen simple, on obtient une ellipse véritable, comme on le voit par la *fig. 5*.

Mais cette pratique, suffisante pour des opérations de jardinage, n'offre pas assez de précision pour la construction des épures; c'est pourquoi la manière de tracer cette courbe par plusieurs points est préférable.

Il faut remarquer à ce sujet qu'à cause de la régularité et de la symétrie de cette courbe, il doit toujours se trouver quatre points également situés par rapport au centre: ainsi, après avoir tracé les deux axes et déterminé les foyers MN , il faudra, de chacun de ces points et avec une même ouverture de compas moindre que MR ou EN , et plus grande que EM , décrire quatre sections indéfinies telles que Ki , Il : on portera ensuite le rayon avec lequel elles ont été décrites de E en D ; on prendra la différence de DR avec laquelle, des mêmes foyers MN , on croisera les quatre premières sections: ces intersections indiqueront autant de points de l'ellipse; pour avoir quatre autres points, on recommencera avec une ouverture plus petite ou plus grande que celle avec laquelle on a tracé les premières sections Ki , Il , telle que MH , et après avoir tracé quatre nouvelles sections *om* et *pt*, on recroisera ces sections avec un rayon égal à MH , pour avoir quatre nouveaux points, et ainsi de suite.

Pour procéder avec ordre il faut diviser l'espace compris entre les foyers en parties égales, en raison de la grandeur de l'ellipse; on décrira successivement les quatre premières sections des foyers avec les intervalles 1, 2, 3, 4, 5, etc. (*fig. 6, Pl. 5*), c'est-à-dire jusqu'à l'avant-dernière; les rayons pour les recroisements seront successivement 1R, 2R, 3R, 4R, etc.

Cette méthode est extrêmement commode et exacte, parce que les opérations sont immédiates et que le croisement des sections indique la direction de la courbe, ce qui est un très-grand avantage pour la

bien tracer. Lorsque les premières divisions donnent des sections trop éloignées, on les subdivise en deux ou trois : en général, il faudrait que les points fussent plus rapprochés en raison de ce que la courbure est plus fermée. Ainsi, pour proportionner ces divisions à l'augmentation de courbure que présente l'ellipse depuis les extrémités du petit axe jusqu'à celle du grand, il faudrait, au lieu de diviser la ligne droite MR en parties égales, diviser la demi-circonférence dont elle est le diamètre (*fig. 6*), et renvoyer par des parallèles au petit axe la projection de ces points sur MR ; par ce procédé, ils se trouveraient naturellement espacés en raison du plus ou du moins de courbure.

Par la même raison, lorsqu'on fait usage, pour tracer l'ellipse, des ordonnées aux cercles décrits sur leur petit axe ou sur le grand, il vaut mieux diviser la circonférence de ces cercles en parties égales que leur diamètre ; la vue seule de la *fig. 6* fait assez comprendre la nécessité de préférer cette pratique. Cette remarque mérite d'autant plus d'être prise en considération, qu'elle s'applique au principe du rallongement et du raccourcissement de toutes sortes de courbes, ainsi qu'à celui de leur projection et développement qui sont les opérations les plus essentielles de la stéréotomie ou coupe des pierres.

Des ovals et des anses à paniers.

Le principe de tracer ces courbes repose sur deux conditions principales : la première est que, pour construire avec des arcs de cercle une courbe fermée, il faut que la somme de ces arcs soit de 360 degrés ; la seconde est que les centres des arcs qui se joignent soient toujours sur une même ligne.

On divise le grand axe en quatre parties égales aux points *m, n, o* : de ces points comme centres, et d'une ouverture de compas égale à l'une de ces parties, on décrira trois circonférences (*fig. 4, Pl. 4*) ; celle du milieu, passant par les centres des deux autres, sera divisée en quatre parties égales aux points *poi, qor, pms, qms* ; pour marquer la jonction des arcs, on décrira des points Q, P, comme centres, les arcs JR, iS, lesquels, avec les parties des cercles déjà décrits des points *m* et *o*, formeront l'ovale. Les angles formés par les lignes QJ

et QR, *ms* et *mJ*, *Ps* et *Pi*, *oi* et *oR* étant tous droits, chacun des arcs qui y répondent sera de 90 degrés, et la somme des quatre de 360°. Le grand axe pourrait n'être divisé qu'en trois parties égales, et desdits points de division pris comme centres (*fig. 8, Pl. 5*), on trace les deux circonférences qui se coupent aux points *k*, *m*, et ces points, comme pour la figure précédente, sont les centres des arcs *ri* et *ab*.

Plus les arcs des extrémités sont grands par rapport à ceux du milieu, plus l'ovale est ouvert. La courbure des cintres des voûtes influe beaucoup sur leur solidité. D'habiles architectes ont fait des recherches pour trouver celles qui peuvent servir de limite au plus ou moins de courbure qu'on peut leur donner. La cycloïde est celle qui en prend le moins et la cassinoïde celle qui en prend le plus.

De la cycloïde.

La cycloïde est une courbe imaginée par le père Mersenne, suivant le sentiment de plusieurs auteurs.

Le rapport du diamètre à la circonférence est, à très-peu de chose près, comme 7 est à 22. Ce principe posé, on divise le diamètre AB en 22 parties égales (*fig. 7, Pl. 5*) dont on porte 7 parties sur la perpendiculaire de E en F élevée sur le milieu du diamètre AB; on décrit sur EF, comme diamètre, une circonférence dont on divisera chaque moitié en 11 parties égales, qui se trouveront par conséquent les mêmes que celles du diamètre AB et toutes égales entre elles, savoir : celles du diamètre AB, celles du diamètre EF et celles de la circonférence sur ce dernier diamètre. De chacun des points de division de la circonférence construite de E en F comme diamètre, on mènera des parallèles indéfinies à la droite AB; cela fait, on prendra dix parties sur AB, qu'on portera du point 10 de la circonférence du petit cercle en *a*; ensuite neuf parties qu'on portera de 9 en *b*; huit parties qu'on portera en *c*, etc., jusqu'en *i*, où on n'en portera que deux. Ayant marqué les points *a*, *b*, *c*, *d*, *f*, *g*, *h*, *i*, *k*, on tracera avec une règle pliante, ou toute autre pièce de rapport passant par tous ces points, une courbe qui sera la moitié de la courbe appelée cycloïde. En opérant de la même manière on aura l'autre côté.

Il est essentiel de faire observer que la cycloïde ne peut servir que pour un seul cas, lorsque la hauteur de la naissance à la clef de voûte est les $\frac{7}{22}$ du diamètre.

Maintenant cette courbe se trouvant tracée comme cintre, il reste la manière de lui mener des perpendiculaires pour former les coupes des voussoirs. On obtiendra ce but au moyen de tangentes : par exemple du point g sur lequel on veut tracer une coupe, on mènera par ce point g et par l'extrémité de l'axe E les lignes gm et Ec parallèles à AB , dont la première coupera le cercle générateur au point k ; sur gm on prendra la longueur gk qu'on portera de E en Gc ; par les points G et g on mènera une ligne indéfinie qui sera tangente au point g , et la perpendiculaire go élevée à l'extrémité g de la tangente gG sera un trait de la coupe et sera perpendiculaire à la courbe. La même opération pourra être suivie pour obtenir toutes les autres coupes.

Du tracé des cintres à onze centres.

Le procédé de tracer des courbes composées de plus de trois arcs est un problème indéterminé qui peut donner lieu à bon nombre de solutions.

Pour obtenir ce but, il ne suffit pas de connaître le diamètre, la hauteur du cintre et le nombre d'arcs dont il doit être formé, il faut encore savoir si ces arcs doivent être d'un même nombre de degrés ou d'un nombre différent, et dans quelles proportions de degrés ils varient entre eux, ainsi que la longueur des rayons.

Cette étude donne lieu à plusieurs formules. Voici celle qui a servi à tracer la courbe du cintre des arches du pont de Neuilly, qui est formé de onze arcs de cercle (*fig. 3, Pl. 6*).

Première formule.

Cette courbe est plus ouverte que l'ellipse, et pour la tracer, après avoir déterminé le demi-diamètre AO de $49^m,50$, et la longueur du

rayon Ar des arcs des naissances aux tiers de Ao , on a divisé ro en quinze parties, dont on a donné une à ri , deux à il , trois à lm , quatre à mn , et cinq à nO . Ayant ensuite fixé OH au double de AO , on la divise en cinq parties égales, et des divisions p, q, s, t, H , on a mené des lignes à celles de l'horizontale AO , assez prolongées pour servir à déterminer la grandeur des arcs dont les centres sont donnés par le croisement de ces lignes. Telles sont les lignes prI, qiM, sIN, tmq et HnP , dont les points d'intersection h, g, f et e ont donné les centres des arcs intermédiaires. Ainsi e est le centre de l'arc IM, f celui de l'arc MN, g de l'arc Nq, h de l'arc qP, H de l'arc PJ .

On peut trouver, par le calcul trigonométrique, la valeur en degrés de chacun de ces arcs, et la longueur des rayons en considérant que l'angle ArI est égal à Orp , ce qui donne rO est à Op comme le rayon est à la tangente de l'arc cherché, qu'on trouvera de 90 degrés 58 minutes; de même les angles IeM, peq , étant égaux, donneront io est à oq comme le rayon est à la tangente de la somme des arcs AI plus IN , égale à 52 degrés 9 minutes, dont ôtant l'arc précédent, il reste 24 degrés 44 minutes pour l'arc cherché.

Les angles égaux MfN, qfs donneront IO est à Os comme le rayon est à la tangente de la somme des arcs $AI+IM+MN$, dont ôtant la somme des arcs $AI+IM$, le reste 43 degrés 53 minutes sera la mesure de l'arc MN : par le même procédé on trouvera l'arc Nq de 9 degrés 55 minutes, l'arc qP de 7 degrés 42 minutes, et l'arc PJ de 6 degrés 24 minutes.

La somme de ces arcs étant de 90 degrés, ils doivent former un demi-cintre qui se raccorde avec la tangente AB et BJ , dont une est horizontale et l'autre perpendiculaire; ainsi la courbe qui en résulte satisfait aux conditions qu'on se propose ordinairement dans la solution de ce problème. Cependant il faut observer que les arcs dont il est formé sont inégaux et ne suivent aucune progression régulière dans leur diminution en partant des naissances; ce qui doit nuire à l'uniformité de la courbure. Je pense qu'il serait mieux d'adopter dans la mesure de ces arcs un rapport déterminé.

Deuxième formule.

La *fig. 2, Pl. 6*, représente un demi-cintre composé de six arcs, dont l'ouverture va en augmentant en progression arithmétique depuis le milieu de la clef jusqu'à la naissance. On a déterminé le petit rayon Ar par la méthode de la formule qui précède, parce qu'elle convient à tous les rectangles dans lesquels des cintres elliptiques peuvent être inscrits. Ainsi, après avoir tiré la diagonale BO et décrit le quart de cercle AQ , on a fait l'angle ABn égal à l'angle $o'BQ$, et le prolongement de la ligne Bn a donné le point r sur le demi-diamètre AO , et le point H sur l'axe prolongé. Les deux points rH sont les centres des deux arcs extrêmes. Pour avoir ceux des quatre autres intermédiaires, on a tiré une parallèle irp à $Bo'O$ qui donne le premier arc AI de 27 degrés; cet arc est le sixième terme d'une progression arithmétique dont il s'agit de trouver le premier terme et la différence. Ainsi nommant x ce premier terme et d la différence, on trouvera la valeur de x égale à 3 degrés, et la différence d égale à 4 degrés 48 minutes; ainsi, l'arc AI étant de 27 degrés, IM sera de 22 degrés 12 minutes, MN de 17 degrés 24 minutes, Nq de 12 degrés 36 minutes, qP de 7 degrés 48 minutes, et JP de 3 degrés, et le tout ensemble de 90 degrés. La valeur de ces arcs étant connue, du point O et AO pour rayon, on a décrit le quart de cercle AB' , on a fait $B'C$ égal au cinquième de cet arc, qui donne 48 degrés. Cet arc, divisé en six, donne $t'B'$ de 3 degrés, qui est le premier terme de la progression arithmétique. Pour avoir la différence, on a divisé l'arc AC en quinze, qui donne RC pour cette valeur.

Ayant ensuite divisé pH en dix parties, on en a donné quatre à pq , trois à qs , deux à st , et une à tH .

Du point H et avec un rayon égal à OB' ayant décrit un arc, on a porté $t'B'$ de 1 en 2, et on a tiré $H2H'$ qui forme avec HB' un angle de 3 degrés.

Du point t et OB' pour rayon, on a décrit un second arc sur lequel on a porté de 3 en 4 la mesure des deux arcs JP et Pq pris ensemble, égale à deux fois $t'B'$ plus une fois RC ; et on a tiré $t4q$ qui

forme avec HB' un angle de 10 degrés 48 minutes, et avec HH' un de 7 degrés 48 minutes.

Du point s , on a décrit avec le même rayon un troisième arc sur lequel on a porté de 5 en 6 la mesure des trois arcs JP , qP et qN qui est égale à trois fois $t'B$ et trois fois RC , et on a tiré $s6N$, qui forme avec HB' un angle de 23 degrés 24 minutes, et avec tq un angle de 12 degrés 36 minutes.

Du point q on a décrit un quatrième arc, toujours avec le rayon OB' , sur lequel on a porté pour la mesure des quatre arcs JP , qP , qN et NM , de 7 en 8 quatre fois $t'B$ et six fois RC , et on a tiré $q8M$ qui fait avec HB un angle de 40 degrés 48 minutes, et un angle de 17 degrés 24 minutes avec sq .

Les points h, g, f, e où ces lignes se coupent, sont les centres des quatre arcs intermédiaires qui, avec les deux extrêmes r et H , ont servi pour tracer la courbe de ce demi-cintre, savoir : le point r pour l'arc AI , e pour l'arc IM , f pour l'arc MN , g pour Nq , h pour qP et H pour l'arc PJ .

Pour décrire ces arcs, on peut commencer par le petit AI ou par l'arc PJ ; mais dans tous les cas il faut opérer avec d'autant plus de précision pour arriver exactement au point J , quand on part du point A , ou au point A quand on part du point J , que la courbe est composée d'un plus grand nombre d'arcs. Cette observation est non-seulement applicable aux figures des planches 6 et 7, mais en général à toutes les courbes de ce genre.

Troisième formule.

Le cintre représenté (*fig. 2, Pl. 7*) est composé de onze arcs égaux, c'est-à-dire d'un même nombre de degrés. Pour le tracer, on a commencé par déterminer les centres r et H de la même manière que pour la figure précédente. Après avoir tiré la diagonale du rectangle BO , on a fait l'angle ABr égal; à QBO , et prolongé Br jusqu'en H , on a ensuite décrit du point O , et avec AO pour rayon, un quart de cercle AP , dont on a divisé la circonférence en six parties égales; du point r on a élevé une perpendiculaire jusqu'à la rencontre q du

rayon $O4$, tiré de la première division du quart du cercle; de ce point on a mené la parallèle qs à rO , qui coupe aux points 6, 7, 8, 9 les rayons tirés des divisions 2, 3, 4 et 5 du même quart de cercle. Après avoir porté les parties $q6$; 6, 7; 7, 8; 8, 9; et $9s$, de O en m , de m en l , de l en k , de k en i et de i en r , de ces points m, l, k, i, r , et avec un rayon égal à AO , on a tracé des arcs de cercle sur lesquels on a porté l'arc Ai de 15 degrés, une fois de 10 en E , deux fois de 11 en F , trois fois de 12 en G , quatre fois de 13 en C , et cinq fois de 14 en 15. Enfin, par les points Er, Fi, Gk, Cl et Hm , on a tiré des lignes dont le prolongement donne les arcs AI, IK, KL, LM, MN et NJ d'un même nombre de degrés, c'est-à-dire de 15 degrés. L'intersection de ces lignes donne de plus, comme dans les figures précédentes, les centres H, h, g, f, e et r , pour décrire ces arcs.

**Quatrième formule pour former avec le même nombre d'arcs de cercle
une imitation d'ellipse.**

La *fig. 1, Pl. 7*, représente un cintre qui a même hauteur et même diamètre que les précédents; il est tracé d'après la formule que nous avons indiquée plus haut.

On a divisé, comme dans l'exemple précédent, le quart de cercle AR en six parties égales aux points 1, 2, 3, 4 et 5, par lesquels on a mené des parallèles à RC .

Du point C et CB pour rayon, on a décrit un autre quart de cercle, divisé de même en six parties égales aux points 6, 7, 8, 9 et 10, par lesquels on a mené des parallèles à AC qui rencontrent les premières aux points I, K, L, M, N qu'on a joints ensuite par des lignes qui forment un polygone.

Sur le milieu de chacun des côtés de ce polygone, on a élevé des perpendiculaires indéfinies, dont les unes rencontrent les demi-diamètres AC et BC prolongés aux points d et H , et les autres se coupent entre elles aux points e, f, g, h , qui sont les centres des arcs répondant à chacun des côtés du polygone : ces arcs forment ensemble une courbe qui se rapproche beaucoup de l'ellipse.

Cette méthode facile est celle qui produit les cintres dont la courbe

est la plus uniforme, et qui joignent à la solidité incontestable la plus brillante élégance.

Néanmoins les cintres surbaissés les plus solides sont ceux qui sont formés par un seul arc de cercle.

Il est bien d'autres courbes que je pourrais traiter, telles que la parabole, l'hyperbole et la chaînette; mais toutes ces théories me jetteraient au delà des limites que je me suis proposées dans cet écrit, et je m'arrêterai pour passer aux projections.

DES PROJECTIONS.

On appelle épure le résultat de diverses projections à l'aide desquelles on se rend compte dans tous les sens des formes et des formes d'une partie d'un édifice. L'épure est le dessin du grandeur naturelle de la forme et de l'appareil de l'édifice tracé sur une table préparée à cet effet.

L'art de tracer les épreuves est la partie la plus essentielle de la coupe des pierres; aussi voit-on le général, dans toutes les constructions des grands édifices, les bâtiments du on appelle toujours un charpentier, sur une aide particulière de son art, on trace de grandeur naturelle toutes les parties de l'édifice avec les projections qui le déterminent dans toutes ses formes.

La théorie des projections est du ressort de la géométrie descriptive, et nous nous abstiendrons de traiter de cette science; cependant nous citerons quelques règles qui se rapportent au tracé des appareils des voûtes.

Les voûtes construites en pierres de taille sont composées de pierres de différentes formes on donne le nom d'arcs aux pierres qui composent le cintre d'une voûte à plusieurs faces qui existent dans grande quantité dans l'architecture; il se fait un art de faire l'arc, et qui devant être une partie de la surface d'un arc de voûte, tout est écarté d'une plus grande projection; les faces qui se joignent les voûtes sont appelées à plusieurs faces les faces se joignent les voûtes sont appelées à plusieurs faces jointes. Les joints existent aussi la plus grande exactitude dans

CHAPITRE XV.

DES PROJECTIONS.

On appelle épure le résultat de diverses projections à l'aide desquelles on se rend compte dans tous les sens des mesures et des formes d'une partie d'un édifice. L'épure est le dessin de grandeur naturelle de la forme et de l'appareil de l'édifice tracé sur une aire préparée à cet effet.

L'art de tracer les épures est la partie la plus essentielle de la coupe des pierres ; aussi voit-on en général, dans toutes les constructions des grands édifices, des bâtiments qu'on appelle *hangars aux épures* : là, sur une aire parfaitement de niveau, on trace de grandeur naturelle toutes les parties de l'édifice avec les projections qui le déterminent dans toutes ses formes.

La théorie des projections est du ressort de la géométrie descriptive, et nous nous abstenons de traiter de cette science ; cependant nous citerons quelques règles qui se rattachent au tracé des appareils des voûtes.

Les voûtes construites en pierres de taille sont composées de pièces distinctes auxquelles on donne le nom générique de voussoirs : chaque voussoir a plusieurs faces qui exigent la plus grande attention dans l'exécution : 1° la face qui doit faire parement, et qui devant être une partie de la surface visible de la voûte, doit être exécutée avec la plus grande précision ; 2° les faces par lesquelles les voussoirs consécutifs s'appliquent les uns contre les autres se nomment généralement joints. Les joints exigent aussi la plus grande exactitude dans

leur exécution ; car la pression se transmettant d'un voussoir à l'autre perpendiculairement à la surface du joint , il est nécessaire que les deux pierres se touchent par le plus grand nombre possible de points , afin que pour chaque point de contact la pression soit la moindre et que pour tous elle approche le plus de l'égalité. Il faut que dans chaque voussoir les joints approchent le plus de la véritable surface dont ils doivent faire partie ; et pour que cet objet soit plus facile à remplir , il faut que la surface des joints soit de la nature la plus simple et de l'exécution la plus susceptible de précision. C'est pour cela que l'on fait les joints plans ; mais les surfaces de toutes les voûtes ne comportent pas cette disposition , et dans quelques-unes on blesserait trop les convenances si l'on ne donnait pas aux joints une surface courbe. Dans ce cas , il faut choisir parmi toutes les surfaces courbes qui pourraient d'ailleurs satisfaire aux autres conditions , celles dont la génération est la plus simple et dont l'exécution est plus susceptible d'exactitude. Or , de toutes les surfaces courbes , celles qu'il est plus facile d'exécuter , sont celles qui sont engendrées par le mouvement d'une ligne droite et sur toutes les surfaces développables ; ainsi , lorsqu'il est nécessaire que les joints des voussoirs soient des surfaces courbes , on les compose autant qu'il est possible de surfaces développables.

Une des principales conditions auxquelles les formes des joints des voussoirs doivent satisfaire , c'est d'être partout perpendiculaires à la surface de la voûte que ces voussoirs composent ; car , si les deux angles qu'un même joint fait avec la surface de la voûte étaient sensiblement inégaux , celui de ces angles qui excéderait l'angle droit serait capable d'une plus grande résistance que l'autre , et dans l'action que deux voussoirs consécutifs exercent l'un sur l'autre , l'angle plus petit que l'angle droit serait exposé à éclater ; ce qui , au moins , déformerait la voûte et pourrait même altérer sa solidité , et diminuer la durée de l'édifice.

Lors donc que la surface d'un joint doit être courbe , il convient de l'engendrer par une droite qui soit partout perpendiculaire à la voûte ; et si l'on veut de plus que la surface du joint soit développable , il faut que toutes les normales à la surface de la voûte et qui composent pour ainsi dire le joint , soient consécutivement deux à deux dans un même plan. Or nous venons de voir que cette condition ne peut être

remplie à moins que toutes les normales ne passent par une même ligne de courbure de la surface de la voûte ; donc si les surfaces des joints des voussoirs d'une voûte doivent être développables, il faut nécessairement que ces surfaces rencontrent celle de la voûte dans ses lignes de courbure.

D'ailleurs, avec quelque précision que les voussoirs d'une voûte soient exécutés, leur division est toujours apparente sur la surface ; elle y trace des lignes très-sensibles, et ces lignes doivent être soumises à des lois générales et satisfaire à des convenances particulières selon la nature de la surface de la voûte. Parmi les lois générales, les unes sont relatives à la stabilité, les autres à la durée de l'édifice ; de ce nombre est la règle qui prescrit que les joints d'un même voussoir soient rectangulaires entre eux par la même raison qu'ils doivent être eux-mêmes perpendiculaires à la surface de la voûte : aussi les lignes de division des voussoirs doivent être telles que celles qui divisent la voûte en assises soient toutes perpendiculaires à celles qui divisent une même assise en voussoirs. Quant aux convenances particulières, il y en a de plusieurs sortes, et notre objet n'est pas ici d'en faire l'énumération ; mais il y en a une principale : c'est que les lignes de division des voussoirs qui, comme nous venons de le voir, sont de deux espèces, et qui doivent se rencontrer toutes perpendiculairement, doivent aussi porter le caractère de la surface à laquelle elles appartiennent. Or il n'existe pas de ligne sur la surface courbe qui puisse remplir en même temps toutes ces conditions, que les deux suites de lignes de courbure, et elles les remplissent complètement ; ainsi la division d'une voûte en voussoirs doit donc toujours être faite par des lignes de courbure de la surface de la voûte, et les joints doivent être des portions de surfaces développables formées par la suite des normales à la surface qui, considérées consécutivement, sont deux à deux dans un même plan ; en sorte que pour chaque voussoir les surfaces des quatre joints et celles de la voûte sont toutes rectangulaires.

CHAPITRE XVI.

ÉTUDE D'UN AQUEDEDUC A $1/4$ DE CÔNE DE 2 MÈTRES D'OUVERTURE POUR ROUTE.

L'étude d'un aqueduc quelconque consiste à tracer sur le papier, d'après une échelle convenable pour représenter distinctement toutes les parties de la construction, le plan suivant le débouché du ruisseau ou ravin traversé, et la largeur de la route; ensuite, au moyen des projections du plan, du profil sur l'axe du ruisseau et du profil en travers de la route, on construit l'élévation, la coupe en long suivant l'axe de l'aqueduc et la coupe en travers. Tous ces divers dessins, dont les épaisseurs de mur sont déterminées d'après les dimensions du tableau (page 88), sont essentiels pour faire le métré et l'évaluation de l'aqueduc.

La *fig. 1* (Pl. 8) représente la moitié du plan de l'aqueduc; la *fig. 2* en est la coupe en long; la *fig. 3*, l'élévation d'une tête de l'aqueduc; la *fig. 4* est la coupe d'un $1/4$ de cône suivant la ligne du plan CD, et la *fig. 5* est la coupe en travers suivant l'axe EF.

C'est donc d'après tous les éléments de détail et d'ensemble que présentent les figures de la planche 8 que nous avons dressé et établi avec méthode le métré détaillé et l'évaluation de cet aqueduc qui fait l'objet des trois tableaux qui suivent d'autre part.

Mètre détaillé de l'aqueduc (Pl. 8).

INDICATION DES MAÇONNERIES.	DIMENSION.	CUBE.	Déblais des terres pour fouilles.		MAÇONNERIE DE					
			m. c.	m. c.	pierre de taille.		moellon piqué.		moellon ordinaire.	
					taille.	cube.	taille.	cube.		m. c.
	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	
Déblais de terre pour fouille des fondations des deux culées des murs en retour et des 1/4 de cône.	Long.	13.00	67.00							
	Larg.	1.50								
	Epais.	1.00								
	Un semblable. . .	19.50								
	Long.	9.00								
	Larg.	1.00								
Prof.	1.00	9.00								
Un semblable. . .	9.00									
4 1/4 de cône. . .		10.00								
<i>Maçonnerie ordinaire.</i>										
Murs des fondations G, fig. 1, 5. . .	Long.	11.25	11.25	»	»	»	»	»	11.25	
	Larg.	1.00								
	Haut.	1.00								
Pour un semblable G'.			11.25	»	»	»	»	»	11.25	
Culée H jusqu'à la naissance.	Long.	8.75	9.85	»	»	»	»	»	9.85	
	Larg.	0.75								
	Haut.	1.50								
Pour une semblable H.			9.85	»	»	»	»	»	9.85	
<i>Moellon piqué.</i>										
Radier, fig. 1, 2, 3.	Long. 11.00	25.30	7.59	»	»	»	25.30	»	7.59	
	Larg. 2.30									
	Epais.									0.30
Voûte, fig. 5 (cube plein).	Long. M. D.	10.00	43.89	»	»	»		»		
	Larg.									3.30
	Haut. M.									1.33
Vide à déduire, demi-cintre, fig. 5. . .	Long.	10.00	18.15	»	»	»		»		
	Courbe D.									3.30
	1/2 rayon.									0.55
A déduire le cube du moellon piqué de la voûte.	Long.	9.00	11.49	»	»	»	32.49	11.49		
	Larg. D.									3.61
	Epais. M.									0.35
Reste pour maçonnerie ordinaire.			14.25	»	»	»	»	»	14.25	
<i>Murs de tête.</i>										
1 ^{re} partie jusqu'à la naissance.	Long.	8.50	7.65	»	»	»		»		
	Haut.									1.50
	Epais.									0.60
2 ^e partie jusqu'au couronnement.	Long.	8.50	7.65	»	»	»		»		
	Haut.									1.80
	Epais.									0.50
Pour un mur semblable (2 parties).			15.30							
Total.			30.60							
Vide à déduire. { Long. 2.00 Haut. 1.86 } 2.07	Epais. 0.55	2.07	4.14	»	»	»		»		
Pour un semblable.			25.46							
Pierre de taille à déduire. { Long. D. 14.50 Haut. . . 0.30 } 1.74	Epais. . . 0.40	1.74	3.48	»	»	»	4.35	3.48		
Pour un semblable.			1.74				4.35			
			21.98							
A déduire le moellon piqué. { Long. . . 4.00 Larg. . . 0.333 } 3.996	Haut. . . 3.00	3.996	8.00	»	»	»	12.00	12.00	8.00	
Pour un semblable.			3.996							
Reste pour maçonnerie ordinaire.			13.98	»	»	»	»	»	13.98	
A reporter.				67.00	8.75	3.48	81.79	27.08	70.43	

Suite du métré.

DÉSIGNATION DES MAÇONNERIES.	DIMENSION.	CUBE.	Déblais des terres pour fouille.	MAÇONNERIE DE				
				pierre de taille.		moellon piqué.		moellon ordinaire.
				taille.	cube.	taille.	cubé.	
<i>Report.</i>	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.
<i>Quarts de cône.</i>			67.00	8.75	3.48	81.79	27.08	70.43
<i>Fig. 5, partie PQ.</i> { Long. M. 3.00 } { Haut. D. 4.40 } { Epais. M. 0.55 }	7.26	29.04	»	»	»	13.20	39.60	
Pour trois semblables.	21.78							
A déduire le moellon piqué. { Long. 3.0 } { Haut. 4.4 } { Epais. 0.5 }	4.02	16.08	»	»	»	»	16.08	
A déduire pour trois semblables.	12.06	12.96	»	»	»	»	»	12.96
TOTAUX.			67.00	8.70	3.48	134.59	43.16	83.39

Pour cette sorte d'aqueducs jusqu'à 3^m,50 d'ouverture, on forme dans l'exécution les fermes des cintres avec des planches de 0^m,04 d'épaisseur redoublées les unes sur les autres à moitié joints et assemblées ensemble comme la charpente de navire. Ces fermes que nous reproduisons (*fig. 5, Pl. 8*) réunissent la solidité à l'économie. On place les fermes sur des poteaux, espacés de 1 mètre d'axe en axe.

Voici le métré des cintres de cet aqueduc.

NOMS ET INDICATION DES PARTIES D'OUVRAGES.	LON- GUEUR.	HAU- TEUR.	ÉPAIS- SEUR.	CUBES	
				partiel.	total.
<i>Pour une ferme.</i>					
2 poteaux contre les culées de 2 mètres cha- cun et pour 2 poteaux.	4 00	0.15	0.15	0.090	
1 poteau sur l'axe, ci.	2.20	0.12	0.12	0.032	
6 planches de 2 ^m .20 chacune, et pour 6 planches.	13.20	0.25	0.04	0.132	
Cube pour une ferme.	»	»	»	0.254	
Pour 10 fermes semblables.	»	»	»	2.054	
Cube pour 11 fermes.	»	»	»	»	2.79
<i>Plancher des cintres.</i>					
75 planches de 2 mètres de longueur et de 0 ^m .20, ci.	2.00	0.20	0.04	0.016	
Pour 74 planches semblables, ci.	»	»	»	1.184	
Cube pour le plancher des cintres.	»	»	»	»	
Cube total des cintres.	»	»	»	»	3.99
Clous et pointes 2000 de 0 ^m ,08, pesant en- semble 10 kilog., ci.	»	»	»	10.00	

CHAPITRE XVII.

MÉTHODE GÉNÉRALE POUR DRESSER L'APPAREIL DES PONTS HÉLICOÏDES.

Lorsqu'une grande communication quelconque en traverse une autre obliquement et que ce passage donne lieu à la construction d'un pont ou d'un aqueduc ou d'un viaduc, toujours ces constructions se trouvent obliques par rapport à la voie qu'elles traversent : et cette obliquité s'appelle le biais ; et plus l'intersection des deux voies qui se rencontrent s'éloignera de la perpendiculaire, plus le biais sera réputé grand.

Si l'on suivait pour l'appareil de ces ponts les mêmes règles que pour les ponts droits, les voussoirs de tête seraient coupés suivant l'inclinaison du plan qui produit le biais ; mais cette manière d'établir l'appareil choquerait le bon goût et nuirait essentiellement à la solidité et à la durée du monument, parce que les angles des voussoirs de tête étant inégaux, l'un aigu et l'autre obtus, on conçoit que dans un semblable appareil la poussée des voussoirs qui agiraient les uns contre les autres tendraient à faire rompre tous les angles aigus des voussoirs et pourraient ainsi compromettre la solidité du monument, après lui avoir ôté sa beauté.

On obvie parfaitement à cet inconvénient en divisant les voussoirs de chaque tête comme si le biais n'existait pas, et on rachète le biais par des assises qui se perdent à zéro de chaque côté des pieds-droits, ainsi que nous l'avons fait dans l'étude qui suit (*Pl. 10*).

Étude d'un pont hélicoïde en plein cintre.

Pour développer convenablement l'exposé de la méthode générale qui précède, nous avons eu l'idée de présenter, comme application des principes et des règles qu'elle pose, l'étude d'un pont hélicoïde en plein cintre : cet appareil offre des avantages considérables sous le triple point de vue de la simplicité du taillage, de la beauté des formes et de la solidité du monument ; il s'harmonise de la manière la plus heureuse avec les constructions en brique et en moellon piqué. Les principes de stéréotomie y sont rigoureusement observés pour que la poussée des voussoirs soit uniformément répartie entre tous, et pour que son effort se fasse parallèlement aux têtes.

Cela posé, considérant une surface de douelle cylindrique, et soit ABC (*fig. 4, Pl. 10*), la section droite qui sera une demi-circonférence.

Soit en plan AD la direction d'une des têtes du pont, et l'angle CAD, qui est de 22 degrés, sera réputé le biais du pont.

Du point O, milieu de AD, menons la perpendiculaire B'B'' ; tirons les droites AB' et B'D, et des points E, F, milieu de ces droites, abaissons deux perpendiculaires qui couperont la droite B'B'' en un point O', et ce point sera le centre de l'arc AB'D représentant l'hélice de tête.

D'une ouverture de compas égale à O'B' (*fig. 4*) nous avons tracé l'arc A'B''C' (*fig. 3*), et nous l'avons divisé en 47 parties égales pour former les voussoirs de tête.

Pour obtenir le développement des voussoirs sur le cylindre de douelle, nous avons tracé (*fig. 2*) la demi-circonférence AB''C représentant la section droite dudit cylindre, et nous avons divisé cette demi-circonférence en 47 parties égales, et de chacun de ces points de division nous avons descendu des ordonnées que nous avons prolongées jusqu'aux lignes de tête développées M'N et MN'. La ligne PQ indique l'axe transversal du demi-cylindre et la droite RS son axe longitudinal.

Les droites M'N et MN', destinées à être les développantes des têtes, ont été divisées en 47 parties égales à la division des voussoirs de tête, de manière que l'axe longitudinal soit le milieu de la 24^e division qui est la clef de voûte des têtes.

Sur la ligne MN' par la division h entre (23 et 24), élevons la perpendiculaire ou à peu près, c'est-à-dire tirons une ligne qui rapproche le plus possible de la perpendiculaire, en allant rencontrer un point de division de la droite $M'N$: soit hh' cette ligne; en sorte que le voussoir de tête 24, ou la clef, se trouve correspondre à la treizième assise de la tête opposée. D'après ces bases, l'assise de naissance, ou n° 1, correspond à l'assise n° 12, et les joints de ces assises donnent des hélices longitudinales qui se trouvent représentées par la coupe en travers (*fig. 4*).

Le développement $TUVX$ du cylindre de douelle est formé au moyen des ordonnées du cylindre, comprises entre la section droite AC et les sections obliques $A'N$ et $A''C''$ représentant les têtes, rapportées sur les divisions de la courbure développée des têtes.

Pour tracer l'appareil des hélices longitudinales (*fig. 4*), rien n'est plus facile. Les cintres étant posés, et au moyen de règles flexibles, on trace la ligne hh' (*fig. 2*) ainsi que toutes les autres lignes parallèles de droite et de gauche. Toutes ces lignes que l'on trace en plan sur les cintres se trouvent représentées en projection verticale sur la *fig. 4*, et forment toutes les hélices longitudinales depuis le n° 1 au n° 24.

D'après ce tracé, on voit que l'assise n° 24, qui est la clef, correspond à l'assise n° 13 de la tête opposée; en sorte que le biais comprend 11 assises qui viennent se perdre dans les pieds droits, et l'assise n° 1, comme nous l'avons dit, correspond à la 12^e de la tête opposée.

Pour que la liaison de ces assises qui se perdent de chaque côté dans les pieds-droits, soit pratiquée suivant les règles de la stéréotomie, il faut que l'assise des naissances forme à la fois pied-droit et intrados, suivant les coupes de pierre $a, b, c, d, f, g, h, i, k$ (*fig. 2* et *4*), et nous appellerons ces voussoirs coussinets, ou voussoirs de naissance.

On conçoit que tout cet appareil se trouvera établi suivant les règles les plus rigoureuses de la stéréotomie, les joints toujours perpendiculaires aux surfaces. Néanmoins, comme les angles aigus des voussoirs de tête pourraient être difficiles à conserver pendant la construction et pourraient bien éclater au premier choc du décintrement, pour obvier à cet inconvénient, on a pratiqué dans les deux angles aigus des culées, un pan coupé qui est d'équerre au plan de tête et qui se

prolonge dans la voûte par un évasement qui se termine à 0 à l'axe de la clef; on appelle cette coupure gueule de cloche: RU et SX (*fig. 2*) représentent en plan cette gueule de cloche au moyen de hachures, et z , z' et z'' (*fig. 4*) et J, A' et B''' (*fig. 3*) la représentent en élévation et en projection verticale. Voici comme on trace cette surface: l'hélice de tête ayant été divisée en voussoirs, et Jh étant le dernier joint, on mesure $0^m,20$ de chaque côté des angles aigus A'', A''' du plan (*fig. 1*), et on tire les lignes A''a et A'''a'. De plus, on porte $0^m,20$ de J en A'' (*fig. 3*) et d'une ouverture de compas égale à $o''J$, on trace le quart de circonférence JB''' sur l'intrados, en plaçant le centre à $0^m,20$ à la droite du centre O''. Ce quart de circonférence indique la trace de la gueule de cloche qui consiste à enlever, à partir du premier voussoir de naissance, $0^m,20$ de chaque côté de l'angle aigu, allant en diminuant pour se perdre à 0 à la clef.

Cela posé, nous opérons le raccordement de ce plan avec la douelle au moyen d'une surface droite qui a pour sommet le point z' et pour base z et z'' (*fig. 4*) et (*fig. 3*) B''' au sommet et JA'' à la base; et pour directrice la courbe B'''A'' qui est absolument identique à la courbe de tête, qui devient ainsi une intersection visible du berceau cylindrique avec la surface d'évasement que nous avons appelé gueule de cloche.

On voit de suite par ces deux surfaces qui ont un plan tangent commun suivant l'arête commune B'''J, et on comprend comment, dans la gueule de cloche qui se projette sur le triangle $z z' z''$, la quantité de pierres va en diminuant depuis $z z''$ à z' où elle est nulle (*fig. 4*); par ce moyen, il ne reste pas le plus petit angle aigu dans les voussoirs de tête. Quant à la nouvelle courbe d'intrados de tête, c'est une hélice plus ouverte que l'hélice de tête, et l'effet qu'elle produit est très-agréable à l'œil.

Il y a, pour la taille, à distinguer trois sortes de voussoirs: de tête; courants de la douelle qui sont tous égaux et qu'on peut remplacer, dans l'exécution, par des cours de brique ou de moellon smillé; enfin les coussinets ou naissances de la voûte.

Pour lever des panneaux de ces voussoirs, il est indispensable de faire l'épure (chap. 15, p. 114) que nous supposons représentée par les quatre *fig. 1, 2, 3 et 4*. La *fig. 2* comprenant le développement de la douelle sur lequel est tracée la courbe de la section droite du

CHAPITRE XVIII.

CONSTRUCTION DES CINTRES.

L'étude des cintres, comme leur construction, repose sur la théorie de la force et de la résistance des bois combinée avec l'art de disposer ces bois à l'effet d'obtenir le plus de puissance à opposer à l'effort qui tend à les rompre ou à les renverser (*Force des bois*, p. 77).

Nous avons indiqué (p. 449) la manière économique de construire les cintres pour des ouvertures d'aqueducs jusqu'à 3^m,50 de diamètre.

Tous les constructeurs anciens et modernes sont d'accord que les points de rupture des voûtes se trouvent par l'inclinaison de 30°; c'est-à-dire que dans une voûte les douelles ou voussoirs se maintiennent sur leur lit de pose sans avoir besoin d'être retenus par des supports ou cintres, jusqu'à ce que leur inclinaison de la circonférence au centre forme avec l'horizon un angle de 30 degrés (soit AC ces points, *fig. 3, Pl. 10*).

Cela posé, il est évident que la charge des cintres prend naissance aux points A et C, en allant toujours en augmentant jusqu'aux voussoirs qui touchent la clef, et son action ne commence à diminuer qu'après la pose de la clef.

Dès lors, pour déterminer les dimensions des bois et la disposition du cintre, il faut faire le cube de la voûte AB''C dont la courbure est un arc de cercle de 11,90 de développement, et on a la surface de la douelle 11^m,90 × 12, largeur du pont, = 142^m,80 }
 l'ouverture étant de 12 mètres, l'épaisseur } cube 125^m,66.
 sous la clef (p. 88) sera 0^m,88 }

Le poids du mètre cube de maçonnerie de pierre de taille étant de 3500 kilog. (p. 75), on aura pour le poids que les cintres doivent soutenir 439,840 kilog.

Nous avons trouvé (p. 77) la résistance absolue du bois de bout de 6 kilog. par millimètre carré; dès lors la section des supports sera de $\frac{439,840^k}{6} = 73,302^{mm}$ superficiels; huit fermes soutiendront la voûte

d'ou chaque ferme aura à soutenir 54976 kilog. soit 55000 kilog. pour faire équilibre à ce poids; le support devra avoir 9166 millimètres carrés de section; d'après ces bases, on lui donnera d'équarrissage $300^{mm} \times 300^{mm} = 90000$ millimètres carrés pour qu'il oppose une résistance dix fois plus forte que la puissance absolue capable de le faire rompre, et pour les huit fermes il faudra huit supports semblables.

Après avoir déterminé l'équarrissage des supports, il s'agit de calculer les dimensions à donner aux entrails.

Pour les bois horizontaux dont les extrémités reposent sur deux appuis, nous avons la force absolue par la formule $\frac{a s}{r}$ (p. 78), et comme dans l'espèce de cintre qui nous occupe il y aurait un support au milieu, la portée horizontale entre les appuis serait de 4 mètres et aurait à faire équilibre à $\frac{55000^k}{2}$, poids que doit supporter chaque ferme, comme nous venons de le voir.

Nous aurons la section des bois (l'épaisseur soit le 16^e de la longueur) en multipliant le poids absolu à supporter (27500) par le rapport de l'épaisseur à la longueur (26) et le produit divisé par la force absolue du bois par millimètre carré (6 kilog.) soit $\frac{27500 \times 26}{6} = 6680$ millimètres carrés pour la section de l'entrait, ce qui porte l'équarrissage de $0,300 \times 0,200 = 60,000$ millimètres. On voit que cette charpente serait dans une condition d'équilibre satisfaisante pour résister à l'effort qui tend à la rompre.

Du décintrement.

Après qu'on est assuré que les mortiers sont parfaitement secs, ce qui a lieu quinze jours après la pose de la dernière clef de voûte, on procède au décintrement. On ne saurait jamais apporter trop de soin à cette opération pour qu'elle se fasse simultanément sur tous les points sans secousses ni soubresauts, afin que le tassement soit uniforme partout.

Aussi proposons-nous que chaque point d'appui des fermes soit armé d'une vis de rappel reposant sur la base des supports et servant à régler les cintres pendant la construction et destiné à opérer le décintrement simultané. Cette vis pour chaque ferme est représentée en E'''. On la voit encore reproduite dans la planche 9, fig. 4.

Observations essentielles sur le tracé des cintres.

En général, pour tracer les cintres de manière à déterminer la meilleure combinaison de charpente capable de résister solidement aux efforts des voussoirs, on commence par déterminer la position de l'entrait.

A cet effet, par les points AB, fig. 1, 2, 5 (p. 9), quel que soit le cintre de la voûte, surbaissé, surhaussé ou plein cintre, on tire deux tangentes indéfinies qui se rencontrent au point C par lequel on abaissera une perpendiculaire à la courbe, et les points D, D' indiqueront la position de l'entrait (fig. 1), et partageant la portion HB en trois, quatre ou cinq parties égales, suivant sa longueur développée, on mènera par les points de division E, D, G, H d'autres perpendiculaires à la courbe qui indiqueront la position de poinçons intermédiaires. Du point I où la direction du premier rencontrera l'entrait, on tirera la ligne I'IL qui déterminera la position d'une jambe de force pour soutenir la partie de l'entrait ID et l'arbalétrier I'D. La partie au-dessous de l'entrait sera divisée en deux parties égales, et on tracera les deux poinçons GM, HL, etc. La portion QR s'appelle estacade; elle peut

être formée par des piquets plantés au refus et reliés entre eux par des moises et des traversines, ou bien être faite en charpente comme on le voit en ST. On parvient à connaître la grosseur à donner à tous les bois qui composent les cintres de la *fig. 1*, au moyen des formules que nous avons employées pour le cintre qui précède.

L'usage des cintres que nous venons d'expliquer (*fig. 1*) a été abandonné pour les grandes arches, et on les a remplacés par un système de charpente qui joint la solidité la plus complète à l'élégance la plus gracieuse.

La *fig. 2* est un plein cintre de 20 mètres de diamètre. Les cintres reposent sur des piquets battus au refus du mouton de 600 kilog., et solidement reliés entre eux par des doubles rangs de moises avec traversines. Ces cintres forment trois parties, les deux estacades DF' et cF et la ferme DBCB'. Les longrines sont maintenues à leurs points de croisement par des boulons.

La *fig. 3* représente la coupe en travers de la ferme suivant l'axe BB'; *m, n, o, p* indiquent le système d'assemblage des longrines maintenues entre deux moises par des boulons. Comme on le voit, les joints des longrines sont alternativement coupés, et par leur disposition ils concourent tous de la circonférence au centre. LM, moise vue de côté pour indiquer la coupe des entailles destinées à recevoir les longrines; NO, face intérieure de la même moise indiquant en plan la face des mêmes entailles.

Pour tracer ces cintres, après avoir déterminé les points CD, on partage la partie DB en plusieurs parties égales suivant son développement et on tire, de chaque point de division au centre, des lignes qui indiquent la direction des moises; on en fait de même pour la partie BC, comme pour celle G'D et cG qui doivent former les estacades, et on trace enfin les moises FG, *ab, cd, c'd', ef, gh, BB'*, etc.: cela fait, on trace la position des longrines telles qu'elles sont indiquées avec les moises qui les relient entre elles (*fig. 2*).

VV', ED, indiquent six vis de rappel supportant la ferme CDB: ces vis sont principalement destinées au décintrement tel que nous l'avons expliqué plus haut. La *fig. 4* représente une de ces vis à l'échelle de 0^m,10 par mètre; les pièces de bois qui recouvrent les écroux sont indiquées coupées par un plan horizontal passant par une face latérale des écroux. Les moises dépassent la courbure des cintres de 0^m,20 de

hauteur: cela a été fait en vue de régler avec plus de facilité la mise en place des couchis au fur et à mesure de la pose des voussoirs qui doivent y reposer dessus.

La *fig. 5* représente un cintre elliptique surbaissé ayant trois centres et tracé d'après la formule (p. 408). Ce cintre est construit suivant le système de la *fig. 2*; mais comme l'ouverture est double et que de plus la courbe étant plus aplatie, les longrines se trouvent plus longues et plus nombreuses; et cela doit être à cause d'une double résistance qu'elles doivent opposer. Nous avons représenté ce cintre d'après deux systèmes d'assemblage qui diffèrent peu l'un de l'autre et joignent au même titre l'économie à la convenance.

Le règlement de ces cintres comme leur décintrement s'opèrent au moyen de vis de rappel, placées aux points de jonction de la ferme avec les estacades.

D'après ce système de construction, plus les cintres sont chargés, plus ils tendent à se consolider sous le poids qui les comprime toujours également dans la direction uniforme de la circonférence au centre.

A mesure que les maçonneries des reins de la voûte avancent également vers la clef, il est toujours prudent de charger la partie supérieure des cintres, afin de conserver également partout leur parfaite uniformité de courbure.

Enfin, pour prévenir dans la pose des voussoirs de tête toute espèce d'erreur, on a soin de placer de chaque côté des cintres et d'une naissance à l'autre de l'arche des règles graduées sur lesquelles se trouvent marqués tous les cosinus d'extrados et d'intrados que forment les voussoirs de tête.

CHAPITRE XIX.

PONTS EN FONTE DE FER.

On a construit des ponts en fonte de fer d'après différents systèmes, et c'est en Angleterre que ces sortes de constructions ont pris naissance; mais le système Polonceau, dont le magnifique pont du Carrousel est l'heureuse application, est celui qui a eu jusque aujourd'hui la préférence sur tous les autres.

Cet habile constructeur fait remarquer avec raison que les arcs sont ce qu'il y a de plus essentiel, et qu'il est toujours difficile d'en déterminer rigoureusement les dimensions à cause de la variation que présente la résistance des fontes soumises à l'épreuve, tandis que les entretoises, les tympanes et autres accessoires demeurent à peu près les mêmes, quelle que soit l'ouverture. Il ajoute que la poussée des fermes est d'autant plus considérable que la courbure de l'arc est plus aplatie, et que dans ce cas, au lieu d'être uniformément répartie sur toute la surface des culées, comme dans les voûtes en maçonnerie, elle n'exerce son effet que sur une certaine longueur auprès des embasses; cette circonstance ne permettant pas de déterminer rigoureusement cette longueur, on se trouve dans l'embarras pour fixer exactement l'épaisseur à donner aux culées.

C'est pourquoi nous nous abstenons de faire une étude approfondie de ces constructions comme nous l'avons faite pour les ponts suspendus; néanmoins nous avons pensé être agréable à nos lecteurs en leur offrant dans le tableau qui suit, que nous devons à l'obligeance d'un

de nos anciens camarades, les dimensions du magnifique pont du Carrousel.

Pont du Carrousel.

LONGUEUR		Hauteur des culées jusqu'à la naissance de l'arc.	Épaisseur moyenne des culées.	Rapport de l'épaisseur à celle des culées d'une voûte en plein cintre	Hauteur de l'arc.	Épaisseur de la fonte.	DIAMÈTRE de l'ellipse intérieure ou vide		Surface de la section	Rapport de la surface S de la section à la corde C.
de la corde.	de la flèche.						horizontal.	vertical.		
m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	
47.70	4.90	5.00	10.60	1.80	0.88	0.04	0.33	0.58	0.076	$S=0.00159C$

D'après ces résultats on peut adopter le rapport $S = 0,00159 C$ pour les ponts ayant de 40 mètres à 50 mètres d'ouverture et surbaissés au 4/10.

CHAPITRE XX.

DES PONTS SUSPENDUS.

Considérations générales.

L'étude des ponts suspendus est une branche essentielle des connaissances générales que doivent posséder tous les hommes qui s'occupent de travaux publics. L'ouvrage de Navier, sur les ponts suspendus, est ce qu'il y a de plus exact et de plus positif en ce genre.

L'origine des ponts suspendus est ancienne, dit Navier ; on la trouve dans les ponts de corde des cordelières et dans les ponts de chaînes de la Chine et du Tibet.

L'art de les construire repose essentiellement sur les lois de la statique, et voici les principes posés et développés par Navier dans son savant ouvrage sur la théorie de ces ponts qui donnent lieu à la solution de divers problèmes qui se rattachent, savoir :

1° A l'équilibre des chaînes chargées uniformément de divers poids dans toute leur longueur ;

2° A l'action des fardeaux placés sur le plancher d'un pont pour changer la figure des chaînes et en augmenter la tension ;

3° A l'équilibre des supports sur lesquels reposent les chaînes, principalement quand il y a plusieurs travées à la suite les unes des autres ;

4° A la détermination de la grosseur des chaînes, d'après la résistance du fer forgé ;

5° A l'allongement des chaînes et à l'abaissement du plancher par suite de l'extensibilité du fer produite par la chaleur ;

6° A l'action des oscillations verticales du plancher, en supposant les chaînes parfaitement flexibles et inextensibles ;

7° A l'action du vent sur le tablier et des oscillations horizontales des chaînes ;

8° Enfin à l'équilibre de tout le système, en ayant égard au poids des chaînes et des tiges de suspension.

Tous ces problèmes forment la théorie des divers cas de ponts suspendus, et c'est de la connaissance de leur solution qu'on peut arriver à faire convenablement l'étude d'un projet de pont suspendu.

Il résulte des formules de Navier que la tension des chaînes ne doit jamais dépasser 44 kilog. par millimètre carré de section transversale. Le poids absolu que supporte le fer en barre est de 40 kilog. par millimètre carré, avant de se rompre ; mais comme l'usage a prévalu de confectionner les chaînes avec des fils de fer réunis en faisceaux et formant des câbles, tous les constructeurs ont adopté 18 kilog. de *maximum* de tension par millimètre carré de la section transversale des câbles.

On confectionne les câbles avec des brins de fil de fer depuis le n° 10 jusqu'au n° 20 ; mais le n° 18 est de tous les brins celui qui est le plus employé.

Néanmoins, quel que soit le numéro qu'on emploie pour la confection des câbles, nous avons dressé le tableau suivant des fils de fer, afin que, connaissant la section transversale et le poids du mètre courant de chaque numéro, on soit toujours à même de déterminer le nombre des brins qui doivent former les câbles d'un pont d'après la résistance du fer.

Tableau des fils de fer,

NUMÉROS.	DIAMÈTRE en millimètres.	RAPPORT de la circonfé- rence au diamètre et périmètre.	SECTIONS.	CUBE	POIDS	POIDS	OBSERVATIONS.
				par mètre courants.	d'un mètre cube de fer.	du mètre courant.	
	mm.		mm.	mm.	k.	k. g.	
10	0 001.25	3.1416	1.200.000	1.200.000	7.788	0.009.346	Les fils de fer ne sont pas toujours cotés et classés dans le commerce avec une rigoureuse précision : aussi est-il indispensable que tout constructeur vérifie, avant de le mettre en œuvre, le classement des brins en coupant un mètre de longueur de chaque numéro qu'il pésera séparément. Par le poids qui devra toujours rencontrer un de ce tableau, il aura le numéro en regard.
11	0 001.50	»	1.770 000	1.770.000	»	0.013.775	
12	0.001.75	»	2 240.000	2.240 000	»	0 018.691	
13	0.002.00	»	3.141.690	3.141.690	»	0.024.467	
14	0.002.25	»	3.976.090	3.976.090	»	0.030.966	
15	0.002 50	»	4 908.750	4 908.750	»	0.038.230	
16	0 002.75	»	6 054.230	6.054.230	»	0.047.151	
17	0.003.00	»	7.068.600	7.068.600	»	0.055.056	
18	0.003.33	»	8.702.220	8.702.220	»	0.067.773	
19	0.003.66	»	10.420.910	10.420 910	»	0.080.158	
20	0.004.00	»	12.566.400	12.566.400	»	0.097.867	

Étude d'un pont suspendu.

Explications du dessin (Pl. 11) et règles à suivre dans l'exécution des ponts suspendus.

Pour donner une idée exacte et facile à saisir de la construction des ponts suspendus, nous avons imaginé de faire une étude complète d'un de ces ponts.

La fig. 1 représente l'élévation d'un pont suspendu ayant 58 mètres d'ouverture d'axe en axe des supports ou de corde, et 5^m,30 de flèche. Pour que ce genre de ponts soit placé dans les conditions d'équilibre les plus favorables, tant pour l'économie que pour l'élégance et la solidité, il faut que la flèche soit entre le 1/10 et le 1/15 de la corde, et que les angles formés par la direction des chaînes des supports et de retenue, avec l'horizon, soient égaux : c'est-à-dire que l'angle a égale l'angle ω : alors la résultante passe par l'axe de l'obélisque A'B'. Souvent la position des lieux ne permet pas de faire ces angles égaux, mais on peut dans ces cas faire l'angle a' plus grand que l'angle ω , de manière cependant que la résultante C'D' ne passe jamais en dehors du pied de l'obélisque D'.

C et D représentent la coupe longitudinale des puits d'amarre ou puisards, suivant l'axe des câbles de retenue. Bien souvent la position du terrain ne permet pas de disposer ces constructions comme elles sont représentées en D qui est le système d'amarrage le plus favorable, et qui joint la solidité à l'économie.

On voit que le puisard C, ainsi que son système d'amarrage, diffère considérablement du puisard D. On remarque que la chaîne de retenue forme angle dans la cheminée, en s'appuyant sur un rouleau de *flexion*, afin d'adoucir les mouvements d'oscillation de va-et-vient produits par les fardeaux qui traversent le pont.

Pour expliquer ce système d'amarrage d'une manière qui ne laissât rien à désirer, nous avons fait les figures de détail 6, 8, 9 et 10. La *fig. 6* représente le puisard D à une échelle 20 fois plus grande. E est la cheminée, OP le câble, I la chambre pour amarrer et visiter l'amarrage en temps utile. F est une pierre de taille d'un seul bloc de 4^m,50 de longueur, de 1 mètre de largeur et de 0^m,40 d'épaisseur; elle est percée en F pour donner passage aux câbles. La *fig. 8* représente cette même pierre en plan; elle s'appelle pierre d'amarre, et doit être de la meilleure qualité, car c'est de sa résistance que dépendent la solidité et la durée du pont. G, G' sont deux plaques en fonte de fer de 0^m,50 de longueur, 0^m,25 de largeur et 0^m,08 d'épaisseur. H sont les deux clefs d'amarre; la *fig. 9* les représente vues de face; elles sont placées dans la croupière P' (*fig. 10*) représentant le câble O'P' en plan. Au levage des câbles, s'il arrive qu'ils ne soient pas d'égale longueur après l'amarrage établi (*fig. 6*), on place des cales entre les deux clefs H pour régler les câbles.

La *fig. 7* représente la coupe en travers des rouleaux de *flexion* placés au sommet des obélisques, savoir: J les câbles, K les rouleaux, M la plaque en fonte de 0^m,60 de côté et de 0^m,08 d'épaisseur, et N la pierre carrée de 0^m,80 de côté et de 0^m,40 de hauteur d'assise.

La *fig. 2* est le plan général du pont; PQ, *no*, *lm*, *ik* représentent les murs de soutènement des remblais se raccordant avec les culées par des surfaces gauches; *a*, *b*, *c*, *d* indiquent le tablier entièrement terminé; *e*, *a*, *d*, *f* présentent le premier plancher en construction; *g*, *i*, *f*, *h* montrent les poutrelles et longrines.

La *fig. 3* représente tous les détails du tablier et de la suspension suivant la coupe en travers AB (*fig. 1*) *n, o*, coussinets; PP tiges de suspension et *qq* câbles.

La *fig. 4* indique l'élévation des garde-corps; *rs*, *fig. 3* et *4*, les mains courantes, potelets, longrines et poutrelles assemblés par des boulons qui traversent tout l'assemblage en passant par l'axe des potelets.

Description.

Longueur entre le nu des culées, ci. 56^m,50

Largeur entre les garde-corps, ci. 3^m,70

Le tablier établi d'après ces dimensions est supporté par quatre câbles en fil de fer n° 18, composés chacun de 308 brins, et par 76 tiges de 8 brins chacune.

Il est composé comme il suit :

1° De 38 poutrelles de 0^m,22 de hauteur sur 0^m,16 d'épaisseur;

2° De 4 rangs de longrines établies sur les poutrelles et ayant 0^m,20 de hauteur sur 0^m,16 de largeur;

3° De 2 garde-corps à croix de Saint-André, dont chaque branche de 1^m,75 de longueur sur 0^m,13 de largeur et 0^m,07 d'épaisseur, avec potelets de 0^m,82 de longueur sur 0^m,12 d'équarrissage;

4° D'un premier platelage de 0^m,07 d'épaisseur, cloué et chevillé sur les poutrelles.

Tous ces bois sont en chêne de première qualité, équarris à vive arête sans flaches ni aubier;

5° D'un deuxième platelage en bois de sapin de 0^m,045 d'épaisseur. Ces deux platelages l'un sur l'autre sont pour la voie charretière;

6° De deux trottoirs, chacun de 0^m,70 de largeur, en planches de chêne de 0^m,045 d'épaisseur.

Les obélisques sont en pierre de taille de la meilleure qualité. Ils ont 6^m,40 de hauteur et reposent sur les culées en maçonnerie avec encadrement en pierre de taille. Les remblais des abords sont soutenus par des maçonneries à pierre sèche, se raccordant avec les culées par des surfaces gauches.

Résistance des câbles et des tiges.

Poids de la suspension.

DÉSIGNATION DES OUVRAGES.	LONGUEUR.	LARGEUR.	ÉPAISSEUR.	CUBE.	POIDS.
	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	k.
38 poutrelles en chêne de 4 ^m ,20. . . .	156.60	0.22	0.16	5.62	
4 rangs de longrines, chacune de 36 ^m ,50, ci.	226.20	0.20	0.16	11.58	
144 bras de croix de Saint-André, de 1 ^m ,75, ci.	252.00	0.13	0.07	2.29	
72 potelets, chacun de 0 ^m ,82, ci. . . .	59.00	0.12	0.12	0.85	
2 rangs de lisses, chacune de 56 ^m ,50, ci.	113.00	0.15	0.12	2.03	
1 ^{er} platelage, ci.	56.50	2.00	0.07	7.91	
2 trottoirs, longueur chacun 56 ^m ,50, ci.	113.00	0.70	0.045	3.46	
Cube total du bois de chêne.	»	»	»	33.84	
2 ^e platelage en bois de sapin, ci. . . .	56.50	2.30	0.045	5.40	
Le mètre cube de bois de chêne (p. 73) pesant 837 kil., 33 ^m ,84 pèseront, ci. . . .					28324.08
<i>Id.</i> <i>id.</i> sapin (p. 73) pesant 513 kil., 5 ^m ,40 pèseront, ci.					2770.20
Poids total des bois, ci.					31094.28
<i>Fers.</i>					
	LONGUEUR.	SECTION.	CUBE partiel.	CUBE TOTAL	
72 boulons des gardes-corps, chacun de 1 ^m ,60, ci.	115.20	0.00314	m. c.	m. c.	
144 boulons pour les longrines, chacune de 0 ^m ,50, ci.	72.00	0.00314	0.1110	0.1286	
76 boulons crochets de suspension, chacun de 0 ^m ,50, ci.	33.00	0.00314			
867 chevillettes, chacune de 0 ^m ,15, ci.	130.00	0.000025	0.0031		
76 coussinets, chacun de 0 ^m ,145, ci. .	10.80	0.00090	0.0097		
7200 pointes du n° 16 et de 0 ^m ,08 de long, ci.	576.00	0.000076	0.0048		
Le mètre cube de fer pesant 7788 kil., on aura pour le poids du fer.					1000.50
Surcharge à l'épreuve 200 kil. par mètre carré, soit 56 ^m ,50, longueur du pont, multipliant la largeur 3 ^m ,70, et ce produit multiplié par 200 kil. donne, ci.					41810.00
Peinture, goudronnage, humidité et mouvements produits par le vent, ci.					3095.22
Poids que les tiges auront à supporter.					77000.00

Le tablier étant soutenu par 76 tiges, on aura pour le poids que chacune supportera au moment de l'épreuve

$$\frac{77000^k}{76} = 1013^k,16.$$

La résistance demandée par millimètre carré de la section transversale d'un fil de fer n° 18 étant 18 kilogrammes, on a :

$$\frac{4013^k,16}{18} = 56^{\text{mm}},28 \text{ pour la section d'une tige.}$$

Et le fil de fer n° 18 ayant $8^{\text{mm}},702$ carrés de section, on aura :

$$\frac{56^{\text{mm}},28}{8,702} = 6 \text{ brins } 46.$$

Soit 8 brins pour chaque tige de suspension (1).

On obtient la longueur des tiges par la formule suivante (a) :

Élever au carré la demi-corde ou $h = h^2$ et diviser h^2 par la flèche f , on a $\frac{h^2}{f} = x$; enfin élever au carré pour chaque tige l'abscisse lui correspond $\left(y^2 \text{ et diviser par } x = \frac{y^2}{x}\right)$.

C , la corde de la courbure des câbles 58^{m} ;

C' du tablier $56^{\text{m}},50$;

f , la flèche de la même courbe des câbles $5^{\text{m}},30$;

f' , la flèche du bombement du tablier des câbles $0^{\text{m}},50$;

a, a', a'' , etc., les abscisses de la courbe des câbles;

c, c', c'' , etc., les abscisses du bombement du tablier.

s , poids du mètre linéaire de fil de fer.

$$\text{En faisant } \left(\frac{C}{2}\right)^2 = y, \frac{a^2}{y} = x + \frac{a'^2}{y} = x' + \frac{a''^2}{y} = x'' \text{ etc. } \times s.$$

$$\text{Faisant ensuite } \left(\frac{C'}{2}\right)^2 = y', \frac{b^2}{y'} = z + \frac{b'^2}{y'} = z' \times \frac{b''^2}{y'} = z'' \text{ etc. } \times s.$$

Ajoutant ces résultats un à un, plus la constante de chaque tige qui est de $0^{\text{m}},50$, on obtient la longueur de chaque tige en particulier; c'est ainsi qu'on a formé le tableau suivant.

(1) Dans l'exécution on augmentera ce nombre d'une moitié en sus, soit — 12 brins.

NUMÉROS des tiges.	ALLONGEMENT par la courbure		CON- STANTE.	LONGUEUR totale.	NUMÉROS des tiges.	ALLONGEMENT par la courbure		CON- STANTE.	LONGUEUR totale.
	des câbles. flèche 5.30.	du tablier. flèche 0.50.				des câbles. flèche 5.30.	du tablier. flèche 0.50.		
	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.		<i>Report.</i>			m. c. 9.925
1	»	»	0.50	0.500					
2	0.025	0.0020	0.50	0.527	11	m. c.	m. c.	m. c.	
3	0.077	0.0073	0.50	0.584	12	1.515	0.143	0.50	2.158
4	0.157	0.0150	0.50	0.672	13	1.835	0.172	0.50	2.507
5	0.267	0.0230	0.50	0.790	14	2.158	0.203	0.50	2.861
6	0.404	0.0380	0.50	0.942	15	2.522	0.238	0.50	3.260
7	0.568	0.0540	0.50	1.122	16	2.914	0.275	0.50	3.689
8	0.763	0.0072	0.50	1.335	17	3.336	0.314	0.50	4.150
9	0.988	0.0093	0.50	1.581	18	3.784	0.357	0.50	4.641
10	1.236	0.0116	0.50	1.852	19	4.262	0.402	0.50	5.164
	<i>A reporter.</i>			9.925		4.943	0.466	0.50	5.810
						Longueur total de 19 tiges. . .			44.165

D'après le tableau qui précède, nous avons 19 tiges donnant ensemble 44^m,164 de longueur; 76 tiges semblables donneront 176^m,66 linéaires de fil de fer, et le poids du fil de fer n° 18 étant de 0^k,067⁵,80 par mètre linéaire, le poids de 176^m,66 sera de 11^k,98, et le poids total des tiges ayant chacune huit brins sera de huit fois ce poids, ci 95^k,84, soit porté à 100 kilog., ci 100^k,00

Poids d'autre part, ci 77000^k,00

Poids auquel les câbles auront à résister 77100^k,00

La section transversale des câbles est donnée (*a priori*) par la formule (b).

$$\omega = \frac{\pi h \sqrt{h^2 + 4f^2}}{\varepsilon 2f - \sigma \sqrt{h^2 + 4f^2}}$$

Dans cette construction on a les données suivantes :

Poids total du pont avec la surcharge, ci 77100^k,00

La longueur du tablier étant de 57^m,20,

le poids sera, par mètre courant. . . $\pi = \frac{77,100}{56,50} = 1364^k,60$

La distance entre les points d'appui étant de 58 mètres,

on a $h = \frac{58}{2} = 29^k,00$

La flèche de la courbe des câbles, ci $f = 5^k,30$

Le maximum de tension de l'unité superficielle (1 mètre) de la section des câbles $\epsilon = 18,000,000$ kilogrammes.

Poids de l'unité du volume des câbles (le mètre cube de fer) $\sigma = 7,788$ kilog. (p. 76). Ces quantités substituées dans la formule donnent :

$$\omega = \frac{1,166,623,832}{108,963,004} = 10,705 \text{ mill. carrés.}$$

Adoptant pour la confection des câbles le n° 18 comme pour les tiges, et la section étant de $8^{\text{mm}},702$, le nombre de brins de fil de fer qui doit résister à la tension sera égal à $\frac{10,705}{8,702} = 1230$ brins pour les quatre câbles, et le nombre de brins pour chacun sera de $\frac{1230}{4} = 307,50$, soit 308 brins.

On obtient l'allongement de la parabole des câbles par la formule suivante (c), dans laquelle a égale l'allongement.

Élever au carré la flèche, deux fois ce produit, et diviser le résultat par trois fois la demi-corde :

$$a = \frac{f^2 \times 2}{3h} = \frac{(5.30)^2 \times 2}{3 \times 29} = \frac{56.18}{87} = 0.65.$$

La longueur totale des câbles se décompose ainsi :

Câbles de suspension.	}	Corde	58 ^m ,00
		Allongement de la parabole, ci . .	0,65
Câbles de retenue . .	}	Puits d'amarre et culée droite, ci.	24,00
		Puits d'amarre et culée gauche, ci.	16,30
Longueur totale			<u>98,95</u>

On obtient le poids des câbles en multipliant le nombre des brins 1230 par la longueur 98^m,95, et ce produit multiplié par le poids du mètre linéaire de fil de fer afférent au numéro dont sont composés les câbles, soit pour le n° 18, 68 grammes.

	k.	k.
$1230 \times 98^m,95 \times 68^k = 7596^k,18$	7596,18	
Le poids des tiges est de, ci.	95,84	
Pour faire les ligatures des câbles avec du fil n° 10, ci.	100,00	
Pour lier les fils de fer bout à bout en confectionnant les câbles avec du fil n° 2, ci.	5,00	
Poids total des fils de fer.	<u>7697,02</u>	7697,02

Équilibre des obélisques.

Nous avons trouvé le poids total du pont, surcharge comprise. .	77000,00
Poids total que les obélisques auront à supporter.	<u>84697,02</u>
Un obélisque portera le quart de ce poids, soit.	21149,25
Le cube de l'obélisque est de $8^m,03$; le poids du mètre cube de maçonnerie de pierre de taille étant de 3500 kilog., le poids d'un obélisque sera $8^m,03 \times 3500$ kilog. =, ci.	<u>28105,00</u>
Poids total que supportera la base de l'obélisque.	<u>49254,25</u>

La base de l'obélisque ayant $4^m,50$ sur $4^m,50$, on a $2,250,000$ millimètres carrés, et divisant le poids total $49,254,25$ par ce nombre, on obtient le poids par millimètre carré que supportera la base de l'obélisque, soit 49 grammes, et les pierres de dureté moyenne s'écrasent rarement sous la pression de 2 kilog. par millimètre carré ou 2000 grammes. (Voir le tableau p. 75.) On voit donc que les obélisques sont établis dans des conditions qu'ils n'auront à supporter qu'environ le centième du poids capable de les écraser sous sa pression.

Équilibre des puits d'amarre.

Un puits d'amarre devra faire résistance au quart du poids total du pont, soit, comme pour un obélisque, ci $21,149^k,25$

Soit donc le puits d'amarre D dont la résistance est représentée par le solide triangulaire ($a b c \times 2^m$, épaisseur moyenne du mur formant la cheminée).

Faisant l'opération et substituant les valeurs, on a $\frac{10 \times 3,60}{2} \times 2 = 36$ mètres cubes que nous portons à 2000 kilog. le mètre cube, soit 72000 kilog. pour la résistance réelle de ce puits d'amarre. On voit

qu'il est dans des conditions trois fois plus considérables que le poids qui lui ferait équilibre. On va démontrer de la même manière que le puisard C, culée gauche, est dans des conditions analogues d'équilibre.

En effet, la base *dc* a 3^m,70 sur 2 mètres d'épaisseur, soit 7400000 millimètres superficiels, et tout l'effort se fait sur le rouleau de *flexion* qui à son tour s'appuie sur cette même base, en y exerçant la pression de tout le poids auquel doit faire équilibre le puits d'amarre, soit 21149^k,25; plus 40820 kilog. pour le poids du cube des maçonneries qui pèsent sur la base *de*, ensemble 61969^k,25 et divisant ce poids total par la superficie de la base 7400000 millimètres on a l'effort exercé sur cette base par millimètre carré, soit $\frac{61969^{\text{k}},25}{7400000} =$

8 grammes par millimètre carré.

On démontrerait de même que l'amarrage *g* puisard C est dans une condition d'équilibre également satisfaisant.

Examinons enfin si les clefs d'amarre sont dans une position d'équilibre aussi satisfaisante que les maçonneries.

Les amarres de retenue sont formées dans chaque puisard par deux clefs en fer H, *fig.* 6, et H', H'', *fig.* 9. Elles se placent dans les croupières P, *fig.* 6, et P', *fig.* 10. Elles ont chacune 6 centimètres carrés, ce qui porte la section pour les deux à $60^2 \text{ mm} \times 2 = 7200$ millimètres \times 18 kilogrammes, résistance du fer par millimètre carré = 429600 kilog. pour la résistance réelle à laquelle elles pourront faire équilibre; mais l'effort qui tend à les faire rompre n'étant que de 21149^k,25, on voit que les amarres sont dans une condition d'équilibre six fois au-dessus de la condition simple d'équilibre, en sorte que le fer des clefs d'amarre n'est soumis qu'à une tension de 3 kilog. environ par millimètre carré au lieu de 48 kilog.

Nous allons passer au métré des maçonneries et à l'évaluation générale de tous les travaux de ce pont.

Mètre des maçonneries.

NATURE DES MAÇONNERIES.	DIMENSION.	SUR- FACE.	CUBE.	CUBE DES MAÇONNERIES			Moellon d'enrochement.	Terrassement.
				ordi- naire.	Pierre sèche.	Pierre de taille.		
	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.
Chemin de halage.	Long. D. 15.00	10.00	42.00	"	42 00			
	Epais. M. 0.666							
	Haut. M.							
Couronnement en pierre de taille.	Long. . . 15.00	7.50	3.00	"	"	3.00		
	Larg. M. 0.50							
	Haut.							
<i>Empatements en moellon pour asscoir les culées.</i>								
Culée droite.	Long. M. 9.00	81.00	162.25	"	"	"	162.25	
	Larg. M. 9.00							
	Haut. M.							
Culée gauche.	Long. M. 9.00	45 00	90.00	"	"	"	90.00	
	Larg. M. 5 00							
	Haut. M.							
<i>Une culée.</i>								
Des fondations à la 1 ^{re} retraite.	Long. M. 7.00	21.00	31.50					
	Larg. M. 3.00							
	Haut. M.							
De la 1 ^{re} à la 2 ^e retraite au tablier.	Long. M. 6.25	14.06	56.24					
	Larg. M. 2.25							
	Haut. M.							
Total.								
Pour une autre semblable.								
Total pour les deux culées.								
A déduire le cube de la pierre de taille.	Long. D. 18.00	4.32	8.64	"	"	8.64		
	Long. M. 0.60							
	Epais. M. 0.40							
Pour une autre semblable, ci.		4.32						
Reste pour maçonnerie ordinaire.			166.84	166.84				
<i>Un obélisque.</i>								
1 ^{er} socle.	Long. . . 1.60	2.56	2.56					
	Larg. . . 1.60							
	Haut.							
2 ^e partie.	Long. . . 1.00	1.00	5.30					
	Larg. . . 1.00							
	Haut.							
3 ^e partie.—Pointe: $\frac{0.80 \times 0.80 \times 0.80}{2}$			0.17					
Total.			8.03					
Pour 3 semblables.			24 09	"	"	32.12		
<i>Puisard D, rive gauche.</i>								
1 ^{re} partie NOPQ.	Long. M. 2.50	5.00	8.50					
	Larg. M. 2.00							
	Haut. M.							
2 ^e partie R s t u v.	Long. M. 6.50	13.00	23.40					
	Larg. M. 2.00							
	Haut. M.							
Total.			31.90					
<i>A reporter.</i>			31.90	166.84	42.00	43.76	252.25	"

Suite du mètre des maçonneries.

NATURE DES MAÇONNERIES.	DIMENSION.	SUR- FACE.	CUBE.	CUBE DES MAÇONNERIES			Moellon d'enrochement.	Terrassement.
				ordi- naire.	Pierre sèche.	Pierre de taille.		
	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.
<i>Report.</i>		"	31.90	166.84	42.00	43.76	252.25	"
3 ^e partie, pierre de taille De, X, ci.	Long. D. 5.90 Haut. . . 1.00 Epais. M. 0.30	1.77						
Pierre de taille d'amarre.	Long. . . 1.50 Larg. . . 1.00 Haut. . . 0.40	0.60						
Total.		2.37						
Pour un semblable, ci.		2.37	"	"	"	4.74		
<i>Vides à déduire.</i>								
Cheminée N'.	Long. . . 1.20 Larg. . . 0.50 Epais. . . 2.00	2.40						
Descente et chambre O' et P.	Long. . . 2.70 Larg. . . 0.75	1.52	5.38					
Descente et cheminée.	Long. . . 7.00 Larg. M. 0.50 Haut. . . 0.25	0.86						
Reste pour maçonnerie ordinaire.		"	26.52					
Pour un semblable puisard.		"	26.52	53.04				
Rive gauche. } Puisard C. } Contre-fort d, e, m, n.	Long. M. 2.10 Larg. M. 2.00 Haut. R.	4.20	10.50					
<i>Id.</i> Corps a, b, e, c.	Long. M. 3.00 Larg. M. 2.00 Haut. R.	5.00	25.00					
Total.		"	35.50					
Vides à déduire. } Cheminée.	Long. R. 5.00 Larg. . . 0.50 Epais. . . 0.25	0.63						
<i>Id.</i> Descente et chambre.	Long. R. 6.00 Larg. . . 0.75 Epais. . . 0.75	3.38						
Reste.		"	31.49					
Pierre de taille à déduire : au point de résistance du rouleau de fric- tion.	Long. R. 2.50 Larg. R. 1.50 Haut. R. 1.00	3.75	4.35	"	"	4.35		
La pierre d'amarre.	Long. . . 1.50 Larg. . . 1.00 Haut. . . 0.40	0.60						
Reste pour maçonnerie ordinaire.		"	27.14					
Pour un autre semblable.		"	27.14	54.28	"	4.35		
Dé du puisard C en pierre de taille.	Long. D. 10.50 Haut. . . 1.00 Epais.	5.25	1.57	"	"	3.15		
Pour un semblable.		"	1.58					
Culée droite. Mur de soutènement.	Long. D. 5.00 Haut. M. 6.00	30.00	15.00					
Pierre sèche.	Epais. M.	0.50		"	30.00			
Culée droite. Pour un semblable.		"	15.00					
<i>Id.</i> Banquette en maçon- nerie ordinaire.	Long. M. 5.00 Haut. . . 1.00 Epais.	5.00	1.50		3.00			
Culée droite. Pour un semblable.		"	1.50					
<i>A reporter.</i>		"	"	277.16	72.00	60.35	252.15	"

Suite du mètre des maçonneries.

NATURE DES MAÇONNERIES.	DIMENSION.	SUR- FACE.	CUBE.	CUBE DES MAÇONNERIES.			Moellon d'enrochement.	Terrassement.
				ordi- naire.	Pierre sèche.	Pierre de taille.		
		m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.
<i>Report.</i>				277.16		60.35	252.25	"
Culée gauche Mur de soutènement.	Long. M. 3.00	15.00	7.50					
Pierre sèche.	Haut. D. 5.00							
Culée gauche. Pour un semblable.	Epais.	0.50	7.50		15.00			
Culée gauche. Banquette en maçonnerie ordinaire.	Long. 3.00	3.00	0.90	1.90				
	Haut. 1.00							
Culée gauche. Pour une semblable.	Epais.	0.20	0.90					
Culée droite. Remblais des abords	Long. R. 15.00	150.00	600.00					860.00
	Larg. R. 10.00							
	Haut. R. 4.00							
Culée gauche. Remblais des abords.	Long. R. 13.00	130.00	260.00					
	Larg. R. 10.00							
	Haut. R. 2.00							
Taille de pierre de taille à 3 mètres superficiels par mètre cube, ci.			181.05					
	Mètres superficiels de taille.		181.05					
	Mètres cubes de maçonnerie ordinaire.		278.96					
Total général de	<i>Id.</i> de pierre sèche.				87.00			
	<i>Id.</i> de pierre de taille.					60.35		
	<i>Id.</i> de moellon d'enrochement.						252.25	
	<i>Id.</i> de remblais.							860.00

Métré des peintures.

INDICATION des ouvrages.	DÉTAIL ET DÉSIGNATION des pièces.	LONGUEUR.	DÉVELOPPEMENT des faces.	SURFACE	
				partielle.	totale.
		m. c.	m. c.	m. c.	m. c.
<i>Tablier.</i>	{ 1 poutrelle.	3.20	0.76	3.19	"
	{ 4 longrines.	6.00	0.72	4.32	"
Métré d'une ferme.	{ 2 croix de St-André.	7.00	0.39	2.73	"
	{ 2 potelets.	1.70	0.48	0.82	"
	{ 2 lisses.	3.00	0.56	1.68	"
	Total pour une travée.	"	"	12.74	"
Et pour 36 travées semblables, ci	"	"	"	458.64	"
	Total pour tout le tablier.	"	"	471.38	471.38
Câbles.	{ 1 câble.	100.00	0.25	25.00	"
	{ 3 semblables.	300.00	0.25	75.00	"
	Total pour les quatre câbles.	"	"	100.00	100.00
Tiges de suspension. 72 tiges.		176.65	0.06	11.00	11.00
	Total général de la peinture à l'huile à trois couches et au blanc de zinc.	"	"		582.38
Goudronnage. . . Tout le 1 ^{er} platelage		56.50	4.14		233.91

N. B. Le métré des bois et des fers se trouve fait dans le tableau

du poids de la suspension (p. 138) et il devient inutile de le faire ici. Aussi nous allons passer à l'évaluation de la dépense du pont.

Évaluation.

INDICATION ET NATURE DES OUVRAGES.	MONTANT	
	par articles.	total.
<i>Maçonneries et terrassements.</i>		
	fr. c.	fr. c.
181.05 mètres superficiels de taille, suivant le mètre (p. 145), à 4 fr. l'un, ci.	724.20	
278.96 mètres cubes de moellon ordinaire, suivant le mètre (p. 145), à 10 fr. l'un, ci.	2780.00	
87.00 mètres cubes de pierre sèche, suivant le mètre (p. 145), à 6 fr. l'un, ci.	522 00	
60.35 mètres cubes de pierre de taille, suivant le mètre (p. 145), à 60 fr. l'un, ci.	3620 00	
252.25 mètres cubes de moellon d'enrochement, suivant le mètre (p. 145), à 4 fr. l'un, ci.	1000.00	
860.00 mètres cubes de remblais, suivant le mètre (p. 145), à 60 cent. l'un, ci.	516.00	
Total.	9180.80	9180.80
<i>Tablier.</i>		
33.84 cubes de bois de chêne, mis en place, suivant le mètre (p. 158), à 100 fr. l'un, ci.	3384.00	
5.40 cubes de bois de sapin, mis en place, suivant le mètre (p. 138), à 100 fr. l'un, ci.	378.00	
1000.50 kil.-g. de fer forgé, mis en place, suivant le mètre (p. 138), à 1 fr. l'un, ci.	1000.50	
582.38 mètres superficiels de peinture, suivant le mètre (p. 146) à 1 fr. l'un, ci.	582.38	
233.91 mètres superficiels de goudronnage, suivant le mètre (p. 146), à 50 cent. l'un, ci.	116.95	
Total.	5462.23	5462.23
<i>Suspension.</i>		
7697.02 kilog. de fil de fer, suivant le détail (p. 138), à 1 fr. l'un, ci.	7697.02	
1500.00 kilog. pour six rouleaux de flexion, six plaques de support, huit plaques d'amarre, le tout en fonte, à 40 fr. les 100 kilog.	600.00	
150.00 kilog. de fer forgé pour clefs d'amarre et cales, etc., à 80 cent. l'un, ci.	120.00	
111.00 mètres superficiels de peinture noire à trois couches pour les fontes à 75 cent., ci.	83.25	
Total.	8500.27	8500.27
Indemnité de terrain pour l'emplacement et abords du pont, ci.	»	2000 00
Total.	»	25143.30
Somme à valoir pour cas imprévus, ci.	»	856.70
Total général.	»	26000.00

N. B. Nous voyons que le pont a 56^m,50 d'ouverture entre le nu

des culées, et qu'il est évalué à la somme de 26000 fr. Si nous divisons 26000 par 56 fr. 50, nous aurions le prix du mètre courant, soit 467.25. Tous les constructeurs comptent le prix de revient du mètre courant de pont à une voie, comme celui qui nous occupe, de 500 à 600 fr. suivant les frais de fondations, et les ponts à deux voies (6 mètres entre les gardes-corps) de 750 à 900 fr.

Considérations particulières.

Pour faire une bonne étude de pont suspendu, il est essentiel de faire diverses combinaisons qui aient toujours pour but l'économie dans la dépense, l'élégance et la plus grande solidité dans les constructions.

Les difficultés du sol, la rapidité des courants pendant les grandes inondations, et les mauvais fonds pour bien asseoir les piles dans le lit des rivières torrentielles, sont les premiers points qu'on doit examiner avec soin, afin d'être fixé sur les avantages ou les inconvénients de jeter un pont d'une ou de plusieurs travées.

Les plus grandes travées adoptées sont de 200 mètres de portée; cependant il est arrivé que, pour traverser des précipices inabornables entre deux montagnes, on a jeté entre elles des ponts d'une seule travée de 500 mètres d'ouverture; mais ces cas sont excessivement rares, à cause de l'énorme dépense de la suspension (1) et des dangers qu'une pareille construction présente dans les grandes tempêtes.

Quoi qu'il en soit, les ponts d'un seul jet qui ne dépassent pas 200 mètres ont le grand avantage de ne jamais gêner la navigation, de ne point inspirer des craintes, pendant les grandes inondations, au sujet des affouillements et du renversement de piles; mais les frais de suspension et de tension augmentent en raison double de l'ouverture, et dans ce cas il s'agit d'étudier si la dépense d'une pile qu'on économise compense ou est moindre que le surplus de la suspension.

Ainsi, par exemple, si l'on a deux travées de 100 mètres cha-

(1) Les câbles pour une travée de 500 mètres de portée, calculés sur les bases que nous avons posées et qui sont invariables, renfermeraient 784000 kilogrammes de fil de fer.

cune et qu'on veuille supprimer la pile pour ne faire qu'une travée de 200 mètres, on doit compter sur le double du fil de fer pour la confection des nouveaux câbles. En effet, dans le premier cas, les câbles, calculés à la tension de 48 kilog. par millimètre carré, ne portent qu'une travée ou la moitié du poids du pont; si donc nous ne faisons qu'une travée, dans le deuxième cas, les câbles porteront le double de poids, et se trouveraient à une tension de 36 kilog. par millimètre carré; il faut donc pour qu'ils ne dépassent pas la tension de 48 kilog. par millimètre carré, les augmenter exactement du double. On compte moyennement à 25000 kilog. la suspension d'une travée de 100 mètres de portée, et pour deux travées semblables 50,000 kilog.; tandis que pour une travée de 200 mètres de portée on compte 100000 kilog.

On voit dans cet exemple que la suppression d'une pile donne dans la suspension une augmentation de 50,000 kilog., soit 50,000 fr.; tandis qu'une pile, dans la position ordinaire, ne dépasse guère 20000 à 25000 fr. de frais de construction et qu'il y a avantage à se déterminer pour deux travées au lieu d'une seule.

Pour résoudre toute sorte de problèmes sur ces constructions, il n'y a qu'à bien saisir et bien se pénétrer des trois formules que nous avons posées et expliquées (p. 139-40-41), et que nous reproduisons ici dégagées de tous les détails de calculs. On obtient la longueur des tiges par la formule (a) (p. 149) ainsi posée: Élever au carré la demi-corde ou $h = h^2$ et diviser h^2 par la flèche ou $f = x$, soit $\frac{h^2}{f} = x$. Enfin élever au carré pour chaque tige l'abscisse qui lui correspond (y^2 et diviser par x), soit $\frac{y^2}{x}$. (Voir la page 139 et le tableau des tiges.)

La section transversale des câbles est donnée (*à priori*) par la formule (b) (p. 140):

$$\omega = \frac{\pi h \sqrt{h^2 + 4f^2}}{\varepsilon 2f - \sigma 4 \sqrt{h^2 + 4f^2}}$$

L'allongement des câbles produit par la parabole est donné par la formule (c) (p. 144):

$$a = \frac{f^2 \times 2}{3h}$$

D'après les éléments de la formule (b), il est à remarquer que plus la flèche de courbure sera petite, plus la tension sera grande, et plus il faudra de fil de fer pour mettre les câbles en équilibre avec la puissance; mais aussi il y aura plus de rigidité dans la suspension. On doit toujours se tenir, pour la limite de la flèche de la courbure des câbles, entre le 10° et le 15° de la corde comprise entre l'axe des supports. On doit autant que possible faire en sorte que la direction des câbles des supports et de retenue forme avec l'horizon deux angles égaux, comme nous l'avons fait, culée droite, $a = \omega$, et dans ce cas la résultante de ces deux forces passe par l'axe des supports.

Cependant, si on est obligé par la position des lieux, ou toute autre circonstance, de faire l'angle a plus grand que l'angle ω , la limite de l'angle a devra être telle que la résultante ne sorte pas du pied du support, ainsi que nous l'avons fait pour la culée gauche $a > \omega$.

S'il arrivait que la résultante sortit du pied du support, celui-ci serait inévitablement entraîné et renversé par le poids du pont et tout croulerait dans la rivière: c'est l'écueil que tous les constructeurs s'efforcent à éviter en donnant une plus grande base aux supports et en disposant plus en arrière le centre de gravité des rouleaux, afin que la résultante ne sorte jamais du pied des supports.

CHAPITRE XXI.

CALCUL DES ANNUITÉS.

Les combinaisons des annuités sont d'un fréquent usage dans les administrations publiques et particulières : elles ont pour but d'éteindre un capital quelconque par une rente payée pendant un certain nombre d'années, et combinée de manière qu'à l'expiration prescrite, le capital avec intérêts est absolument liquidé.

Ces sortes de combinaisons font la base principale des adjudications des ponts suspendus, chemins de fer et autres concessions de cette nature, etc., où il est nécessaire d'avoir des calculs établis à l'avance, pour concourir avec discernement à ces sortes d'opérations, dans lesquelles il s'agit d'amortir un capital quelconque par une somme prélevée en sus du taux légal d'intérêt du capital avancé. Elles font aussi la base des emprunts publics, départementaux et communaux qu'on veut éteindre dans un laps de temps déterminé, en payant une somme annuelle en sus des intérêts du capital emprunté.

Considérées sous ce point de vue, les annuités donnent lieu à deux sortes de problèmes principaux, savoir :

1° Un capital quelconque est placé dans une opération de commerce ou dans les mains d'un emprunteur qui, en sus de l'intérêt annuel à 5 p. cent, paye une prime annuelle du 20°, 19°, 18°, 17°, etc., dans le but d'éteindre le capital : dans ce cas, il s'agit de chercher le nombre d'années après lesquelles le capital sera entièrement amorti.

2° Un capital quelconque a été emprunté et on veut l'amortir après un certain nombre d'années, 10, 11, 12, etc., années : dans ce cas,

il s'agit de déterminer la somme annuelle à payer qui amortira exactement le capital, après le nombre d'années déjà fixé.

Dans le premier cas, il suffit de connaître la somme payée annuellement, le capital et l'intérêt au taux connu, pour trouver le nombre d'années après lesquelles on sera entièrement libéré.

Ainsi une somme de 4000000 fr. a été empruntée ou prêtée à l'intérêt à 5 p. 100, soit 0^r.05 par franc, et dans le but d'éteindre le capital on paye annuellement, en sus de l'intérêt qui est de 50000 fr., 20 p. 100; 19 p. 100, 18 p. 100, 17 p. 100, 16 p. 100, 15 p. 100, 14 p. 100, 13 p. 100, etc., que nous nommerons A, et on a dans ce cas la formule suivante :

$$x = \frac{L.(50,000+A) - L.A}{L.(1+05)}$$

Cette formule donne lieu au tableau suivant, qui établit la durée des annuités pour une somme quelconque depuis 20 p. 100 jusqu'à 1 p. 100 du capital consacré chaque année à l'amortissement dudit capital.

Tableau d'annuités n° 1.

1.000.000 DE FRANCS A AMORTIR AU TAUX DE 5 POUR 100.

20 p. ‰ = 200.000	$\frac{L. 250.000 - L. 200.000}{L. (1 + 05)}$	$\frac{9691001}{2118930}$	= 4 ans $\frac{112}{212}$	= 4 ans 6 m.
19 p. ‰ = 190.000	$\frac{L. 240.000 - L. 190.000}{L. (1 + 05)}$	$\frac{10145864}{2118930}$	= 4 id. $\frac{167}{212}$	= 4 id. 9 m.
18 p. ‰ = 180.000	$\frac{L. 230.000 - L. 180.000}{L. (1 + 05)}$	$\frac{10645533}{2118930}$	= 5 id. $\frac{5}{212}$	= 5 id. 8 jours.
17 p. ‰ = 170.000	$\frac{L. 220.000 - L. 170.000}{L. (1 + 05)}$	$\frac{11197376}{2118930}$	= 5 id. $\frac{60}{212}$	= 5 id. 3 m. 16 j.
16 p. ‰ = 160.000	$\frac{L. 210.000 - L. 160.000}{L. (1 + 05)}$	$\frac{11809931}{2118930}$	= 5 id. $\frac{122}{212}$	= 5 id. 6 m. 25 j.
15 p. ‰ = 150.000	$\frac{L. 200.000 - L. 150.000}{L. (1 + 05)}$	$\frac{12493874}{2118930}$	= 5 id. $\frac{190}{212}$	= 5 id. 10 m. 22 j.
14 p. ‰ = 140.000	$\frac{L. 190.000 - L. 140.000}{L. (1 + 05)}$	$\frac{13262556}{2118930}$	= 6 id. $\frac{55}{212}$	= 6 id. 3 m. 4 j.
13 p. ‰ = 130.000	$\frac{L. 180.000 - L. 130.000}{L. (1 + 05)}$	$\frac{14132916}{2118930}$	= 6 id. $\frac{142}{212}$	= 6 id. 8 m. 1 j.
12 p. ‰ = 120.000	$\frac{L. 170.000 - L. 120.000}{L. (1 + 05)}$	$\frac{15126769}{2118930}$	= 7 id. $\frac{29}{212}$	= 7 id. 1 m. 8 j.
11 p. ‰ = 110.000	$\frac{L. 160.000 - L. 110.000}{L. (1 + 05)}$	$\frac{16272729}{2118930}$	= 7 id. $\frac{144}{212}$	= 7 id. 8 m. 8 j.
10 p. ‰ = 100.000	$\frac{L. 150.000 - L. 100.000}{L. (1 + 05)}$	$\frac{17609126}{2118930}$	= 8 id. $\frac{65}{212}$	= 8 id. 3 m. 19 j.
9 p. ‰ = 90.000	$\frac{L. 140.000 - L. 90.000}{L. (1 + 05)}$	$\frac{191188604}{211893}$	= 9 id. $\frac{5}{212}$	= 9 id. 8 jours.
8 p. ‰ = 80.000	$\frac{L. 130.000 - L. 80.000}{L. (1 + 05)}$	$\frac{21085336}{211893}$	= 9 id. $\frac{205}{212}$	= 9 id. 11 m. 17 j.
7 p. ‰ = 70.000	$\frac{L. 120.000 - L. 70.000}{L. (1 + 05)}$	$\frac{23408310}{211893}$	= 11 id. $\frac{10}{212}$	= 11 id. 15 jours.
6 p. ‰ = 60.000	$\frac{L. 110.000 - L. 60.000}{L. (1 + 05)}$	$\frac{26324144}{211893}$	= 12 id. $\frac{90}{212}$	= 12 id. 5 mois.
5 p. ‰ = 50.000	$\frac{L. 100.000 - L. 50.000}{L. (1 + 05)}$	$\frac{30103000}{211893}$	= 14 id. $\frac{44}{212}$	= 14 id. 2 m. 10 j.
4 p. ‰ = 40.000	$\frac{L. 90.000 - L. 40.000}{L. (1 + 05)}$	$\frac{35218250}{211893}$	= 16 id. $\frac{132}{212}$	= 16 id. 7 m. 10 j.
3 p. ‰ = 30.000	$\frac{L. 80.000 - L. 30.000}{L. (1 + 05)}$	$\frac{425961740}{211893}$	= 21 id. $\frac{99}{212}$	= 21 id. 5 m. 16 j.
2 p. ‰ = 20.000	$\frac{L. 70.000 - L. 20.000}{L. (1 + 05)}$	$\frac{54406840}{211893}$	= 25 id. $\frac{144}{212}$	= 25 id. 8 mois.
1 p. ‰ = 10.000	$\frac{L. 60.000 - L. 10.000}{L. (1 + 05)}$	$\frac{778151250}{211893}$	= 36 id. $\frac{153}{212}$	= 36 id. 8 m. 15 j.

Voici la formule algébrique sur laquelle reposent les calculs du tableau n° 4.

Soit c le capital prêté, i l'intérêt de 4 franc par unité de temps (un mois, un trimestre, six mois ou un an selon les conventions), t le nombre de ces unités, après lequel temps la libération complète soit effectuée, x l'annuité ou la somme constante à payer après chaque unité de temps. Si 100 francs rapportent $\frac{ci}{100}$, en sorte qu'après la première unité de temps l'emprunteur doit $c + \frac{ci}{100} = c \left(1 + \frac{i}{100}\right) = cq$, en faisant pour abrégé $q = 1 + \frac{i}{100}$. Mais à la même époque le débiteur paye x ; il ne doit donc plus que $c' = cq - x$.

Après le deuxième terme, le paiement de la même somme x réduira la dette à $c'' = c'q - x$; c'est ce que prouve le même raisonnement. Au troisième terme, la dette sera réduite à $c''' = c''q - x$, et ainsi de suite, par des substitutions successives, on trouve $c'' = cq^2 - qx - x$, $c''' = cq^3 - q^2x - qx - x$, etc.; et enfin après n années, il ne restera plus à payer pour se libérer que $c^{(n)} = cq^{(n)} - x(q^{n-2} + q^{n-3} + \dots + q + 1)$.

La progression géométrique renfermée entre les parenthèses équivaut à $\frac{q^{n-1}}{q-1}$, ainsi $c^{(n)} = cq^n - x \left(\frac{q^n - 1}{q - 1}\right)$.

Transportons-nous maintenant au terme fixé pour la limite de l'opération; t paiements auront été effectués, n sera changé en t , et le premier membre de l'équation sera réduit à 0, puisque l'emprunteur ne devra plus rien, ainsi $0 = cq^t - \frac{q^{t-1}}{q-1} x$: d'où l'on tire $x = \frac{cq^t \times q - 1}{q^{t-1}}$, équation dans laquelle on suppose $q = 1 + \frac{i}{100}$. Telle est la valeur de l'annuité ou de la rente constante à payer, après chaque unité de temps, pour être libéré complètement après t paiements. Le calcul que cette formule exige est rendu bien plus simple en se servant des logarithmes, comme nous l'avons fait pour le tableau qui précède.

On peut même regarder l'une quelconque des quatre quantités x , c , t et q (ou i) comme inconnue et le reste connu donné, ce qui con-

duit à trois autres problèmes dont la solution est renfermée dans l'équation qui vient d'être obtenue.

1° Si par exemple l'inconnue est t , on trouve :

$$t = \frac{L \cdot x - L \cdot \left(x - \frac{ci}{100} \right)}{L \cdot \left(1 + \frac{i}{100} \right)^t}$$

C'est la formule du tableau n° 4.

Tableau n° 2.

2000000 francs à amortir au taux de 5 p. cent en 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 99 ans, quelle est l'annuité à payer pour chacun de ces termes jusqu'à final paiement ?

Formule $x = L \cdot c q^t \times \frac{L \cdot q - 1}{L \cdot q^t - 1} \begin{cases} c = \text{capital} \dots\dots 2000000 \text{ fr.} \\ q = 1 + i \text{ intérêts} = 1 + 05. \\ cq = \text{capital et intérêts d'un an} = 2100000 \text{ fr.} \end{cases}$

DONNÉES.		INCONNUE.
		fr. c.
Pour 10 ans	L. 2.000.000 + L. 0.05 + L. (1+05) ¹⁰ - L. (1+05) ¹⁰⁻¹ = . . .	219.092.27
15	L. 2.000.000 + L. 0.05 + L. (1+05) ¹⁵ - L. (1+05) ¹⁵⁻¹ = . . .	168.393.10
20	L. 2.000.000 + L. 0.05 + L. (1+05) ²⁰ - L. (1+05) ²⁰⁻¹ = . . .	154.926.50
25	L. 2.000.000 + L. 0.05 + L. (1+05) ²⁵ - L. (1+05) ²⁵⁻¹ = . . .	144.099.99
30	L. 2.000.000 + L. 0.05 + L. (1+05) ³⁰ - L. (1+05) ³⁰⁻¹ = . . .	135.243.43
35	L. 2.000.000 + L. 0.05 + L. (1+05) ³⁵ - L. (1+05) ³⁵⁻¹ = . . .	128.426.34
40	L. 2.000.000 + L. 0.05 + L. (1+05) ⁴⁰ - L. (1+05) ⁴⁰⁻¹ = . . .	122.823.09
45	L. 2.000.000 + L. 0.05 + L. (1+05) ⁴⁵ - L. (1+05) ⁴⁵⁻¹ = . . .	118.324.99
50	L. 2.000.000 + L. 0.05 + L. (1+05) ⁵⁰ - L. (1+05) ⁵⁰⁻¹ = . . .	114.711.73
55	L. 2.000.000 + L. 0.05 + L. (1+05) ⁵⁵ - L. (1+05) ⁵⁵⁻¹ = . . .	112.509.90
60	L. 2.000.000 + L. 0.05 + L. (1+05) ⁶⁰ - L. (1+05) ⁶⁰⁻¹ = . . .	112.196.43
65	L. 2.000.000 + L. 0.05 + L. (1+05) ⁶⁵ - L. (1+05) ⁶⁵⁻¹ = . . .	111.972.43
70	L. 2.000.000 + L. 0.05 + L. (1+05) ⁷⁰ - L. (1+05) ⁷⁰⁻¹ = . . .	111.754.75
75	L. 2.000.000 + L. 0.05 + L. (1+05) ⁷⁵ - L. (1+05) ⁷⁵⁻¹ = . . .	111.457.59
80	L. 2.000.000 + L. 0.05 + L. (1+05) ⁸⁰ - L. (1+05) ⁸⁰⁻¹ = . . .	111.208.99
85	L. 2.000.000 + L. 0.05 + L. (1+05) ⁸⁵ - L. (1+05) ⁸⁵⁻¹ = . . .	110.965.30
90	L. 2.000.000 + L. 0.05 + L. (1+05) ⁹⁰ - L. (1+05) ⁹⁰⁻¹ = . . .	110.727.93
95	L. 2.000.000 + L. 0.05 + L. (1+05) ⁹⁵ - L. (1+05) ⁹⁵⁻¹ = . . .	110.493.93
99	L. 2.000.000 + L. 0.05 + L. (1+05) ⁹⁹ - L. (1+05) ⁹⁹⁻¹ = . . .	110.301.41

Les personnes qui ne sont pas familiarisées avec les logarithmes ne pourront se rendre aucun compte des calculs qui entrent dans la formation des deux tableaux qui précèdent, mais nous allons mettre sous leurs yeux le tableau suivant qui leur donnera les moyens de ré-

soudre toute sorte de problèmes d'annuités par le calcul ordinaire. Cette méthode est beaucoup plus longue que la précédente, mais elle est à la portée de toutes les intelligences.

Par exemple, soit à amortir un capital de 3 millions de francs au taux de 4 p. cent au moyen d'une somme annuelle de 30000 francs en sus du montant desdits intérêts qui sont de 120000 francs par an, ce qui porte l'annuité à 150000 fr.

La première année on aura payé sur le capital (3 millions) 30000 francs, partant il sera réduit à 2970000 francs.

La deuxième année on aura payé sur le capital deux fois 30000 francs ou 60000 francs, plus les intérêts des premiers 30000 francs qui sont de 1200 francs, en sorte que la deuxième année il sera payé sur le capital 61200 francs, ce qui le réduira à 2938800 francs, et en continuant ainsi jusqu'à ce que le capital soit réduit à zéro et que les sommes payées annuellement de 30000 francs avec les intérêts afférents à cesdites sommes forment 3000000 francs, on arrive à la quarante-deuxième année, à amortir entièrement le capital et au delà, ainsi que c'est établi par le tableau qui suit :

Tableau n° 3.

ANNÉES.	SOMMES		ANNÉES.	SOMMES		OBSERVATIONS.
	partielles.	totales.		partielles.	totales.	
	fr. c.	fr. c.		fr. c.	fr.	
1 ^{re}	30.000.00	61.200.00	22 ^e	68.717.75	1.036.654.65	On voit qu'à la 42 ^e année le capital est dépassé de 25,209 fr. 47 c. Par ce tableau on conçoit le nombre d'opérations qu'exige cette méthode pour obtenir ce 42 ^e terme, tandis que par les logarithmes on n'avait qu'une seule équation à faire dont voici la formule, tableau n° 1. $L. 150.000 - L. 30.000$ $L (1+04)$ Effectuant ces opérations, on a : $L. 150.000 = 176091260$ $L. 30.000 = 47712125$ Reste. 69897001 $L. (1+04) = 17033334$ 69897001 17033334 $41 \frac{62}{170} = 41 \text{ ans } 2 \text{ m.}$
2 ^e	31.200.00		23 ^e	71.466.19	1.107.120.84	
3 ^e	32.448.00	93.648.00	24 ^e	74.284.83	1.181.405.67	
4 ^e	33.748.00	127.396.00	25 ^e	77.256.23	1.258.661.80	
5 ^e	35.095.84	162.491.84	26 ^e	80.346.47	1.339.008.27	
6 ^e	36.499.67	198.991.51	27 ^e	83.560.33	1.422.568.60	
7 ^e	37.959.66	236.951.17	28 ^e	86.902.74	1.509.471.34	
8 ^e	39.478.05	276.429.22	29 ^e	90.378.85	1.599.850.19	
9 ^e	41.057.17	317.486.39	30 ^e	93.994.00	1.693.844.19	
10 ^e	42.699.46	360.185.85	31 ^e	97.753.77	1.791.597.96	
11 ^e	44.407.74	404.593.59	32 ^e	101.663.92	1.893.261.88	
12 ^e	46.187.74	450.781.33	33 ^e	105.744.75	1.998.009.63	
13 ^e	48.031.25	498.812.54	34 ^e	109.920.39	2.007.930.02	
14 ^e	49.952.50	548.765.08	35 ^e	110.317.20	2.118.247.22	
15 ^e	51.950.60	600.715.68	36 ^e	115.298.89	2.233.546.11	
16 ^e	54.028.63	654.741.31	37 ^e	119.418.44	2.352.964.55	
17 ^e	56.162.98	710.907.29	38 ^e	124.185.82	2.477.150.37	
18 ^e	58.436.29	768.343.58	39 ^e	129.086.01	2.606.236.38	
19 ^e	60.733.74	829.077.32	40 ^e	134.249.45	2.740.485.83	
20 ^e	63.160.08	892.237.40	41 ^e	139.619.43	2.880.105.26	
21 ^e	65.699.50	967.936.90	42 ^e	145.204.21	3.025.309.47	

CHAPITRE XXII.

DES CHEMINS DE FER.

Description.

Les chemins de fer ont pour objet d'effectuer le transport des voyageurs et des marchandises à meilleur marché, et de gagner principalement de vitesse sur les autres moyens de roulage connus jusqu'à ce jour.

On distingue trois sortes de chemins de fer : 1° les chemins provisoires que les entrepreneurs de travaux publics et autres industriels établissent dans leurs chantiers ou ateliers ; 2° les railways destinés au transport des marchandises, et 3° les chemins de fer destinés au transport des voyageurs. Tous ces chemins varient suivant leur destination par le système de construction et par le genre de tracé.

Les premiers, qui ne sont que d'un usage temporaire, consistent en barres de fer à la *maréchale méplat*, posées de champ bout à bout sur des traverses en bois, entaillées pour les recevoir d'environ 0^m,03 ou 0^m,04 de profondeur, suivant la largeur du fer qui est maintenu fixe dans cette position au moyen de coins en bois de chêne. On forme deux lignes parallèles d'environ 1 mètre de voie.

Les railways destinés aux transports des marchandises ont été établis principalement pour le service des mines de houille ; celui de Saint-Étienne est de ce nombre, quoiqu'il remplisse le double but du trans-

port des marchandises et des voyageurs; celui de la Teste à Bordeaux se trouve dans les mêmes conditions que celui de Saint-Étienne.

Les premiers rails employés ont été en fonte; mais on comprit bientôt les inconvénients de cette sorte de rails, qui cassaient souvent et pouvaient donner lieu à des accidents funestes. Ils coûtaient presque autant que ceux en fer forgé qui les ont remplacés, à cause du surplus de dimensions qu'ils avaient sur ces derniers. Ceux-ci, à volume inférieur, présentent plus de force de cohésion.

La pente *maximum* des chemins de fer est de 0^m,004 par mètre; ils sont, dans ces conditions, destinés pour les transports des voyageurs et des marchandises. La distance entre les bords intérieurs des rails ne pourra être de plus de 1^m,56, comme l'écartement intérieur compris entre les rails de chaque voie ne sera jamais au-dessous de 1^m,80, excepté au passage des tunnels et des ponts, où cette dernière dimension pourra être réduite à 1^m,44.

Les alignements devront se rattacher suivant des courbes dont le rayon *minimum* est fixé à 1000 mètres, et dans le cas de ce rayon *minimum* les raccordements devront, autant que possible, s'opérer sur des paliers horizontaux.

On peut déroger quelquefois à ces prescriptions, mais ce ne peut être que dans un très-petit nombre de cas et lorsque les dispositions des lieux ne permettent pas de faire autrement.

Dans toutes les stations des villes, bourgs et villages que traversent les chemins de fer, il existe des gares pour l'arrivée et le départ des convois. L'importance de ces gares est subordonnée à l'affluence des voyageurs et des marchandises qui arrivent à la station qu'elles desservent.

Les croisements de niveau sont tolérés pour les chemins vicinaux, ruraux et particuliers (*fig. 5, Pl. 12*).

Lorsque le chemin de fer devra passer au-dessus d'une route nationale ou départementale, l'ouverture du pont sera de la même largeur que la route traversée, à moins que l'administration des ponts et chaussées n'en ordonne autrement; la hauteur sous clef, à partir de la chaussée de la route, sera de 6 mètres au moins, la largeur entre les parapets de 7 mètres, et la hauteur de ces mêmes parapets de 1^m,30.

Lorsque le chemin de fer devra passer au-dessous d'une route nationale ou départementale, ou d'un chemin de grande communication ou vicinal, la largeur entre les parapets du pont qui supportera la

route ou le chemin, sera fixée au moins à 12 mètres pour la route nationale, à 8 mètres pour une route départementale, et à 6 mètres pour un chemin vicinal.

Lorsque le chemin de fer traversera une rivière, un canal ou un cours d'eau, le pont aura la largeur de voie et la hauteur des parapets fixés plus haut.

Quant à l'ouverture du débouché et à la hauteur sous clef au-dessus de l'eau, elles seront déterminées par la hauteur des eaux des plus grandes inondations de ces fleuves, rivières et ruisseaux, etc.

Tous les ponts seront en maçonnerie, ou en fer, ou en fonte; les ponts suspendus sont prohibés à cause de leur mobilité et de leurs oscillations perpétuelles.

Dans le cas où des chemins vicinaux, ruraux ou particuliers seront traversés à leur niveau, les rails ne pourront être élevés au-dessus ou abaissés au-dessous de la surface de ces chemins de plus de 0^m 03; les rails et le chemin de fer devront en outre être disposés de manière à ce qu'il n'en résulte aucun obstacle à la circulation. Des barrières sont tenues fermées de chaque côté du chemin, et un gardien est préposé à la surveillance de ce service.

Les chemins de fer ont 8 mètres de largeur, non compris les fossés qui ont de 1 mètre à 2 mètres de gorge, suivant l'écoulement des eaux auxquelles ils sont destinés à donner passage.

Ils sont fermés sur toute leur longueur par des barrières. Les ouvrages d'art qu'exigent en général les chemins de fer sont les mêmes que ceux que nous avons déjà décrits pour les routes ordinaires.

Je ne chercherai pas à faire l'historique des divers systèmes de rails qui ont été employés jusqu'à nos jours; je me contenterai de parler du système employé aujourd'hui, et qui a été reconnu le meilleur par le temps et l'expérience.

Après que les terrassements, fossés, banquettes, chaussées et ouvrages d'art sont terminés, on procède à la pose des rails.

Les rails ont en général 4^m,55 de longueur, ayant partout la même section transversale à double champignon (*fig. 8, AA', Pl. 12*), supportés par des coussinets en fonte fixés sur des traverses en bois de chêne au moyen de chevillettes en fer, et les rails sont maintenus dans les coussinets par des coins en bois de chêne. Les rails s'ajustent bout à bout à joint carré et sur le milieu d'un coussinet dans lequel ils

sont parfaitement maintenus par deux coins à serrer et placés de chaque côté des rails. Ces rails forment cinq divisions de 0^m,91 chacune et pesant environ 19 kilog. le mètre courant. Le tableau suivant donne leur degré de force de cohésion et la flexion qu'ils ont éprouvée sous divers poids.

POIDS dans le milieu.	LE RAIL FIXE			
	à tous les coussinets.		aux deux coussinets du milieu.	
	flèche totale.	flèche permanente.	flèche totale.	flèche permanente.
k.	mm.	mm.	mm.	mm.
0.850	0.2	0.0	0.2	0.0
1.700	0.3	0.0	0.4	0.0
3.400	0.6	0.0	0.9	0.0
4.250	0.8	0.0	1.2	0.0
5.100	1.0	0.0	1.4	0.1
5.900	1.2	0.1	1.7	0.2
8.500	1.7	0.2	2.9	2.0

Le prix de la fonte et du fer malléable étant à peu près en raison inverse des quantités de matières contenues dans un mètre courant de rails en fonte ou en fer, il y a presque égalité de dépenses sous ce rapport.

Avant de faire la pose des rails, on doit leur faire subir l'épreuve. Les rails, tels qu'ils sont décrits, soumis à l'épreuve de 2000 kilog. tombant de 0^m,70 de hauteur, ne doivent jamais casser; mais il est impossible qu'ils n'éprouvent sous ce choc, qui a lieu au milieu des appuis qui se trouvent espacés de 0^m,91, une courbure dont la flèche est de 0^m,04 à 0^m,03: on les redresse autant que possible sans les mettre au feu: on n'éprouve ordinairement que quelques rails, dans le but de s'assurer de la force de cohésion du fer et de sa bonne qualité. On a donné aux rails la forme d'un double champignon à deux fins; lorsque la première surface se trouve usée par les frottements et que le fer s'exfolie, on retournera sans dessus dessous les rails qui se trouveront dans cet état de dégradation, et ils pourront faire encore un nouveau service égal en quelque sorte au premier.

Le tableau suivant indique les dimensions principales de quelques rails français et anglais.

Dimensions principales de quelques rails.

CHEMIN DE	DISTANCE		HAUTEUR.	LARGEUR		LONGUEUR	POIDS	
	des appuis.			maxi- mum.	mini- mum.		du rail.	d'un mètre.
	m.	m.	mm.	mm.	mm.	mm.	k. g	k.
<i>Rails en fer.</i>								
Lyon.	0.91	0.75	75	46	14	4.57	13.20	7000
Roanne.	0.82	0.71	75	46	14	5.00	13.20	7000
Épinac.	1.00		80	43	12	5.00	11.00	3600
Denain.	"		80	48	13	"	13.20	4000
Darlington.	0.91		85.56	55	14	4.56	14.00	8000
Liverpool.	0.91		160.60	55	15	4.56	17.00	11500
Shelen-Runcorn.	0.91		92	55	18	4.56	19.50	8000
Leeds et Selby.	0.91		100	58	13	4.56	21.80	"
Sunderland.	"		97	49	13	4.56	14.50	4000
Redruth.	0.91		80	30	16	"	12.70	2000
Wrexham.	1.15		80	40	20	4.60	14.00	2500
<i>Rails en fonte.</i>								
Andrézieux.	1.14		140-70	50	20	1.20	21.70	3800
Darlington Helton.	1.15		145-80	55	13	1.20	22.00	8000
Newcastle.	1.15		"	40	"	1.22	20.80	4000
Middleton.	0.92		120-90	51	19	0.92	19.80	5500

Les rails doivent toujours conserver leur hauteur, leur parallélisme et leur affleurement aux joints, sujétions essentielles pour le roulage et dans lesquelles il est d'autant plus difficile de les maintenir, que les véhicules ont plus de masse et de vitesse.

Cette situation uniforme dépend incontestablement des précautions qu'on prend dans le damage et pilonnage du terrain et principalement de la sujétion qu'on met à poser bien de niveau les traverses de chêne qui reçoivent les coussinets qui doivent y être fixés bien solidement et parallèlement entre eux pour former la voie. Pour que dans la pose, les rails ne contretirent pas, on doit confier ces sortes d'opérations aux ouvriers les plus habiles, et principalement à un chef d'atelier ou gâcheur qui soit jaloux de bien faire et qui possède l'amour-propre de son travail : ce n'est qu'avec une intelligence plus qu'ordinaire et une longue expérience qu'on vient à former de ces chefs d'ateliers qui sont précieux pour de telles opérations, qui exigeront toujours le plus grand soin et l'habileté la plus éclairée.

Établissement d'un railway.

Pour poser un rail-way, on dresse les traversines qui sont en bois de chêne le plus pur, sans aubier, parfaitement sain et dont la longueur est subordonnée à la largeur de la voie. En général, quelle que soit cette largeur, les traversines doivent avoir 0^m,25 en dehors de l'axe de chaque rail qu'elles supportent. On pose deux coussinets sur chaque traversine bien à la dimension de la voie et fixés solidement par des chevillettes en fer. Cette opération terminée, on fait transporter sur les lieux de l'emploi les traversines et les rails; on dame et nivelle bien le terrain; on y place les traversines bien à plat qu'on rend bien de niveau, en les frappant jusqu'à ce qu'elles arrivent au point rigoureusement exact pour obtenir un niveau parfait, ou la pente ou rampe convenable au projet; et après la mise en place d'une certaine étendue de traversines, on procède à la pose des rails qu'on fixe solidement dans les coussinets au moyen de coins en bois de chêne; avant la pose, on doit s'assurer que les rails sont bien dressés, car les chocs qu'ils reçoivent dans les transports peuvent souvent les fausser; aussi est-il nécessaire de faire suivre une enclume pour les dresser à froid, lorsqu'ils sont gauches.

Au point où deux rails se réunissent, il faut que le joint soit aussi uni que s'il n'existait pas, et c'est aux extrémités communes de deux rails qu'on doit prendre toutes les précautions imaginables pour bien les consolider sur les coussinets communs, de telle sorte qu'ils ne présentent aucune aspérité aux joints, qu'ils forment deux à deux. On doit avoir soin dans la pose des rails de ne pas les faire toucher bout à bout, il faut laisser un jeu suffisant pour la dilatation: l'allongement ne peut jamais excéder de 0,002^m à 0,003^m par rail de 4^m,56: ($40^\circ \times 4^m,56 \times \frac{1}{400 \times 819} = 0,002^m$) en supposant que la pose a lieu à 0° et que le fer ne s'échauffe pas au delà de 40° par les grandes chaleurs d'été; et pour imprimer plus de stabilité aux rails des deux lignes, il est indispensable que la pose des rails se fasse de manière que le joint de deux rails d'une ligne corresponde au milieu du rail de l'autre ligne et ainsi de suite.

La largeur de la voie dépend de celle des waggons qu'on y destine. Il est des chemins de fer qui n'ont qu'une voie, et lorsque cela arrive, on est obligé d'établir de distance en distance des parties à double voie pour le croisement des waggons, allant dans des sens opposés, ou marchant dans le même sens avec des vitesses différentes. La longueur des croisières est subordonnée à la longueur totale des convois. On compte depuis le 10° jusqu'au 15° de longueur de voie de plus pour les croisières.

Dans l'exécution des terrassements et ouvrages d'art, on effectue presque tous les transports au moyen des rails qu'on place provisoirement; ce mode de transports diminue considérablement les dépenses et imprime de la célérité aux travaux.

Aux abords des gares, il faut toujours ajouter des voies particulières pour la station des waggons: ces voies qui sont en raison de l'importance des gares qu'elles desservent sont toujours placées hors des lignes du chemin. C'est aux abords des gares et dans les gares même que se trouvent placées les plates-formes qui servent à faire pivoter les locomotives sur elles-mêmes ainsi que les wagons, et à les conduire sur la voie qu'elles viennent de parcourir ou pour tout autre changement de voie à angle droit. Les *fig. 1, 2 et 3, Pl. 12*, représentent le plan, la coupe et l'élévation d'une plate-forme.

Pour passer d'une voie à l'autre (*fig. 4*) on pratique des courbes de raccordement qui ne sont pas toujours tangentes aux lignes principales; il faut que les angles ne fassent pas éprouver aux waggons un changement trop brusque de direction: ces angles peuvent s'étendre de trois à six degrés suivant la largeur de la voie des waggons et du rapprochement de leurs essieux. Le changement de voie s'effectue au moyen de parties de rails mobiles autour d'un centre appelées *switches* ou aiguilles, et qui sont tenues à la distance de la voie par des traverses formant chassis avec les aiguilles (*fig. 4, Pl. 12*).

La tige T est liée aux aiguilles M, N, ou portion de rails tournant sur un axe; un levier coudé L sert à manœuvrer ces aiguilles au moyen d'un mécanisme appelé *excentrique*.

Dans la situation où les aiguilles se trouvent à l'égard des rails fixes, un convoi qui viendrait de A, B, prendrait la direction C, D. Si au contraire l'aiguille M est séparée du rail et que l'aiguille N touche le rail D, le convoi prendra forcément la voie R, S, guidé par le rebord

des roues qui rencontreront le passage O barré. La *fig. 8* représente la coupe sur l'axe d'une traversine ; A, A' rails à double tête de champignon ; B, B' coussinet en fonte ; E, F, G, H chevilletes en fer forgé ; I, K, L, M traversine en chêne.

Lorsque le railway traverse un chemin de niveau, on place chaque rail entre deux plaques de fonte ou deux madriers de chêne ou enfin deux rangées de pierres dures et laissant entre eux et les rails environ 0^m,03 de vide. Ces plaques, madriers ou pierres dont le dessus affleure le dessus du rail, servent à retenir l'empierrement de la route et à protéger le rail du choc des roues de charrettes ou voitures qui passent par-dessus le rail (*fig. 5, Pl. 12*).

Dans la construction des chemins de fer, on a à percer des montagnes, à élever des viaducs au-dessus des vallées : ces constructions exigent la même sujétion que pour les routes et canaux dont nous avons parlé déjà : ici nous nous contenterons d'établir la largeur à donner à ces ouvrages relativement à leur nature et à leur importance de viabilité. Lorsque la tranchée ou déblai dépasse 45 mètres, il y a avantage de pratiquer un tunnel. On appelle tranchée ou déblai une excavation pratiquée dans le sol. La plus grande tranchée connue est celle de Newcastle, à Carlisle (Angleterre), elle a 38 mètres de profondeur. La *fig. 6 (Pl. 12)* représente une tranchée de 45 mètres de profondeur. S'il s'agit d'un railway pour marchandises à une seule voie, 0^m,50 de largeur sont suffisants de chaque côté des waggons, ainsi qu'une même hauteur au-dessus des caisses (tunnels de Preston et de Terre-Noire).

Si le tunnel est pour le passage des voyageurs, il faut 4 mètre de largeur entre les parois des diligences et les pieds-droits des voûtes. Le tunnel de Liverpool a 7^m,30 de largeur pour deux voies et 4^m,05 d'intervalle entre les coussinets et les pieds-droits. Un tunnel est une galerie que l'on creuse sous terre toutes les fois que le niveau de la voie de fer exige une excavation trop profonde pour pratiquer une tranchée, ou lorsqu'on veut laisser intact un monument, un quartier de ville, etc. Les tunnels sont entièrement revêtus de maçonnerie, à moins qu'ils ne soient creusés dans le roc, pour qu'ils puissent résister à la poussée des terres ou les voûtes en contre-bas. La *fig. 2, Pl. 13* représente la coupe en travers d'un tunnel.

Dans l'exécution, on fait la percée d'un tunnel par les deux extré-

mités et même par le dessus, au moyen de puits, suivant la longueur que doit avoir la percée.

Les plus longs tunnels connus sont ceux de Sheffield à Manchester, en Angleterre (4,800 mètres), et celui de Rolleboise en France, chemin de fer de Paris à Rouen (2,625 mètres).

Les ponts et viaducs peuvent être construits indifféremment en maçonnerie, en charpente de fer ou en fonte. La largeur de ces ouvrages entre les parapets et les rails extrêmes, varie de 0^m,80 à 4^m,50. Cette dernière distance est bien suffisante et c'est un superflu inutile de la laisser plus large. Lorsque la levée ou remblai dépasse 15 mètres de hauteur, il est peut-être plus avantageux de construire un viaduc. La levée est une masse de remblais que l'on dépose sur le sol naturel pour l'élever; la *fig. 7 (Pl. 12)* représente le profil d'une levée de 18 mètres de hauteur. On appelle viaducs les ponts qui ne sont pas établis sur un cours d'eau et qui servent à franchir une vallée ou une dépression considérable du sol. Les viaducs remplacent les remblais toutes les fois que ceux-ci deviendraient trop dispendieux par leur élévation (*fig. 1, Pl. 13*). *a, b, c, d, e, f* vides ménagés dans l'intérieur des piles et des culées.

Les chariots ou waggons employés sur les chemins provisoires, étant destinés au transport des matériaux, sont établis de manière à faire bascule comme les tombereaux ordinaires. Dans les uns, l'axe de rotation est perpendiculaire aux rails et la charge est ramenée en avant; dans d'autres l'axe est parallèle au chemin et la charge se déverse sur le côté. Ces waggons sont traînés ordinairement par des chevaux; ils portent de 4 mètre à 4^m,80, et un cheval en traîne trois des premiers et deux des seconds. Ces moyens de transports sont adoptés pour l'exécution des chemins de fer; quelques entrepreneurs en ont fait usage sur le canal latéral à la Garonne et s'en sont bien trouvés. On estime en général que ces transports donnent 30 p. 0/0 d'économie sur les transports ordinaires. Ces chariots sont composés d'une caisse en forme de trémie, d'un châssis de charpente sur lequel repose la caisse à bascule, de deux essieux et quatre roues en fonte qui portent le châssis.

Il est indispensable que les waggons qui circulent sur les voies de fer destinés au transport des voyageurs, et qui sont attachés les uns à la suite des autres, soient construits très-solidement pour n'être pas

brisés par les secousses et les chocs considérables qu'ils éprouvent horizontalement en se tirant et se poussant mutuellement : de là naît l'inconvénient de traîner une plus forte masse qui consomme inutilement un tiers de la force de traction.

Poids des waggons.

CHARGÉS.	VIDES.	RAPPORT.	NOM du chemin de fer.	CHARGÉS.	VIDES.	RAPPORT.	NOM du chemin de fer.
k.	k.			k.	k.		
3970	1268	0.32	Killing Worth.	3800	1200	0.32	Newcastle.
3811	1167	0.29	<i>Idem.</i>	4000	1500	0.38	<i>Idem.</i>
3869	1180	0.31	<i>Idem.</i>	1900	600	0.32	<i>Idem.</i>
4262	1573	0.36	Helton.	5000	1600	0.32	Liverpool.
3856	1167	0.31	<i>Idem.</i>	4500	1500	0.33	Denain.
4081	1395	0.34	Back Worth.	3600	1000	0.28	Épinac.
3000	1300	0.44	Darlington.	3700	1100	0.30	Roanne.
3875	1250	0.32	<i>Idem.</i>	4100	1100	0.27	Lyon.
3600	1500	0.42	Bolton.	3800	1400	0.38	Andrezieux.
3600	1000	0.28	Glasgow.	»	»	»	
2130	760	0.36	Whistable.	»	»	»	

On voit, d'après ce tableau, que les waggons varient entre le $\frac{1}{3}$ et les $\frac{2}{5}$ du poids qu'ils sont destinés à porter. Ces inconvénients sont communs à tous les véhicules possibles : sur les routes ordinaires les chars, chariots, voitures et diligences sont exposés à éprouver des chocs qui sont tels, que pour remplir le degré de solidité convenable, tous ces véhicules sont d'un poids égal au $\frac{1}{3}$ et aux $\frac{2}{5}$, et on va même jusqu'aux $\frac{48}{100}$ du poids de sa charge. Il semblerait que les chemins de fer devraient améliorer cette situation, mais la vitesse se trouvant triplée, les chocs et les locomotions étant en raison de cette vitesse, les véhicules destinés aux chemins de fer ne doivent être construits que dans ce même rapport.

Poids des diligences.

CHAR- GÉES.	VIDES.	RAP- PORT.	ESPÈCES DE VOITURES.	CHAR- GÉES.	VIDES.	RAP- PORT.	ESPÈCES DE VOITURES.
k.	k.			k.	k.		
3500	1700	0.48	Diligences françaises.	7000	2200	0.31	Grosses voit. à 2 roues.
2400	900	0.37	Diligences anglaises.	1150	350	0.30	Léger charriot à 4 roues.
1300	500	0.38	Charrettes à 2 roues.	9000	3400	0.38	Grosses voit. à 4 roues.

Ces rapprochements démontrent clairement que nous sommes loin de la perfection des moyens de transport, et que les chemins de fer comme les routes ordinaires perdent le tiers de la force qu'on y emploie; mais c'est un mal irrémédiable à cause du degré de solidité que doivent avoir les divers genres de véhicules dont nous venons de parler.

D'après les auteurs qui ont écrit sur le mécanisme des chemins de fer, le coefficient de frottement sur les rails est de $0^m,002$ de la pression, et d'après ce principe, qui est le résultat de plusieurs expériences, on a dressé le tableau suivant :

PENTE à partir du sommet.	LONGUEUR parcourue sur le plan incliné.	TEMPS en secondes.	FROTTEMENT en parties du poids d'après Wood.	VITESSE finale.	FROTTEMENT en parties du poids d'après la formule $F = \frac{3e}{1 - g.t^2}$.	FORCE accéléra- trice = $\frac{V}{T}$.
	m. c.			m. c.		
0.009958	30.47	34.20	0.00118	1.78	0.00199	0.0520
0.010113	60.94	48.80	0.00137	2.50	0.00231	0.0512
0.010215	91.41	59.60	0.00140	3.06	0.00234	0.0513
0.009963	121.88	70.20	0.00144	3.46	0.00240	0.0492
0.009845	152.35	79.10	0.00147	3.81	0.00239	0.0469
0.009845	15.40	70.04	0.00113	4.00	0.00178	0.0526

Le prix du transport des marchandises sur chemin de fer, avec vitesse de $0^m,90$ par seconde pour 1,000 kilog. et par kilomètre de distance, est fixé à $0^m,05$, prix moyen du commerce.

Chemin de fer sur plan incliné.—Des waggons chargés remontant les vides.

(Ce système trouve souvent son application dans les travaux.)

Si des waggons chargés descendent un plan incliné, ils peuvent en même temps remonter un même nombre de chariots vides au moyen de leur propre poids.

Les dispositions les mieux combinées sur ces plans inclinés, sont deux voies avec des rouleaux placés à des distances convenables pour que la corde ne touche pas terre, et un plateau horizontal au-dessus pour recevoir le mécanisme.

Ce mécanisme se compose d'une grande corde ou chaîne, suivant la longueur du chemin à parcourir, aux deux extrémités de laquelle sont attachés les waggons montants et descendants. Elle s'enroule au sommet du plateau sur un treuil horizontal ou vertical solidement placé, avec poulies de retour, et ce même plateau reçoit au-dessus les waggons vides pour être chargés.

La manœuvre se fait de la manière suivante : des waggons vides sont sur le palier du bas et d'autres chargés ou à charger sont sur le palier du haut, et tous attachés par les extrémités de la corde dont j'ai parlé ; il est plus prudent de n'avoir que deux waggons au lieu d'un plus grand nombre. Les waggons attachés comme je viens de le dire, un homme, ou plusieurs, fait avancer les waggons chargés vers le plan incliné et le présente à la descente pendant qu'un autre homme tient la manivelle du frein du treuil pour modérer ou donner la vitesse qu'il convient, et le waggon vide remonte au sommet du plan par la force d'attraction du waggon plein. On procède à sa charge et on continue comme je viens de l'expliquer et ainsi de suite (*Voir la fig. 9, Pl. 42*). A, waggon chargé remontant le waggon vide B; C, frein pour modérer la vitesse; D, treuil avec la corde qui l'embrasse; E, F, G, H, poulies de retour; IM, système de charpente recevant le treuil, et N, O, P, Q, charpente de la machine.

Mouvements des wagons sur plans inclinés.

Expériences de Wood.

EXPÉRIENCES.	INCLINAISONS.	LONGUEUR.	POIDS des wagons.		TEMPS.	CORDE.		POIDS des poulies.		RAPPORT du diamètre des poulies à celui de l'axe.	
			chargés.	vides.		dia- mètres.	poids.	petites.	grandes.	petites.	grandes.
18	1	654	5 × 3973	6 × 1268	200	41	17.61	14.95	21.01	1	1
	37.3										
19	1	654	6 × 3973	7 × 1268	180	41	17.61	14.95	21.01	1	1
	37.3										
20	1	1190	5 × 4285	7 × 1574	300	41	21.79	19.16	2.06	1	1
	30										
21	1	1118	5 × 4287	7 × 1574	360	41	20.25	44.25	2.06	1	1
	28.3										
22	1	824	5 × 4285	7 × 1574	280	35	13.27	18.75	2.06	1	1
	35.3										

Je terminerai cette relation par une réflexion qui n'est pas sans portée pour la pose des rails. Il n'est pas d'homme qui, ayant voyagé sur des chemins de fer, n'ait ressenti un petit choc qui a lieu à chaque joint pour aussi bien que les rails s'affleurent exactement; c'est le petit jeu qui existe à leur jonction qui produit cet effet désagréable par le passage de la roue d'un rail sur l'autre rail.

Mais ce léger soubresaut est plus marqué s'il y a différence de niveau à la jonction des rails et le choc est bien plus fort, lorsque la roue monte sur la saillie; cette observation suffit pour insister fortement sur la plus minutieuse sujétion dans la pose des rails et principalement à leurs points de jonctions.

Chemin de fer atmosphérique.

Deux systèmes sont en présence: le système anglais et le système français. Tous les deux ont pour base l'effet utile de la pression de

l'atmosphère sur le piston renfermé dans un long tube privé d'air par une puissante pompe aspirante mise en mouvement par une machine à vapeur fixe. Le piston porte une tige métallique verticale à laquelle se trouve fixé le waggon directeur du convoi.

Le chemin de fer atmosphérique de Nanterre à St-Germain a été construit à titre d'essai sur 10 kilomètres de longueur. Dans cette espèce de chemins on n'emploie pas de locomotive; le convoi roule sans bruit, sans fumée et pour ainsi dire sans danger, parce que le déraillement ou la rencontre de deux convois est impossible.

Voici la composition de tout cet appareil: la voie se compose de rails comme à l'ordinaire et d'un tube placé sur l'axe de la voie parallèlement aux rails, et formé d'une suite de tuyaux encastrés les uns dans les autres. Ce tube présente à sa partie supérieure une ouverture longitudinale de 30 millimètres de largeur hermétiquement fermée par un système de soupapes qui s'ouvrent et se referment au fur et à mesure du passage de la tige conductrice; le jeu de ces soupapes permet de faire le vide sans interruption dans le parcours du tube. Quatre galets fixés à un chassis qui forme le prolongement du piston soulèvent les soupapes; un autre appareil les referme par la pression opérée par un galet.

Les soupapes sont formées d'une lame de cuir de bœuf de 30 millimètres de longueur formant charnière du côté où elles sont fixées sur le tube. Chaque cuir est renforcé dessus et dessous de feuilles de tôle. La tôle inférieure moins large que le cuir remplit hermétiquement l'ouverture du tube.

Comme le vide ne peut s'opérer promptement et avec facilité dans un tube de 5 à 6 kilomètres, on est obligé de multiplier les machines fixes. Des soupapes donnent passage au piston pour pénétrer d'un tube dans un autre sans permettre à l'air de s'y introduire.

La *fig. 3* (*Pl. 13*) représente le plan d'une portion de chemin atmosphérique; A, A' indique la conduite de la pompe à air mise en mouvement par une puissante machine fixe à vapeur; B, C, conduites de la pompe aux tubes conducteurs EF et GH; I conduite pour le changement de voie MN.

La *fig. 4* indique la coupe transversale du tube pendant le passage de la tige du piston, et la *fig. 5* représente la même coupe après le passage du piston.

Cette description s'applique au système anglais.

Et le système français n'en diffère que par la suppression de la soupape.

Au premier coup d'œil, il est facile de voir que le système anglais pèche par le mécanisme compliqué de la soupape. Car comment sur une longueur de plusieurs lieues empêcher l'air de s'introduire dans le tube par suite de quelque défaut ou de quelque irrégularité dans le jeu des soupapes ? M. Hallete remédie parfaitement à cet inconvénient en remplaçant la série de soupapes par l'appareil suivant : le tube est ouvert comme dans le système anglais, mais les bords de l'ouverture sont terminés par des demi-cylindres fondus d'un même jet avec le tube. Chacun de ces demi-cylindres est bouché par un tuyau de tissu imperméable et rempli d'air comprimé par la même machine qui opère le vide. Ces tuyaux gonflés se pressent l'un contre l'autre et empêchent tout passage à l'air extérieur. La tige conductrice s'insinue entre ces deux tuyaux qui, par l'effet de l'élasticité de l'air, se serrent l'un contre l'autre lorsque la tige est passée.

La *fig. 6* représente la coupe en travers du tube d'après le système de M. Hallete.

J'arrêterai ici mes dissertations sur les chemins de fer et je renverrai aux auteurs qui ont écrit sur cette importante innovation. J'indiquerai à cet effet les leçons de M. Minard et l'ouvrage du savant Wood. Il est vrai de dire que les chemins de fer étaient dans l'enfance lorsque ces auteurs ont écrit, mais ils ont jeté les fondements de la théorie et de la pratique de ces voies nouvelles, qui font l'unique objet des savants et des spéculateurs de notre époque.

La découverte des chemins de fer est le complément de l'invention de l'imprimerie et de l'application de la vapeur à la navigation : ces trois principes sont le trépied d'où sortira la civilisation entière du monde : l'imprimerie a répandu la lumière pour éclairer les peuples ; la navigation à la vapeur la transporte à vol d'oiseau sur les deux hémisphères et dans les régions les plus lointaines, et les chemins de fer rapprochent les peuples et concourent ainsi au grand œuvre de la civilisation : quelque temps encore et on parcourra en moins de temps l'Europe entière qu'un royaume autrefois, et notre belle France qu'un département : les produits du midi avec leurs populations se croiseront dans toutes les directions avec la rapidité de l'éclair ; les popu-

lations seront en mouvement et le commerce ne pourra manquer d'être florissant par la facilité et la rapidité des échanges des produits du midi avec ceux du nord. De tous ces rapprochements d'hommes et de choses que les chemins de fer nous promettent dans un avenir peu éloigné, il ne peut résulter qu'un grand bien pour tous : l'agriculture, l'industrie et le commerce sont appelés à s'enrichir de cette nouvelle découverte. Prévoir la somme de bien que peut produire l'exécution pleine et entière des chemins de fer est au-dessus de mon intelligence, mais je leur prédis un grand avenir pour la civilisation et le bien-être matériel de tous les peuples, puisque les chemins de fer sont appelés à sillonner les continents comme la navigation à la vapeur a été destinée à parcourir toutes les mers.

CHAPITRE XXIII.

DES CANAUX.

Description de l'ancien canal de Suez.

La construction des canaux se perd dans la nuit des temps. Les Égyptiens et les Phéniciens sont les premiers peuples qui aient exécuté des canaux dans le but de favoriser leur commerce. On attribue aux Égyptiens la construction d'un canal qui réunissait la mer Rouge à la Méditerranée par l'isthme de Suez. Les savants et les historiens ne sont pas tous d'accord sur l'existence de ce canal, quoique plusieurs historiens rapportent que Cyrus y fit passer son armée; voici cependant une relation de M. Huet, évêque d'Avranches, citée par Béli-dor, qui démontre l'ancienne existence de ce canal, et nous espérons qu'elle ne sera pas sans intérêt pour nos lecteurs.

« Mais à quoi bon se tant tourmenter à imaginer quelle fût la ma-
» nière dont les vaisseaux des Tyriens firent ce trajet, puisque dans
» ce temps-là on avait une voie si facile pour cela: en effet, de ce
» transport des vaisseaux Tyriens, on doit conclure que même avant
» le siècle de Salomon, les rois d'Égypte avaient joint la mer Médi-
» terranée à l'Érythrée par un canal de l'une à l'autre; car qui pour-
» rait se persuader que les Égyptiens, nation si laborieuse et accou-
» tumée à de semblables ouvrages, après avoir creusé une infinité de
» canaux dans une terre molle et bourbeuse, pour introduire ou dé-

» tourner les eaux du Nil, et avoir élevé avec des travaux immenses
» ces merveilleuses pyramides, aient pu négliger la jonction de ces
» deux mers qui leur assuraient des commodités et des avantages in-
» finis. Ce n'est pas ici une simple conjecture : Une tradition arabe as-
» sure que la jonction du Nil avec le golfe Arabique a certainement
» été faite ; on en fait remonter l'époque jusqu'au temps d'Abraham,
» et on en attribue l'exécution à Totis, ou comme d'autres le nom-
» ment, à Tarsis, roi d'Égypte ; c'est le sentiment de Murtadi dans sa
» description de l'Égypte. Strabon, après avoir avancé que l'ouvrage
» n'avait été qu'ébauché sous Sésostris, a prétendu dans la suite
» que le canal de communication avait été fait sous ce prince avant
» la guerre de Troie. Tous les savants conviennent que la guerre de
» Troie est d'un siècle plus ancienne que le règne de David ; mais
» on voit par la supputation des temps et par le témoignage de Jo-
» sèphe, que Sésostris, connu dans l'Écriture sous le nom de Sésac,
» n'a vécu que longtemps depuis et a été contemporain de Roboam,
» quoique ce sentiment soit opposé à celui de la plupart des auteurs
» grecs. Ainsi on doit conclure que ce canal avait été percé et rendu
» praticable avant le règne de Sésostris ; mais que dans la suite des
» temps s'étant trouvé bouché, faute d'entretien, ce prince entreprit
» d'y faire travailler de nouveau et de le creuser davantage. A cette
» opinion on peut aussi ajouter le sentiment de quelques anciens qui
» ont cru qu'après la destruction de Troie, Ménélas avait traversé
» l'isthme Arabique, par un canal, pour pénétrer en Éthiopie. Cepen-
» dant ce nétoisement du canal et l'ouvrage nouveau qui y fut fait en
» le creusant davantage, que quelques-uns attribuent à Sésostris, est
» aussi attribué par d'autres à Psamétichus son fils, et Hérodote en
» donne la gloire à Nécus, petit-fils de Sésostris. Quoi qu'il en soit
» l'ouvrage ne fut pas poussé jusqu'à la fin dans ce temps-là non plus
» que quelques années après par Darius, sous qui cependant il s'en
» fallut peu qu'on n'y mit la dernière main ; on en fut détourné par
» la crainte que l'on eut que les eaux de la mer Rouge se trouvant
» plus hautes que les terres de l'Égypte ne vinssent à inonder le pays.
» Cependant le même Hérodote semble insinuer que Darius poussa
» l'ouvrage à sa dernière perfection. Ptolémée Philadelphe prévient
» l'inconvénient que l'on craignait du côté des eaux de la mer Rouge ;
» il ajouta au canal qu'il avait entièrement fait creuser depuis Bubaste

» jusqu'à Arsinoé des écluses (1) pour arrêter les eaux de la mer
» Rouge qui seraient entrées avec trop de violence. Nous voyons en-
» core dans Strabon que du temps d'Ælius Gallus et du sien, la com-
» munication du Nil au golfe Arabique était libre aux vaisseaux mar-
» chands d'Alexandrie, et que de là ils pénétraient jusque dans les
» Indes. Je ne crois pas cependant que ce canal ait été navigable pour
» les gros vaisseaux ; car comment Cléopâtre se serait-elle déterminée
» à faire construire avec des frais et des peines immenses, des ma-
» chines pour faire transporter sa flotte par terre, si elle eût eu une
» voie ouverte pour le faire avec plus de facilité. Dans la suite, l'em-
» pereur Trajan fit réparer ce canal et lui donna son nom, comme
» Ptolomée avait fait avant lui ; après quoi le calife Omar, vers la fin du
» règne d'Héraclius, donna la commission à Amri, fils d'Asius, de né-
» toyer ce canal qui s'était trouvé comblé avec le temps, faute d'entre-
» tien. Ce canal est celui que les Arabes croient que dès le temps
» d'Abraham, Totis, roi d'Égypte, avait fait faire ; un autre calife
» d'Égypte le fit fermer à son embouchure du côté de la mer, et le ca-
» lise Hakem le fit encore de nouveau rétablir et l'orna d'un revête-
» ment de marbre. Quelques soudans d'Égypte, leur vainqueur Se-
» lim, empereur des Turcs, et les descendants de celui-ci ont travaillé
» à le rouvrir et l'ont mis dans l'état où il se trouve aujourd'hui ; mais
» il ne sert plus qu'à introduire les eaux dont on a besoin dans certains
» temps pour arroser les terres d'Égypte ; la quantité de limon dont
» son lit est chargé, le rendant inutile pour la navigation. Nous n'ou-
» blierons pas ce que Diodore rapporte, savoir : que de Memphis à la
» mer Méditerranée on a coupé une infinité de canaux semblables à
» ceux que l'on trouve dans le reste de l'Égypte, destinés à arroser
» les terres ou à transporter les marchandises.

» Je crois avoir fait sentir à ne pouvoir en douter tant par la des-
» cription que nous avons des anciens que par le sentiment des mo-
» dernes, que ce canal que Sésostris répara était le même que celui
» que Darius, après lui Ptolémée Philadelphie et enfin le calife Omar
» avait fait creuser à diverses reprises. Ce canal s'étendait depuis la

(1) Les anciens donnaient le nom d'écluses à tous les travaux qu'ils faisaient pour soutenir les eaux, ainsi l'on ne doit point inférer que ce terme signifie ici des écluses telles que les nôtres, tout paraissant prouver qu'ils ne les connaissaient pas.

» ville de Fustata , aujourd'hui le Grand-Caire , jusqu'à Clyma , port
 » sur la mer Rouge ; ce qui est conforme à ce qu'en disent Elmacin
 » et Euthychus , auxquels on peut joindre Hérodote qui , dans la des-
 » cription qu'il en donne , place le commencement de ce canal un
 » peu au-dessus de Bubaste. C'est en effet la partie du Nil qui est la
 » plus voisine de la mer , et l'endroit où il était le plus facile de creu-
 » ser un canal ; car au rapport de Pline cet intervalle n'est que d'envi-
 » ron soixante-deux mille pas.

» Les anciens auteurs , sur la foi desquels je l'ai rapporté , disent unani-
 » mement presque tous que les rois d'Égypte et de Perse , Sésostris ,
 » Psamétichus , Néco et Darius qu'il ont fait travailler à ce canal , avaient
 » été détournés de le pousser jusqu'à sa perfection , parce qu'ils s'étaient
 » aperçus que le niveau de la mer Rouge était plus haut que celui des
 » terres d'Égypte , et qu'ils appréhendaient que l'isthme étant coupé ,
 » la mer ne trouvant plus de barrière , n'inondât tout le pays de ses
 » eaux : c'est ainsi qu'en parle Aristote. Diodore ajoute que ce fut pour
 » cette raison que Ptolémée , après avoir consommé un ouvrage que
 » les autres n'avaient fait que commencer , fit construire une écluse
 » pour remédier quand on le jugerait à propos à l'impétuosité des eaux
 » de la mer qui entreraient dans ce canal. Pline , après avoir dit que
 » l'on avait trouvé que l'eau de la mer Rouge était de trois coudées
 » plus élevée que les terres d'Égypte , allègue une autre raison , qui
 » est que l'on avait appréhendé que les eaux de la mer ne vinssent à
 » gâter les eaux du Nil qui sont les seules que les Égyptiens aient
 » pour boire ; mais Strabon fait voir le ridicule de la crainte que l'on
 » avait donnée à ces princes qui avaient commencé à percer cet isthme ,
 » et nie formellement qu'il soit vrai que les eaux de la mer Rouge
 » soient plus hautes que l'Égypte. C'est ce qu'ont fort bien prouvé Four-
 » nier et Riccioli en démontrant que toutes les mers , au moins celles
 » dont les eaux ont flux et reflux , sont dans le même équilibre. Enfin
 » on ne peut s'empêcher de convenir que les écluses que fit faire Pto-
 » lémée Philadelphie dans ce canal , afin de pouvoir introduire les
 » eaux ou les arrêter , ni furent mises dans aucune autre vue que
 » pour mettre dans le besoin de justes bornes à la hauteur des eaux
 » de la mer Rouge. Il est à présent facile de comprendre de quelle
 » façon les vaisseaux d'Hiram ont pu aller de Tyr à Asiongaber ; il
 » n'était pas à craindre que Pharaon , roi d'Égypte , les troublât , d'au-

» tant que le roi Salomon, pour l'intérêt de qui cette flotte s'équipait,
 » était son gendre, et que peut-être il devait lui revenir quelque tri-
 » but sur les marchandises que ces vaisseaux apporteraient.

» C'est donc sans fondement que Vatable et Grotius se sont avisés
 » de dire que c'était l'île de Tyr dans la mer Érythrée, d'où Hiram
 » avait fait venir les vaisseaux qu'il fournit à Salomon, comme si les
 » Phéniciens avaient eu une flotte et des ports dans une petite île qui
 » n'était presque pas connue. »

Quoique cet extrait du discours de M. Huet soit des plus convain-
 quants, Bélidor a voulu y ajouter un surcroît de preuves tiré de l'his-
 toire de l'Académie royale des sciences de l'année 1702, où M. de
 Fontenelle donne l'extrait d'un mémoire de M. Delisle, le plus célèbre
 géographe qui fût jamais, dont l'objet a été de prouver invincible-
 ment l'ancienne existence de ce canal, comme on en va juger.

« M. le comte de Pontchartrain, se servant de son autorité pour
 » aider au progrès des sciences, avait envoyé en Égypte des mémoires
 » faits par M. Delisle, qui marquaient ce qu'il aurait souhaité qu'on
 » eût fait pour rectifier la carte de ce pays-là. Ces mémoires étaient
 » accompagnés de recommandations très-fortes aux consuls et aux
 » vice-consuls; ce fut en exécution des ordres de M. de Pontchartrain
 » que M. Boutier parcourut tout le Delta et en envoya à ce ministre
 » une carte avec une pétition relative qui l'expliquait et l'éclaircissait.
 » M. Delisle, à qui M. le comte de Pontchartrain avait fait l'honneur
 » de renvoyer le tout, en parla à l'Académie, mais ce qu'il y a de
 » plus remarquable dans cette carte, c'est un bout de canal qui sort
 » du bras le plus oriental du Nil, et que M. Delisle jugea devoir être
 » une partie de celui qui faisait autrefois la communication du Nil
 » et de la Méditerranée avec la Mer Rouge.

» Comme cette ancienne communication que M. Delisle établissait
 » pour un fait indubitable, est ignorée même aujourd'hui de plusieurs
 » savants, on fut bien aise de voir les preuves qu'il en avait, et il les
 » donna si claires et si précises, la plupart dans des lieux si connus,
 » que toute la difficulté qui reste est de savoir comment tout le monde
 » ne les a pas remarquées.

» Hérodote, au second livre, dit : qu'il y avait dans la plaine d'Égypte
 » un canal tiré du Nil, un peu au-dessus de la ville de Bubaste, et au-
 » dessous d'une montagne qui allait du côté de Memphis; que ce canal

» s'étendait bien loin d'occident en orient, qu'ensuite il rabattait au
» midi et se rendait dans la mer Rouge; que Nécus, fils de Psamétichus,
» avait le premier entrepris cet ouvrage, où six-vingt mille hommes
» avaient péri; qu'il l'avait abandonné sur la réponse d'un oracle,
» mais que Darius, fils d'Hystaspe, l'avait achevé; qu'il était de quatre
» journées de navigation et que deux galères y pouvaient passer de
» front.

» Diodore en parle au premier livre de sa bibliothèque, et convient
» avec Hérodote, hormis en ce qu'il fait laisser le canal imparfait par
» Darius, à qui de très-mauvais ingénieurs représentent que la mer
» Rouge, plus haute que l'Égypte, l'inonderait, et en ce qu'il ne
» fait achever l'ouvrage que par Ptolémée-Philadelphé. Il ajoute qu'on
» avait appelé ce canal Rivière de Ptolémée; que ce prince avait fait
» bâtir à son embouchure, dans la mer Rouge, une ville qu'il avait
» nommée Arsinoé, du nom d'une sœur qu'il aimait, et que l'on
» pouvait ouvrir ou fermer le canal selon qu'il était nécessaire pour
» la navigation.

» Strabon, livre 17 de la géographie, s'accorde en tout avec Diodore.
» Il ne reste qu'à concilier Hérodote qui fait achever l'ouvrage par
» Darius, avec Strabon et Diodore qui n'en donnent l'honneur qu'à
» Ptolémée; mais il a pu arriver à un ouvrage de cette nature, dès
» qu'il a été achevé, une infinité d'inconvénients qui l'ont rendu inutile
» jusqu'à ce qu'on y ait fait un nouveau travail.

» A la pointe du golfe qu'on appelle la mer Rouge étaient deux
» villes, Héroopolis et Arsinoé, qui, selon Strabon, a été aussi nom-
» mée par quelques-uns Cléopatris. Or le même Strabon, en parlant
» de l'expédition que fit dans l'Arabie *Ælius Gallus*, le premier gou-
» verneur de l'Égypte pour les Romains, dit que Gallus fit construire
» des vaisseaux à Cléopatris, proche d'un ancien canal dérivé du Nil.
» Ailleurs il dit encore qu'Héroopolis était sur le Nil et à l'extrémité
» de la mer Rouge.

» M. Delisle a poussé ses recherches jusque dans les auteurs arabes.
» Elmaun, liv. 1, ch. 3, dit que sous le calife Omar, vers l'an 635
» de Jésus-Christ, Omar fit faire un canal pour transporter des blés
» d'Égypte en Arabie, apparemment il ne fit que renouveler l'ancien,
» dont la navigation pouvait bien avoir été négligée dans la décadence
» de l'empire romain; mais en l'année 450 de l'hégire, ce qui revient

» en l'an 775 de Jésus-Christ, Abugiafar Almanzor, second Calife des
 » Abassides, fit boucher ce canal du côté de la mer. Si jamais on
 » renouvelait cette jonction le monde changerait de face, et la Chine
 » et la France, par exemple, deviendraient voisines, et l'on plaindrait
 » la destinée des siècles barbares où les Européens étaient obligés de
 » faire le tour de l'Afrique pour aller en Asie. »

Voici encore une nouvelle autorité, dit Bélidor, fondée sur le témoignage d'une lettre du père Sicard, jésuite missionnaire en Égypte, si recommandable par l'exactitude de ses observations qui sont reçues de toute l'Europe avec plus de confiance qu'on n'en a jamais eu pour aucun voyageur. Dans cette lettre écrite du Caire, le 2 juin 1723, et qu'on trouve dans le 7^e tome des lettres édifiantes, le Père Sicard s'exprime de la sorte.

« Comme je n'étais pas éloigné de la bourgade Phacusa dans la
 » Laloubie, je crus devoir aller sur les lieux pour y vérifier moi-même
 » ce que j'avais lu dans Strabon au sujet de cette bourgade; j'y trou-
 » vais en effet quelques indices incontestables de ce fameux canal,
 » ouvrage de Sésostris, continué par Darius et par Ptolémée-Phila-
 » delphe : ce canal commençait au bourg Phacusa sur le Nil, et faisait
 » une avantageuse communication des eaux de ce fleuve avec celles
 » de la mer Rouge. »

Enfin Bélidor n'a pas cru mieux compléter toutes ces autorités que par celle de M. Rollin, qui parle ainsi dans le premier tome de son histoire ancienne.

« Le canal qui faisait la communication des deux mers, savoir de
 » la mer Rouge et de la Méditerranée, doit trouver ici sa place, et
 » n'est qu'un des moindres avantages que le Nil procurait à l'Égypte.
 » Ce canal commençait assez près du Delta, vers la ville de Bubaste;
 » il avait de largeur cent coudées, c'est-à-dire 25 toises, de sorte que
 » deux bâtiments pouvaient y passer à l'aise; de profondeur autant
 » qu'il en faut pour porter les plus grands vaisseaux, et de longueur
 » plus de mille stades, c'est-à-dire plus de 50 lieues. Ce canal était
 » d'une grande utilité pour le commerce; aujourd'hui il est presque
 » entièrement comblé et à peine en reste-t-il quelque vestige. »

Nous avons cru devoir citer toutes ces diverses autorités sur l'existence certaine de l'ancien canal de la mer Méditerranée à la mer Rouge par l'isthme de Suez, parce que tous les jours la presse agite cette im-

portante question, comme la voie la plus utile et la plus profitable au commerce de l'Europe avec toute l'Asie. Par le passage de Suez l'Europe donne la main à la Chine et à l'Inde, tandis que les vaisseaux européens, pour pénétrer en Asie, sont obligés de faire le tour de l'Afrique à travers des mers dangereuses et fécondes en naufrages.

A notre grande époque de commerce et d'industrie universels est réservée la gloire de rétablir cet ancien canal dont tout démontre l'antique existence de la manière la plus authentique; ou bien d'ouvrir une voie par chemin de fer d'une mer à l'autre. L'Europe entière est conviée à concourir à cette œuvre aussi glorieuse qu'utile pour l'univers civilisé.

L'étude d'un projet de canal est le travail le plus important qui puisse être confié à un ingénieur habile, qui rencontre à chaque pas des obstacles et des difficultés qui lui présentent toujours les moyens de faire briller ses connaissances variées et éclater son génie: on a vu souvent des projets très-avancés pour lesquels de fortes sommes avaient été dépensées et auxquels on a été forcé de renoncer faute d'avoir tout prévu.

Le choix du terrain, dit Bélidor, par lequel doit passer un canal pour arriver d'un lieu à un autre est d'une extrême importance, puisque de cette étude minutieuse dépendent l'économie, la durée et la solidité des ouvrages. On ne doit pas être avare de nivellements ni économe de sondes pour connaître la nature des terrains à fouiller; on doit éviter les contrées marécageuses, s'éloigner autant que possible des montagnes, et craindre les déblais dans les masses de rochers qui augmentent toujours considérablement la dépense; en un mot, les soins minutieux à apporter à l'étude d'un projet de canal doivent être les mêmes que pour un chemin de fer, sauf l'étude des sources et des prises d'eau qui doivent alimenter le canal; quant aux travaux de terrassements et des ouvrages d'art, quoique dissemblables, c'est toujours la même sujétion d'étude et d'exécution, si ce n'est les écluses à sas dont voici la théorie pratique.

Proportions des écluses d'une manière générale.

Pour trouver les proportions des écluses, il faut d'abord établir une règle générale qui servira de fondement pour tout le reste; elle se réduit à connaître la largeur qu'on veut donner entre les bajoyers, afin de déterminer les autres parties; mais comme cette largeur dépend de l'usage auquel l'écluse que l'on veut construire est destinée, il faut savoir si elle doit être placée à l'entrée du bassin d'un port de mer, d'une forme ou si elle sera sur une rivière ou un canal de communication. Si elle est à l'entrée d'un bassin ou d'une forme, sa largeur doit dépendre des plus forts vaisseaux qui doivent y passer; et si elle est faite sur une rivière ou canal elle sera assujettie aux plus grands bateaux qui sont en usage dans le pays; de même pour déterminer la hauteur des ailes ou la profondeur du radier, il faut savoir aussi combien ces mêmes bâtiments peuvent tirer d'eau, afin d'en avoir toujours une quantité suffisante.

Quoiqu'il ne soit point absolument nécessaire d'assujettir les proportions des écluses à une précision si grande que celle qu'on observe dans l'architecture civile, où il faut que toutes les parties aient entre elles un certain rapport qui fasse que la vue et le goût soient pleinement satisfaits, on doit pourtant avoir certains principes qui, étant tirés de ce que l'expérience a pu apprendre de meilleur, servent de règle générale pour exécuter en toute sûreté les plus grands projets. Et comme les maximes d'architecture ont été tirées des plus beaux édifices antiques, de même celles que je vais donner ont été prises sur les écluses qui ont le mieux réussi.

La planche 44 représente le plan, la coupe en long suivant AB et la coupe en travers CD d'une écluse de canal.

Pour tracer une écluse avec toute la précision que commande une si importante opération, on doit être muni d'un plan bien exact et bien coté à une grande échelle; on établit l'axe AB, et sur cet axe on élève la perpendiculaire CD; du point *o* on prend 6 mètres vers le point D, et on en fait de même vers le point C et des deux points on mène une parallèle à l'axe AB, et ces deux lignes déterminent dans

toute la longueur de l'écluse la largeur des fondations en maçonnerie de béton représentée dans la coupe en travers par le rectangle a, b, c, d , (*fig. 3*) et sur le plan (*fig. 1^{re}*) par le rectangle a', b', c', d' . Après que le béton est coulé sur toute la surface du plan a', b', c', d' et de l'épaisseur du rectangle a, b, c, d , on trace les deux buscs d'amont et d'aval portant heurtoirs pour les portes busquées, et on détermine en même temps l'emplacement des bajoyers avec les enclaves pour recevoir les portes busquées, en ayant soin au fur et à mesure de l'élévation des maçonneries de conserver les retraites indiquées dans la coupe en travers (*fig. 3*).

L'épaisseur des bajoyers d'une écluse est déterminée par la poussée de l'eau si elle ne soutient pas les berges d'un canal, et par la poussée des terres si au contraire l'écluse soutient les levées d'un canal comme nous l'avons indiqué dans la planche 14. Pour ce dernier cas, on se sert des formules que nous avons données pour les murs de soutènement des terres, et pour le premier cas il suffit de cuber la profondeur de l'eau et diviser le produit par le quintuple de la hauteur du mur et extraire la racine carrée du quotient, cette racine donnera l'épaisseur du mur en état d'équilibre avec la puissance de l'eau, et suivant que l'écluse dont on fait l'étude est exposée aux grands efforts des eaux, cette épaisseur est augmentée de $1/2$, des $2/3$, ou doublée.

Exemple: Supposons qu'il soit question du revêtement d'un sas d'écluse dont les plus hautes eaux pour la manœuvre des bateaux soient de 3 mètres, et la hauteur des revêtements du sas de 3^m,50 au-dessus du radier. Nommant a la hauteur de l'eau et b la hauteur des bajoyers, faisant l'opération que nous venons d'indiquer on

aura $\frac{\sqrt{a^3}}{56} = \frac{27}{17,50} = \sqrt{1,54} = 1^m,20$ d'épaisseur des bajoyers dont

le couronnement est en pierre de taille de 0^m,66 de queue et de 0^m,33 d'épaisseur au moins, les chardonnets sont aussi en pierre de taille de mêmes dimensions que le couronnement, mais les bourdonnières comme les pierres formant le busc doivent être en pierres de taille des plus grandes dimensions possibles. Il est d'usage de leur donner au moins 1^m,20 de longueur sur 0^m,60 d'épaisseur.

Voici une autre formule plus simple et tirée du principe suivant:

La poussée de l'eau contre une surface verticale est égale au poids

d'un prisme d'eau qui aurait pour base la surface ou le plan vertical, et pour hauteur la moitié de celle de l'eau.

Exemple: Quelle est la poussée qu'exerce une hauteur d'eau de 3 mètres contre des portes d'écluse de 6 mètres de largeur?

$$3 \times 6 = 18 \times 1^m,50 = 27^m \times 1000^k = 27000^k.$$

Cette formule dont on a soin de décupler le résultat sert à déterminer les dimensions des portes d'écluses comme des batardeaux.

Les batardeaux sont construits ordinairement en terre glaise, maintenus entre deux rangées de palplanches et on détermine leur épaisseur par la formule suivante:

$$x = 1^m,20 (5^m,00 - 0^m,25) \frac{\sqrt{1000}}{P}.$$

H hauteur de l'eau à soutenir.

h hauteur du batardeau au-dessus de la ligne d'eau.

P poids du mètre cube de terre glaise.

x épaisseur à donner au batardeau.

Exemple: Un batardeau construit en terre glaise a 5 mètres de hauteur, et il doit soutenir 4^m,50 de profondeur d'eau, quelle est l'épaisseur à lui donner?

$$x = 1^m,20 (5^m,00 - 0^m,50) \frac{\sqrt{1000}}{1900} = 1^m,20 \times 4^m,50 \times 0^m,55 = 2^m,97.$$

Chaussées ou barrages.

Les chaussées ou barrages construits dans les rivières présentent ordinairement un talus sur les deux parements et le couronnement est arrondi suivant un arc de cercle. La base forme un arc de cercle dont la convexité est tournée vers la source et dont les deux extrémités sont fortement enracinées dans les deux rives par de solides empatements : on donne ordinairement à ces arcs entre le $1/10$ et le $1/15$ de flèche.

L'épaisseur moyenne de ces barrages qui sont toujours en maçonneries se détermine par la formule suivante :

$x = 1^m,80 H \sqrt{\frac{1000k}{P}}$ dans laquelle x représente l'épaisseur

moyenne à chercher ; H est la hauteur du barrage (soit 5 mètres) ; 1000 kilog. est le poids d'un mètre cube d'eau et P représente le poids d'un mètre cube de maçonnerie ordinaire, soit 2000 kilog. (p. 75), et substituant les valeurs aux lettres on a :

$$x = 1^m,80 \times 5 \times \frac{\sqrt{1000}}{2000} = 4^m,50 \times 0^m,70 = 6^m,30.$$

Portes d'écluses.

Ces portes sont en bois de chêne, en fonte, en fer et tôle, enfin en chêne et fer.

On a soin d'espacer les entretoises de manière à faire supporter à chacune un poids égal ; dès lors elles doivent être plus rapprochées dans le bas et dans le haut des portes ; néanmoins comme il est indispensable de laisser aux ventelles un débouché convenable, on est obligé souvent de s'écarter de cette règle.

Si on représente par l'unité la distance comprise entre la traverse et la première entretoise, voici généralement les rapports qu'on

adopte: 1^{re} et 2^e entretoises 1.05; 2^e et 3^e 1.20; 3^e et 4^e 1.35; 4^e et 5^e 1.50.

Suivant Gautey, les équarrissages des entretoises des portes en bois de chêne doivent être fixés comme l'indique le présent tableau.

HAUTEUR des portes.	INTERVALLE d'une entretoise à l'autre.	NOMBRE des entre- toises.	LONGUEUR DE CHAQUE VENTAIL.									
			Longueur des entretoises.									
			1.62		2.73		2.92		3.90		5.20	
m. c.	m. c.		m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.
1.30	0.65	2	0.05 sur 0.05	0.08 sur 0.08	0.08 sur 0.11	0.11 sur 0.13	0.13 sur 0.13	0.13 sur 0.14	0.13 sur 0.19	0.13 sur 0.19	0.16 sur 0.19	0.19
1.95	0.43	3	0.05 — 0.08	0.11 — 0.11	0.11 — 0.13	0.13 — 0.13	0.13 — 0.19	0.19 — 0.19	0.22 — 0.24	0.22 — 0.24	0.27 — 0.30	0.30
2.60	0.63	3	0.08 — 0.09	0.11 — 0.13	0.13 — 0.13	0.13 — 0.19	0.19 — 0.19	0.22 — 0.27	0.27 — 0.30	0.27 — 0.35	0.29 — 0.38	0.38
3.90	0.81	4	»	0.13 — 0.16	0.16 — 0.19	0.19 — 0.22	0.24 — 0.27	0.27 — 0.30	0.30 — 0.35	0.35 — 0.38	0.38 — 0.38	0.38
5.20	0.76	6	»	0.13 — 0.19	0.16 — 0.22	0.24 — 0.27	0.27 — 0.30	0.30 — 0.35	0.35 — 0.38	0.38 — 0.38	0.38 — 0.38	0.38
6.50	0.73	8	»	0.16 — 0.19	0.16 — 0.24	0.27 — 0.27	0.27 — 0.29	0.29 — 0.38	0.38 — 0.38	0.38 — 0.38	0.38 — 0.38	0.38
7.80	0.71	10	»	0.16 — 0.22	0.19 — 0.24	0.24 — 0.32	0.35 — 0.38	0.38 — 0.38	0.38 — 0.38	0.38 — 0.38	0.38 — 0.38	0.38

CHAPITRE XXIV.

DESCRIPTION DU CANAL DE LANGUEDOC OU DU MIDI.

Pour donner une idée exacte des canaux en général, nous avons cru utile de consacrer ce chapitre à la description du canal de Languedoc, d'après Bélidor.

« Ce serait trop embrasser que de vouloir donner une description
 » détaillée du canal de Languedoc, vu l'immensité des merveilleux
 » travaux qu'on y trouve, et qui exigeraient une étendue de discours
 » que la brièveté où je suis contraint de renfermer ce chapitre ne me
 » permet point d'entreprendre. Cependant je ferai en sorte d'en dire
 » assez pour en faire concevoir la magnificence, surtout si on a sous
 » les yeux la grande carte de ce canal qui a été mise au jour par le
 » sieur Nolin, géographe.

» On divise ce canal en deux parties principales en partant du point
 » de partage qui est le lieu le plus élevé dans le voisinage de Castel-
 » naudary, l'une qui descend du côté de la Méditerranée, sur l'éten-
 » due de quatre-vingt-seize mille trois cent quinze toises, a son em-
 » bouchure dans l'étang de Thau près d'Agde, pour de là passer au
 » port de Cette; et l'autre qui comprend vingt-neuf mille trois cent
 » soixante-six toises de longueur descend depuis le même point de
 » partage, du côté de l'Océan, jusqu'à son embouchure dans la Ga-
 » ronne au-dessous de Toulouse; ainsi entre ses deux embouchures,
 » ce canal comprend cent vingt-cinq mille six cent quatre-vingt-une
 » toises, qui font cinquante-deux lieues et demi, chacune de deux
 » mille cinq cents toises.

» Après un nivellement fort exact du terrain compris entre les mêmes
» embouchures, l'on trouva que le point de partage était élevé de
» cent toises au-dessus de l'étang de Thau, de niveau avec la Médi-
» terranée et de trente-une toises au-dessus de la hauteur moyenne
» des eaux de la Garonne, prise immédiatement au-dessous de Tou-
» louse. On fut confirmé en effet que le lieu que l'on avait choisi pour
» le point de partage de la distribution des eaux, pour la nourriture
» du canal, était le plus élevé, par une fontaine qui s'y rencontra et
» dont les eaux ayant été partagées pour s'écouler par deux chemins
» opposés, l'une descendit vers l'Océan et l'autre vers la Méditer-
» ranée.

» Pour que les bâtiments marchands pussent passer du port de Cette
» au point de partage, on a fait soixante-quatorze écluses avec des
» sas d'environ huit pieds de chute, et vingt-six autres écluses pour
» descendre du même point dans la Garonne, qui est navigable depuis
» Toulouse jusqu'à son embouchure dans l'Océan; ainsi ce canal
» comprend cent grandes écluses. Cependant comme dans le temps
» des sécheresses, les eaux de ce fleuve deviennent fort basses en deçà
» de Moissac, on prétend qu'il aurait été très-utile de continuer le
» canal jusqu'à ce terme pour rendre la navigation plus aisée, parce
» que depuis la jonction du Tarn la Garonne ne laisse plus rien à dé-
» sirer jusqu'à la mer. On ne trouverait aucun inconvénient à exécu-
» ter cette prolongation qui ne coûterait qu'environ un million,
» parce que le terrain est uni, de bonne qualité, et que cette partie
» du canal tirerait ses eaux de la Garonne même. On trouve encore
» à redire de ce qu'en traçant ce canal on ne l'a point fait passer
» tout près de Carcassonne et de Béziers comme cela se pouvait pour
» l'avantage du commerce de ces deux villes.

» De ces cent écluses, celles qui font le plus bel effet à la vue sont
» les huit sas accolés que l'on voit proche de Béziers qui forment une
» cascade de cent cinquante-six toises de longueur sur soixante-six
» pieds de pente, divisée en huit chutes chacune de 8 p. 3 p. de
» hauteur; mais ce que l'on admire le plus est la pièce que l'on nomme
» l'écluse ronde qui est un sas circulaire commun à trois branches
» du canal ayant leurs écluses particulières répondant au même sas
» pour faciliter le passage des bateaux de l'une à l'autre de ces
» branches à quelque hauteur que soient les eaux, comme nous l'ex-

» pliquerons plus particulièrement dans le huitième chapitre où l'on
» trouvera rapporté pour exemple les plus beaux morceaux de ce
» canal.

» Comme sur un trajet de cinquante lieues on ne pouvait manquer
» de rencontrer des montagnes que le canal devait nécessairement
» traverser, on les a toutes coupées excepté celle de Malpas, qui s'é-
» tant trouvée fort élevée et composée de rochers, on a estimé que le
» parti le moins dispendieux était de la percer en forme de voûte pour
» y faire passer le canal par-dessous sur la longueur de cent vingt
» toises avec une banquette de quatre pieds du côté du tirage. Ce
» travail passe pour quelque chose de prodigieux et digne des anciens
» Romains.

» La largeur moyenne du canal est de dix toises prises à la hau-
» teur du niveau des eaux qui ont six pieds de profondeur sur cinq
» toises de longueur de lit. On a fait au point de partage un grand
» bassin de figure octogone ayant deux cents toises de long sur cent
» cinquante de large, contenant sept pieds de profondeur d'eau et son
» pourtour revêtu de pierre de taille. Ce bassin, nommé de Norouse,
» recevait autrefois comme en dépôt les eaux du réservoir de St-Far-
» riol, qui fournit à la dépense des écluses; mais ce bassin s'étant
» trouvé ensablé vingt ans après sa construction, monsieur le maré-
» chal de Vauban jugea à propos de ne le plus faire traverser par les
» bateaux, parce que dans un gros temps ils avaient trop à souffrir de
» la part des vagues qui en rendaient le passage dangereux; c'est
» pourquoi au lieu de faire curer ce bassin il a mieux aimé construire
» au bout du canal qui le contourne du côté du Sud, depuis l'écluse
» nommée du Médecin jusqu'à celle de Montferrand dont l'intervalle
» qui contient une quantité d'eau incomparablement plus grande que
» ne faisait le bassin de Norouse, sert aujourd'hui de point de partage.
» Par ce moyen la navigation est devenue plus prompte vu la sup-
» pression des deux écluses que le bassin de Norouse avait à ses ex-
» trémités dont la manœuvre demandait un temps en pure perte,
» parce que les deux précédentes n'en existaient pas moins.

» Avant M. Riquet, la principale difficulté qui avait fait regar-
» der la jonction des deux mers comme un projet d'un succès fort
» incertain, était de pouvoir faire passer assez d'eau au point de
» partage pour fournir à une navigation continuelle sur une aussi

» grande étendue que celle de cinquante lieues, malgré les pertes qui
» se feraient par les portes des écluses, la transpiration et les évapo-
» rations, parce qu'autrement le reste du projet tombe de lui-même.
» Aussi est-ce en cela que M. Riquet a le plus manifesté les grandes
» ressources que lui a fournies la supériorité de son génie, y étant par-
» venu d'une manière à ne rien laisser d'incertain sur un article aussi
» essentiel, moyennant le réservoir de Saint-Farriol, le plus grand
» et le plus magnifique ouvrage qui ait été exécuté par les modernes.

» Ce réservoir est pratiqué dans un vallon où coule la rivière de
» l'Audot entre deux montagnes que l'on a jointes, du côté le plus
» bas, par une forte digue de trois cent soixante-quatorze toises de
» longueur, pour soutenir les eaux sur l'étendue d'environ cent trente
» arpents de superficie et de cent pieds de hauteur dans la partie la
» plus profonde, qui donne un million de toises cubes d'eau. Elles
» sont rassemblées par une rigole de six grandes lieues de longueur,
» nommée rigole de la Montagne, parce qu'elle reçoit ce que four-
» nissent plusieurs petites rivières et ruisseaux qui partent de la
» montagne noire, et que d'ailleurs elle passe par un aqueduc de
» soixante toises de longueur sous la montagne d'Escamaze, qui a
» été percée à cette occasion.

» Les eaux de ce réservoir se lâchent par des gros robinets de
» cuivre placés au fond, c'est-à-dire à cent pieds au-dessous de leur
» superficie. On y communique par des galeries voûtées pratiquées
» dans l'épaisseur de la digue. Ces eaux viennent se rendre dans
» l'ancien lit de la rivière de l'Audot, qui les conduit près de l'en-
» droit nommé pont de Croussel, au-dessous de Revel, où elles sont
» reçues ainsi que celles de la petite rivière de Sort dans la rigole
» nommée de la plaine, ayant huit lieues de longueur, qui les con-
» duit jusque dans le bassin de Norouse, d'où elles sortent par des
» épanchoirs pour se rendre dans le bout de canal qui fait aujour-
» d'hui le point de partage, après avoir parcouru plus de quatorze
» lieues de pays depuis la montagne Noire.

» Comme dans le temps de la construction de ce canal il a fallu
» traverser un grand nombre de rivières et de ruisseaux qui se sont
» rencontrés sur son passage, on ne trouva point alors d'autre expé-
» dient que de les y faire entrer, et de ménager des déversoirs de
» superficie pour leur écoulement, afin de maintenir toujours les eaux

» à une profondeur convenable à la navigation ; et bien loin de re-
» garder ces eaux étrangères comme incommodes, elles furent con-
» sidérées au contraire propres à remplacer celles qu'on devait s'at-
» tendre de perdre par les évaporations. Au bout de quelques années
» on reconnut l'erreur où l'on était tombé à cet égard, parce que le
» limon qu'elles déposaient dans le canal en élevait le fond avec tant
» de progrès qu'on eut lieu d'appréhender qu'il ne restât pas long-
» temps navigable, ce qui fut arrivé en effet si M. le maréchal de
» Vauban n'avait trouvé le moyen de séparer les eaux étrangères de
» celles qui étaient propres au canal, afin de n'en laisser entrer que
» la quantité que l'on voudrait, et quand on le voudrait ; c'est à quoi
» il est parvenu par les contre-fossés qu'il fit creuser, et les aque-
» ducs de maçonnerie dont il donna les dessins. On en rencontre
» quarante-cinq qui sont de deux espèces ; la première en comprend
» six que l'on nomme aqueducs ponts : ils sont élevés par arcades,
» au-dessus desquelles passe le canal, pour laisser aux rivières qui
» le traversent la liberté de couler par-dessous. Les plus beaux sont
» ceux de la Repude, de Cesse, de Trébes ou de Tréboul ; les trente-
» neuf autres qui composent la seconde espèce, et qui sont faits en
» siphon, passent d'un contre-fossé à l'autre sous le lit du canal pour
» l'écoulement des eaux. On a fait en même temps des petites écluses
» pour mettre à sec les parties du canal qui se trouveraient dans le
» cas d'avoir besoin d'être réparées. Enfin l'on peut dire que M. de
» Vauban a eu la gloire de mettre ce canal dans la perfection où il est
» aujourd'hui ; canal que toutes les nations regardent comme au-des-
» sus de ce qu'a jamais présenté l'architecture hydraulique, et qui
» fait le bonheur d'une des plus belles contrées de la France, qui
» voit passer chez elle et transporter des marchandises de l'une à
» l'autre mer, en évitant le grand circuit des côtes d'Espagne par le
» détroit de Gibraltar, sans parler de la traite des blés et des vins
» que le haut et bas Languedoc se communiquent réciproquement,
» ni de l'argent que les étrangers qui se servent de cette voie laissent
» dans le pays. »

Continuation du canal du Midi, de Toulouse à Castets (Gironde), sous la dénomination de canal latéral à la Garonne.

Considérations sur le tracé.

La loi du 8 juillet 1838 a déclaré d'utilité publique la continuation du canal du Midi, de Toulouse à Castets, sous la dénomination de canal latéral à la Garonne.

Les ingénieurs des ponts et chaussées de la contrée que devait desservir ce canal n'étaient pas du même sentiment sur les moyens d'exécution.

M. de Baudre, inspecteur divisionnaire qui avait été chargé par le gouvernement de l'étude de ce vaste projet, reconnaissait que le service de la navigation comme l'intérêt du commerce, commandaient impérieusement que l'exécution de ce canal fût continuée jusqu'à Castets, où il se jetterait dans la Garonne.

Mais M. Deschamps père, inspecteur général, dont l'autorité et le savoir sont incontestables, soutenait avec tous les principes de la science qu'il n'y avait aucun avantage pour la navigation et pour le commerce à creuser à travers une plaine riche et fertile ce canal jusqu'à Castets; que son prolongement jusqu'à la Garonne à Agen était suffisant, et que quelques barrages avec écluses jetés sur cette rivière entre Agen et Castets, rendraient en tout temps la navigation facile aux barques du canal.

A l'appui de son projet M. Deschamps invoquait avec raison la grande économie qui résulterait dans la dépense en arrêtant le canal à Agen pour profiter des grandes améliorations obtenues sur le cours de la Garonne par les travaux d'endiguement : améliorations qui sont à ce point, sur cette rivière dont la navigation était interrompue pendant trois mois de l'année, qu'un service régulier de bateaux à vapeur est établi depuis une douzaine d'années entre Agen et Bordeaux.

Le temps et l'expérience ont démontré que, de ces deux opinions, celle de M. Deschamps père aurait dû avoir la préférence sous le triple rapport de l'économie des deniers publics, de l'intérêt de la navigation et de la prospérité du commerce.

Ce n'est pas encore la seule faute qui ait été commise dans l'exécution de ce canal; il en existe une presque aussi blâmable sous le rapport commercial : c'est d'avoir fait passer ce canal, sous prétexte de quelque économie insignifiante, sur la rive gauche, au lieu de le tenir toujours sur la rive droite de la Garonne.

En effet, quelles sont, je le demande, sur la rive gauche, les localités importantes par leur commerce et leur population? On rencontre le bassin de la Baise à Buzet, Damazau, le Mas d'Agen, Meilhau et Castets, ensemble cinq chefs-lieu de canton. Il est à remarquer que de Buzet à Castets, les landes ne sont éloignées en moyenne que de 10 kilomètres, en sorte que la rive gauche dans cette contrée n'offre qu'une zone d'environ dix kilomètres de largeur de pays fertile et agricole.

Tandis que la rive droite se trouve bien autrement peuplée et surtout bien plus commerçante : d'Agen au port Sainte-Marie la route est parsemée de bourgs et de villages, de telle sorte que ces deux villes n'en forment pour ainsi dire qu'une. Après le port Sainte-Marie on rencontre la ville d'Aiguillon à l'embouchure du Lot. Le bassin de cette rivière, qui reçoit les produits de deux ou trois départements, aurait alimenté le canal au moyen d'une descente en rivière, comme cela a été pratiqué à Buzet pour le bassin de la Baise. De plus, tous les produits de la rive gauche, bassin de la Baise, qui n'est éloigné que de quelques kilomètres d'Aiguillon, se seraient versés dans le canal.

On trouve encore sur la rive gauche, sans compter une foule de petites localités importantes : Tonneins, ville remarquable par son industrie, son commerce et sa manufacture de tabac; Marmande et la Réole, chefs-lieu d'arrondissement, villes importantes par le commerce de grains, de vins et d'eau-de-vie, etc., et tous ces grands centres de population et de commerce ne peuvent verser aucune de leurs productions dans le canal qui passe à plus de 40 kilomètres de chacun de leurs ports respectifs.

Tous les grands centres de population, de production, d'industrie et de commerce sont sur la rive droite, et pour une insignifiante économie, je le répète, on a fait passer le canal sur la rive gauche, qui ne présente pas le cinquième de la population et du commerce de la rive droite. En sorte qu'entre Agen et Castets ce canal ne se trouve

d'aucune utilité pour le commerce de la rive droite; tandis que s'il avait passé sur cette rive, tous les produits des deux rives seraient venus alimenter le canal qui se trouvait toujours traverser et desservir les grands centres de population et d'industrie.

Le tracé de ce canal par la rive gauche a donc été une faute immense que le chemin de fer de Cette à Bordeaux est destiné à réparer dans un avenir peu éloigné.

Travaux les plus remarquables du canal latéral.

L'ouverture de ce canal a présenté de grandes difficultés d'exécution qui ont exigé, pour les surmonter, des ouvrages considérables en tout genre, dont la bonne exécution et les heureux résultats attestent à la fois le génie et la science des ingénieurs habiles qui en avaient la direction et la surveillance.

Le canal passe dans la vaste plaine de Montauban, et on y remarque les belles écluses de la descente en rivière dans le Tarn.

A 5 kilom. environ de la ville de Moissac, il traverse la rivière du Tarn sur un magnifique pont-canal en pierre de taille avec tympans en maçonnerie de brique. Il passe dans cette ville avec descente en rivière dans le Tarn. On y remarque un magnifique bassin qu'embellissent de vastes quais destinés au grand commerce de grains de cette importante cité.

A la *pointe*, embouchure du Tarn avec la Garonne sur une longueur d'environ 7 kilom., en longeant les côtes de Malause, ce canal a été entièrement construit dans le lit de la rivière. Son assiette a été formée à l'aide de travaux de tunage et de remblais de graviers qu'on faisait extraire dans le lit du fleuve au moyen de bateaux dragueurs à vapeur. L'expérience a démontré que les remblais provenant du dragage reviennent à meilleur marché que ceux qu'on fait de terre à terre, pour peu que le piochage et le transport présentent la plus légère difficulté. Plus de mille hommes et vingt bateaux dragueurs ont été employés pendant cinq années consécutives à la construction de cette partie du canal.

Les travaux de Laspeyre, près d'Agen, quoique moins considé-

rables, ont présenté les mêmes difficultés d'exécution et ont exigé les mêmes sujétions que ceux de la *pointe*.

A Agen, le canal traverse la Garonne sur un superbe pont-canal en pierre de taille, qui peut être mis au nombre des plus beaux monuments qui embellissent la France. On distingue le magnifique bassin et les vastes quais destinés au grand commerce de cette importante cité, et on remarque sur la rive gauche les beaux travaux de la prise d'eau, dans la Garonne, pour l'alimentation du canal.

A Buzet le canal traverse la Baise sur un pont-canal, avec prise d'eau dans cette rivière. Au Mas d'Agen et à Meillan le canal est bâti dans la rivière, et enfin les ouvrages en cours d'exécution de l'entrée en rivière à Castets seront remarquables par la beauté de leurs formes et par l'utilité et la convenance qu'ils offriront à la navigation et au commerce.

Ponts tournants pour canal.

Dans la traverse des villes, les canaux donnent souvent lieu à la construction de ponts tournants. On construit de ces ponts sur les canaux pour éviter les remblais considérables et incommodes qu'exige toujours la construction d'un pont fixe.

Ces ponts sont ainsi appelés, parce qu'ils tournent sur un pivot fixé sur une plate-forme à chariot, au moyen d'un système d'engrenage qu'un préposé à la garde de ces ponts fait mouvoir, avec un bras de levier mobile, toutes les fois qu'un bateau se présente à passer sous ces ponts.

La Pl. 15 représente un de ces ponts; la *fig. 1* indique le plan à vol d'oiseau; A, B, C, D représentent le tablier du pont. Ces ponts ont ordinairement 4 mètres de largeur entre les garde-corps, dont 2 mètres de voie charretière et 1 mètre de trottoir de chaque côté. La partie ponctuée A', B', C', D' indique le tablier tourné pour donner passage aux bateaux. L'ouverture de ces ponts entre le nu de la culée et le massif en maçonnerie de la plate-forme est la même que celle des écluses du canal sur lequel on les établit, soit 6^m,50. AF, DE, CH et BG, parapets du canal. E, D', L, F, massif en maçonnerie de la plate-forme; M', chaîne d'amarre du pont. N, orifice ménagé pour recevoir

le levier mobile et coudé destiné à faire fonctionner l'engrenage. Cet orifice est recouvert d'une plaque en fer et à charnière, et H (*fig. 4* et M (*fig. 1*) pivot sur lequel tourne le tablier.

La *fig. 2* représente le pont en élévation; *ab*, colonnes en fonte servant de point d'appui aux tirants en fer *cb* et *bd* qui consolident et relient ensemble le système de charpente du tablier; *ef* et *gh*, longrines de 0^m,40 sur 0^m,30 d'équarrissage reliées et assemblées avec les poutrelles *i, j, l, m, n, o, p, q, r, s, t* et *u*, par des boulons qui traversent tout le système; *xz*, forte pièce de charpente reliant tout le tablier et recevant la crapaudine qui s'emmanche dans le pivot.

La *fig. 3* indique le plan, et la *fig. 4* la coupe de la plate-forme; ABC, crémaillère à demeure; D, pignon qui commande la roue d'engrenage A. Cette roue porte un pignon P qui s'engrène dans la crémaillère et qui commande le mouvement du pont au moyen du pignon D, qui reçoit à l'extrémité de son axe G, disposé à cet effet, le bras de levier coudé que le gardien du pont fait mouvoir à volonté. En sorte que par le mouvement de rotation imprimé par le levier au pignon D, le tablier du pont tourne autour du pivot H en glissant sur le chariot MN; O, crapaudine en bronze encastrée dans la pièce de bois *xz*.

CHAPITRE XXV.

TRAVAUX DE TUNAGES POUR LA DÉFENSE DES BORDS DES RIVIÈRES ET FLEUVES, ET DES RIVAGES DE LA MER (1).

Description.

Je n'entreprendrai pas de développer la théorie des grands cours d'eau dont on doit posséder une connaissance exacte et certaine pour appliquer avec fruit le système des travaux de tunage à la conservation, à la défense de leurs bords, et à l'amélioration de leurs lits; mais je renverrai aux théories sur cet objet si sagement développées par Bélidor.

Les travaux de tunage sont connus depuis longtemps; on les trouve décrits avec tous les détails qu'on peut désirer dans les ouvrages de Bélidor, et ces utiles travaux étaient pour ainsi dire enfouis dans l'oubli depuis près de deux siècles, lorsque M. Samuel Bourrousse de Laffore, ingénieur en chef des ponts et chaussées, les fit revivre en 1820. Et sur les plans et devis de cet habile ingénieur, il en fut fait, de 1822 à 1828, d'heureuses applications le long du cours de la Ga-

(1) Nous recommandons ce chapitre à l'attention sérieuse et éclairée des propriétaires riverains des fleuves, rivières, torrents, etc., pour défendre et protéger leurs héritages contre le désordre et la dévastation qu'y apportent ces grandes voies fluviales dans le temps des grandes inondations.

ronne à Fourtic , à Tonneins par M. de Vivens , à Coussan et à Thivras, près de Marmande (Lot-et-Garonne).

Mais M. de Baudre, inspecteur divisionnaire des ponts et chaussées, qui fut chargé en 1826 de l'étude d'un projet d'amélioration du cours de la Garonne de Toulouse à Bordeaux, fit une application prodigieuse de ce système d'ouvrages à l'amélioration en grand de ce fleuve torrentiel, et les bienfaits de ces travaux ont dépassé toutes les prévisions humaines sous le triple point de vue de l'amélioration de la navigation, de la prospérité du commerce, en leur rendant plus faciles des voies de transports souvent impraticables par des nombreux écueils, et de l'intérêt de l'agriculture en livrant à la culture des terrains conquis sur la trop grande largeur du lit de ce fleuve vagabond qui promenait jadis le désordre et la dévastation dans tous les héritages qu'il traverse. L'habile M. de Baudre, par son fécond génie, a imposé à ce torrent dévastateur de puissantes barrières pleines de vigueur et de souplesse qu'il ne rompra jamais.

Les travaux de tunage possèdent cet avantage immense sur tous les autres systèmes de travaux, que ce sont des *ouvrages vivants* qui prennent du développement et de la consistance par leur nature de vitalité, tandis que tous les autres ouvrages sont des masses inertes qui perdent leur degré de solidité et de résistance par le dépérissement journalier attaché à leur nature. Dans les crues et dans les débordements, les premiers courbent mollement leurs têtes au gré des flots, et concourent ainsi à précipiter au fond des eaux les corps en suspension, tandis que les épis en maçonnerie irritent les flots par leur résistance et occasionnent à leur pied des affouillements qui accélèrent leur ruine, si on n'a pas soin de protéger leur base par des rechargements convenables de moellon d'enrochement, toutes les fois que ce besoin se fait pressentir.

Les ouvrages de tunage et ceux de maçonnerie, pour la défense des rivages et pour résister aux efforts constants des eaux qui tendent à les renverser, sont comme le chêne et le roseau de la fable pour résister à la tempête.

Les ouvrages de maçonnerie sont détruits ou renversés, ou tournés par les eaux, et occasionnent ainsi de grands ravages sur les rivages qu'ils sont destinés à protéger, tandis que les ouvrages de tunage qui forment une forêt de verdure qui divise et subdivise les

flots par sa flexibilité, provoquent ainsi les atterrissements, et élèvent de plus en plus leur tête par la force de leur végétation qui rend impénétrable aux efforts de l'eau le sol ou le rivage qu'ils protègent.

On voit en effet dans le cours de la Garonne d'anciens épis de maçonnerie entièrement détruits ou renversés; on en remarque un au-dessous de la Réole qui avait été construit pour défendre la rive droite, et qui, ayant été séparé du rivage par des débordements successifs, se trouve aujourd'hui vers le milieu du fleuve où il forme une sorte d'îlot qui ne tarderait pas à prendre de l'accroissement au détriment des deux rives pour former bientôt une île, si les travaux de tunage n'étaient incessamment exécutés sur ce point pour arrêter ces désordres.

Les débordements des rivières, des torrents, des ruisseaux portent toujours sur leurs rivages le désordre et la dévastation en ravinant les berges et en entraînant les terrains: aussi les propriétaires riverains trouveront-ils dans ce chapitre les moyens d'exécuter des travaux solides et à bon marché qui préserveront leurs héritages du ravage des grandes eaux par la consolidation de leurs rivages qui seront couverts de plantations à la fois défensives et productrices. En effet, qu'à la saison du printemps, toutes ces berges pendantes, décharnées et ravinées soient abattues en talus de 45°, et plantées avec des boutures de saule ou de peuplier; que les petits îlots soient rattachés à la rive par des digues construites avec des piquets clayonnés, et maintenus à leur pied par quelques enrochements, ou à leur défaut par des fascines remplies de gravier. L'année suivante, tous les rivages en ruine ainsi réparés, seront couverts d'une admirable végétation, où l'œil des propriétaires se reposera avec délice, fiers d'avoir renfermé entre deux barrières vivantes le plus grand ennemi de leurs héritages.

Ces ouvrages prennent divers degrés de consistance, suivant la résistance qu'ils sont obligés d'opposer à l'obstacle qui tend à les renverser, suivant la nature du fond dans lequel ils sont établis, et suivant enfin la conformation et l'élévation du rivage qu'ils sont appelés à défendre.

Ils se subdivisent en lignes simples de rive, lignes à doubles rangs de tunages; épis simples et épis doubles; enfin en barrages en travers des bras supprimés. Les feuilles de dessin n^{os} 16, 17 et 18 don-

nent la coupe en travers, le plan et l'élévation de tous les divers ouvrages de tunage applicables à tous les cas possibles.

Pour tous les travaux de tunage, on bat des piquets espacés entre eux de 4^m,33 d'axe en axe avec une sonnette à tirolle au refus de 0^m,01 par volée de vingt-cinq coups d'un mouton de 300 kilog. Ces piquets sont plantés suivant les alignements déterminés et arrêtés sur le plan; les piquets battus, suivant la nature du fond ou la rapidité des courants, on fait quelquefois couler à leur pied une chemise d'enrochement pour éviter les affouillements pendant l'opération du clayonnage.

On appelle clayonnage, des verges de saule, de pin ou de chêne, liées au bout les unes des autres et entrelacées entre elles et les piquets de la même manière que les fils dans un tissu de lin; les piquets forment la trame et les verges la chaîne. Le clayonnage ainsi disposé, on l'enfonce par couches jusqu'au fond du terrain au moyen de fourches jusqu'à ce qu'on soit monté au niveau de l'eau, et on continue ainsi jusqu'à 0^m,33 en contre-bas de la tête des piquets qui sont d'ordinaire recepés à 4^m,50 au-dessus de l'étiage; le clayonnage est de plus comprimé par l'atelier des clayonneurs, qui est ordinairement de trois hommes, en y dansant ensemble dessus, et par cadence régulière, et quelquefois on y fait passer un plus grand nombre de personnes; mais trois hommes sont suffisants pour cette opération, surtout si dans les premières couches de clayonnage ils ont eu bien soin de n'employer que les petites lattes dites de 3^e et 2^e choix, et qu'ils aient conservé le 1^{er} choix pour les couches au-dessus de l'eau.

Après l'opération du clayonnage, si c'est une ligne de rive, on coule des enrochements du côté du large jusqu'à 0^m,50 au-dessus de l'étiage; et du côté des terres, on jette du gravier, des fascines, ou bien des enrochements jusqu'à 0^m,50 en contre-bas de l'étiage. Du mois de novembre jusqu'à fin avril on procède à l'opération du flochage de toutes les lignes, et c'est en général de la bonne confection du flochage, qui consiste en verges de saule de 2 ans de pousse de 4^e et 3^e choix parfaitement vertes et de belle venue qu'on plante dans les interstices du clayonnage, que dépendent les succès des travaux de tunage.

On nomme flochage ou couronnement des lattes de saule implantées

debout dans les cavités prismatiques du clayonnage, et en dedans et en dehors de ce même clayonnage et le long de toute la ligne, comme pour former une haie, en ayant soin de bien engager le pied des verges jusqu'au fond du clayonnage, et ces flocages sont maintenus ensuite contre la ligne des pieux et le clayonnage par un double rang de moises fortement attachées avec des liens de saule jaune; la tête des flocages s'élève en général d'environ 2 mètres au-dessus de la tête des pilots.

Voici au surplus les divers cas qui peuvent se rencontrer dans l'exécution des travaux du tunage (Pl. 15, 16 et 17).

Le type n° 1 est établi sur un fond de gravier au niveau ou au-dessus de l'étiage où l'on ne présume pas d'affouillement.

Le type n° 2 est établi sur un gravier au-dessus de l'étiage où l'on prévoit 0^m,50 d'affouillement.

Le type n° 3 est établi sur un même terrain que le n° 2, mais où, par rapport à la situation des courants pendant les débordements, on prévoit un affouillement de 0^m,80 de profondeur.

Le type n° 4 est établi sous une profondeur d'eau de 0,50 où l'on prévoit la possibilité de 1^m,50 d'affouillement.

Le type n° 5 est établi sous une profondeur d'eau de 1 mètre où l'on prévoit la possibilité d'un mètre d'affouillement.

Le type n° 6 est établi sous une profondeur d'eau de 1 mètre où l'on prévoit la possibilité de 1^m,50 d'affouillement.

Le type n° 7 est établi sous une profondeur d'eau de 1^m,75 où l'on prévoit la possibilité de 1^m,50 d'affouillement.

Le type n° 8 est établi sous une profondeur d'eau de 2^m,75 où l'on prévoit la possibilité de 1 mètre d'affouillement.

Le type n° 9 est établi sur un gravier élevé au niveau ou au-dessus de l'étiage où l'on prévoit la possibilité de 1^m,30 d'affouillement.

Le type n° 10 est établi sous une profondeur d'eau de 1^m,50 où l'on prévoit la possibilité de 1^m,50 d'affouillement.

Le type n° 11 est établi sous une profondeur d'eau de 0^m,50 où l'on prévoit la possibilité de 2 mètres d'affouillement.

Le type n° 12 est établi sous une profondeur d'eau de 0^m,75 où l'on prévoit qu'il n'y aura pas d'affouillement.

Le type n° 13 est destiné à l'enracinement des épis dans les berges.

Le type n° 14 est prévu sous une profondeur d'eau de 0^m,60 non susceptible d'affouillement.

Le type n° 15 est fixé sous une profondeur d'eau de 1 mètre susceptible d'affouillement.

Le type n° 16 est établi sous une profondeur d'eau de 4^m,50 non susceptible d'affouillement.

Le type n° 17 est établi sous une profondeur d'eau de 2 mètres avec affouillement.

Le type n° 18 est établi sous une profondeur d'eau de 2^m,50 sans affouillement.

Le type n° 19 est établi sous une profondeur d'eau de 3 mètres sans affouillement.

Le type n° 20 est établi sous une profondeur d'eau de 0^m,50 à 0^m,70 sur une partie de rive en alluvion.

Le type n° 21 est établi sous une profondeur d'eau de 4 mètre et sur une partie de rive en alluvion.

Le type n° 22 est destiné à l'enracinement des lignes de rattachement dans les berges.

Les types n° 23, 24, 25, 26, 27 et 28 établis sous diverses profondeurs d'eau, et non susceptibles d'affouillement, sont destinés aux lignes de rattachement et épis simples.

L'expérience a démontré, par les travaux de tunage employés avec des succès inouis à la défense des rivages de la Garonne et à l'amélioration de son lit, que ce système est incontestablement préférable à tous les travaux de maçonnerie. Ces ouvrages, par la nature des bienfaits qu'ils procurent, remplissent un double but dont les richesses qui en découlent sont inappréciables : ils rendent en peu de temps à l'agriculture un terrain précieux qu'ils prennent sur le cours vagabond d'un fleuve torrentiel, en resserrant ses eaux dans un lit constant qui devient de plus en plus praticable à la navigation et favorable au commerce par la facilité des transports sur un fleuve où tous les obstacles à la navigation ont disparu, et sur lequel on a obtenu en définitive un plus fort tirant d'eau par le rétrécissement du

lit, qui est le but principal des ouvrages de tunage appliqués à l'amélioration d'un grand fleuve.

Le plus bel éloge qu'on puisse faire en faveur des travaux de tunage, c'est qu'avant leur application à la canalisation de la Garonne, la navigation à la vapeur ne se faisait sur cette rivière que jusqu'à Langon et que depuis plus de douze ans elle se fait régulièrement jusqu'à Agen. Ces progrès d'amélioration du cours de la Garonne démontrent clairement, soit dit en passant, l'infaillibilité des ouvrages de tunage et les immenses avantages qu'on peut en retirer pour la navigation des fleuves, et ils prouvent aussi l'inutilité du canal latéral à la Garonne d'Agen à Castets.

Exécution.

L'ingénieur qui est chargé de l'étude de l'amélioration d'un grand cours d'eau sous le triple rapport de l'agriculture, de la navigation et du commerce, doit se livrer aux études les plus sérieuses pour résoudre cet important problème.

1° Il doit faire procéder au levé du plan de toute la vallée en général où serpente le fleuve; prendre des profils en travers par chaque kilomètre de longueur sur le lit du fleuve rapportés à l'étiage des échelles dont il sera parlé plus bas; faire des sondes par chaque 25 mètres de distance suivant le chenal du fleuve; faire le plan en élévation de chaque rive pour indiquer leurs divers états d'alluvion ou de diluvion et leur nature de fond;

2° S'enquérir par tous les renseignements possibles auprès des personnes les plus anciennes du pays de la plus grande hauteur des eaux à l'époque des plus grandes inondations, de leur durée, de leurs causes et de leurs époques; et de l'état des eaux les plus basses pendant les plus grandes sécheresses qu'on appelle eaux de l'étiage;

3° Faire placer sur les deux rives des bornes kilométriques pour indiquer la direction des profils en travers et pour servir de repères au nivellement en long et poser des échelles destinées à donner la hauteur des eaux dans chaque localité importante ou par chaque myriamètre;

4° Etudier les ressources que peut présenter la localité traversée, tant en matériaux qu'en population pour l'exécution des travaux; l'exploitation des carrières mérite des recherches particulières, parce que les moellons d'enrochement sont l'âme des ouvrages de tunage;

5° On doit aussi, au moyen d'un dynamomètre, mesurer la vitesse des eaux rapportées aux diverses hauteurs d'eau, afin de connaître par ce moyen et avec les profils de combien de mètres cubes est la section d'eau par seconde rapportée à l'étiage et à toute autre hauteur au-dessus.

6° Il est essentiel de faire pendant longtemps l'analyse des eaux du fleuve en en faisant puiser tous les jours pour les faire distiller et connaître ainsi la quantité de matières en dissolution que renferme l'eau, afin de pouvoir préciser à peu près l'époque des atterrissements; car il est constant, abstraction faite des grandes inondations, que plus les eaux sont chargées de limon, plus les atterrissements seront prompts. On conçoit que cette étude est un point très-important et qui exige beaucoup de sujétion;

7° On doit étudier avec soin les cours des divers affluents qui se jettent dans le fleuve qu'on veut améliorer, et principalement se procurer les renseignements les plus précis sur leurs inondations, leurs époques, leurs plus grandes hauteurs, comme aussi sur leurs plus basses eaux;

8° Une fois que l'ingénieur est en possession de tous ces documents et qu'il a une connaissance parfaite de toutes les localités sur toute l'étendue du cours d'eau et qui se trouvent pour ainsi dire les données du problème qu'il a à résoudre, il trace et combine sur les plans diverses lignes de projet qui sont déterminées par le tombant des eaux, qu'on doit autant que possible conserver et fixer dans les lieux où elles ont la tendance de se jeter, à moins d'empêchement contraire; car on doit toujours avoir pour principe de caresser les eaux, en les resserrant entre des courbes adoucies et d'éviter toujours de les brusquer, parce que ce dernier cas de nécessité augmente toujours la dépense sans assurer le succès des travaux qui se trouvent par ce fait exposés pendant les inondations à de graves avaries. Les digues de projet de chaque rive tracées, on forme entre chacune et la rive qui lui correspond, au moyen des lignes simples ou doubles, suivant la position de la rive et la profondeur de l'eau, des chambres

ayant au plus 50 mètres de longueur et la largeur qui se trouve sur ce point entre la ligne du projet et la rive.

Les lignes de projet sont disposées de manière à donner, pendant les plus basses eaux, un tirant d'eau convenable aux plus grandes barques qui naviguent sur le fleuve en rétrécissant le lit; et les chambres sont destinées à provoquer activement et avec efficacité les atterrissements, afin de livrer au plus tôt à l'agriculture les terrains conquis par les travaux.

Lorsque l'étude se trouve être complète, on procède à l'estimation et à la rédaction d'un devis d'après les profils levés et les sondes pratiquées, et on dresse les prix de chaque mètre courant de travaux de tunage que la situation de la localité exige d'après les détails que nous avons donnés plus haut et dont voici la composition.

CHAPITRE XXVI.

MÉTRAGE ET ESTIMATION PAR MÈTRE COURANT D'OUVRAGES EN TUNAGE AVEC ENROCHEMENTS (Pl. 16, 17 et 18).

DIGUES DE RIVE A UN SEUL RANG DE TUNAGE.

Type n° 1 sur un gravier au niveau ou au-dessus de l'étiage ou l'on ne présume pas d'affouillements.

0 ^m ,076 cubes de bois de pin en grume de 2 ^e espèce pour 3/4 de pieux de 0 ^m ,18 de diamètre et de 4 ^m ,00 de longueur, à 25 fr. le mètre cube, ci.	fr. c. 1,90
3/4 battage de pieux de 0 ^m ,18 de diamètre et de 4 ^m ,00 de longueur, à 3 fr. l'un, ci.	2,25
1 ^m ,25 carré de clayonnage, à 1 fr. l'un, ci.	1,25
4 ^m ,00 courant de flocage, à 1 fr. 50 c. l'un, ci.	1,50
Prix d'un mètre courant d'ouvrage du type 1.	6,90

Type n° 2 sur un gravier élevé au-dessus de l'étiage où l'on prévoit la possibilité de 0^m,50 d'affouillement.

0 ^m ,114 cubes de bois de pin en grume de 2 ^e espèce pour 3/4 de pieux de 0 ^m ,22 de diamètre et de 4 ^m ,00 de longueur, à 25 fr. le mètre, ci.	fr. c. 2,85
3/4 battage de pieux de 0 ^m ,22 de diamètre et de 4 ^m ,00 de longueur, à 4 fr. l'un, ci.	3,00
1 ^m ,60 carré de clayonnage, à 1 fr. le mètre, ci.	1,40
1 ^m ,00 courant de flocage, à 1 fr. 60 c. le mètre, ci.	1,60

Enrochements.

En avant de la ligne de tunage. .	Long. réduite. .	$\left. \begin{matrix} 1,25 \\ 0,50 \end{matrix} \right\} 0,825$	$\left. \begin{matrix} 0,41 \\ 0,19 \end{matrix} \right\} 0,60$	à 5 fr. l'un, ci.	3,00
	Hauteur.	0,50			
En arrière de la ligne de tunage. .	Long. réduite. .	$\left. \begin{matrix} 0,00 \\ 0,76 \end{matrix} \right\} 0,38$	0,19		
	Hauteur.	0,50			

0^m,038 cube de pin pour charpente d'entretien mis en place, à 40 fr., ci. 1,52

0^k,45 de fer forgé pour 3/4 cheville barbelée, à 1 fr. le kilogr., ci. 0,75

Prix d'un mètre courant de tunage du type n° 2. 14,32

Type n° 3 sur un gravier élevé au-dessus de l'étiage où l'on prévoit la possibilité de 0^m,80 d'affouillement.

0 ^m ,15 de bois de pin en grume de 2 ^e espèce pour 3/4 de pieux de 0 ^m ,22 de diamètre et 5 ^m ,00 de longueur, à 25 fr. le mètre cube, ci.	fr. c.	3,75																	
3/4 de battage de pieux de 0 ^m ,22 de diamètre et de 5 ^m ,00 de longueur, à 5 fr. l'un, ci.		3,75																	
1 ^m ,90 de clayonnage, à 1 fr. l'un, ci.		1,90																	
1 ^m ,00 courant de flocage, à 1 fr. 60 c. l'un, ci.		1,60																	
<i>Enrochements à opérer en une ou plusieurs fois suivant les circonstances.</i>																			
En amont de la ligne de tunage. .	<table style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td>Long. réduite. .</td> <td> <table style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td>m.</td> <td>m.</td> <td>m.</td> </tr> <tr> <td>{ 0,50</td> <td>{ 1,10</td> <td></td> </tr> <tr> <td>{ 1,70</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> </td> <td rowspan="2" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">0,88</td> </tr> <tr> <td>Hauteur.</td> <td>0,80</td> </tr> </table>	Long. réduite. .	<table style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td>m.</td> <td>m.</td> <td>m.</td> </tr> <tr> <td>{ 0,50</td> <td>{ 1,10</td> <td></td> </tr> <tr> <td>{ 1,70</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	m.	m.	m.	{ 0,50	{ 1,10		{ 1,70			}	0,88	Hauteur.	0,80	<table style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td>1^m,36, à 5 fr., l'un ci.</td> <td>6,80</td> </tr> </table>	1 ^m ,36, à 5 fr., l'un ci.	6,80
Long. réduite. .	<table style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td>m.</td> <td>m.</td> <td>m.</td> </tr> <tr> <td>{ 0,50</td> <td>{ 1,10</td> <td></td> </tr> <tr> <td>{ 1,70</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	m.	m.	m.	{ 0,50	{ 1,10		{ 1,70			}	0,88							
m.	m.	m.																	
{ 0,50	{ 1,10																		
{ 1,70																			
Hauteur.	0,80																		
1 ^m ,36, à 5 fr., l'un ci.	6,80																		
En arrière de la ligne de tunage. .	<table style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td>Long. réduite. .</td> <td> <table style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td>m.</td> <td>m.</td> <td>m.</td> </tr> <tr> <td>{ 0,00</td> <td>{ 0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <td>{ 1,20</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> </td> <td rowspan="2" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">0,48</td> </tr> <tr> <td>Hauteur.</td> <td>0,80</td> </tr> </table>	Long. réduite. .	<table style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td>m.</td> <td>m.</td> <td>m.</td> </tr> <tr> <td>{ 0,00</td> <td>{ 0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <td>{ 1,20</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	m.	m.	m.	{ 0,00	{ 0,60		{ 1,20			}	0,48	Hauteur.	0,80			
Long. réduite. .	<table style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td>m.</td> <td>m.</td> <td>m.</td> </tr> <tr> <td>{ 0,00</td> <td>{ 0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <td>{ 1,20</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	m.	m.	m.	{ 0,00	{ 0,60		{ 1,20			}	0,48							
m.	m.	m.																	
{ 0,00	{ 0,60																		
{ 1,20																			
Hauteur.	0,80																		
Pin équarri pour la charpente d'entretien comme pour le type n° 2, ci.		1,52																	
Fer forgé pour la charpente d'entretien comme pour le type n° 2, ci.		0,75																	
Prix d'un mètre courant de tunage du type n° 3.		20,07																	

Type n° 4 sous une profondeur d'eau de 0^m.50 et sur un gravier élevé au-dessus de l'étiage où l'on prévoit la possibilité de 1^m.50 d'affouillement.

0 ^m .15 cubes de bois de pin en grume de 2 ^e espèce pour 3/4 de pieux de 0 ^m .22 de diamètre et de 5 ^m .50 de longueur, à 25 fr. le mètre cube, ci.	fr. c. 3,75
3/4 battage de pieux de 0 ^m .22 de diamètre et de 5 ^m .50 de longueur, à 6 fr. l'un, ci.	4,50
2 ^m .50 carrés de clayonnage, à 1 fr. l'un, ci.	2,50
3 ^m .00 courant de flocage, à 1 fr. 60 c. l'un, ci.	, 60

Enrochement à opérer en une ou plusieurs fois suivant les circonstances des crues.

En avant de la ligne de tunage. .	$\left. \begin{array}{l} \text{Long. réduite.} \\ \text{Hauteur. . . .} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \left. \begin{array}{l} 0,50 \\ 2,75 \end{array} \right\} 1,625 \\ 1,500 \end{array} \right\} \begin{array}{l} 2,44 \\ 3^m,19, \text{ à } 5 \text{ fr.} \\ \text{l'un, ci. . .} \end{array}$	15,95
En arrière de la ligne de tunage. .	$\left. \begin{array}{l} \text{Long. réduite.} \\ \text{Hauteur. . . .} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \left. \begin{array}{l} 0,00 \\ 1,50 \end{array} \right\} 0,75 \\ 1,00 \end{array} \right\} \begin{array}{l} 0,75 \\ \end{array}$	

Pin équarri pour la charpente d'entretien comme pour le type n° 2, ci.

1,52

Fer forgé pour la charpente d'entretien comme pour le type n° 2, ci.

0,75

Prix du mètre courant de tunage du type n° 4, ci.

30,57

Type n° 5 sous une profondeur d'eau de 1^m,00 où l'on prévoit la possibilité de 1^m,00 d'affouillement.

0 ^m ,17 cubes de bois de pin en grume de 2 ^e espèce pour 3/4 de pieu de 0 ^m ,22 de diamètre et de 6 ^m ,00 de long. à 25 fr. le mètre cube, ci.	fr. c.	4,25
3/4 battage de pieux de 0 ^m ,22 de diamètre et de 6 ^m ,00 de longueur, à 6 fr. l'un, ci.		4,50
3 ^m ,10 carrés de clayonnage, à 1 fr. le mètre carré, ci.		3,10
1 ^m ,00 courant de flocage, à 1 fr. 60 c. le mètre courant, ci.		1,60

Enrochements à opérer en une ou plusieurs fois suivant les circonstances des crues.

	m.	m.	m.	m.		
En avant de la ligne de tunage. .	Long. réduite. .	0,50 3,50	2,00	4,00		
En arrière de la ligne de tunage. .	Long. réduite. .	0,00 2,25	1,13	1,69		
Noyau en cailloux.	Largeur.	2,40	0,40	4,73	à 5 fr., ci.	2,65
Pin équarri pour la charpente d'entretien comme pour le type n° 2, ci.						1,52
Prix du mètre courant de tunage du type n° 5, ci.						40,81

Type n° 6 sous une profondeur d'eau de 4^m,00 où l'on prévoit la possibilité de 4^m,50 d'affouillement.

0 ^m ,185 cubes de pin en grume de 2 ^e espèce pour 3/4 de pieu de 0 ^m ,22 de diamètre et de 6 ^m ,50 de long., à 25 fr. le mètre cube, ci.	fr. c.	4,63
3/4 battage de pieu de 0 ^m ,22 de diamètre et de 6 ^m ,50 de longueur, à 7 fr. l'un, ci.		4,75
3 ^m ,60 carrés de clayonnage, à 1 fr. l'un, ci.		3,60
1 ^m ,00 courant de flocage, à 1 fr. 60, ci.		1,60
<i>Enrochements à opérer en une ou plusieurs fois suivant les circonstances des crues.</i>		
	m.	m.
En avant de la ligne de tunage. .	Long. réduite. .	2,375
	Hauteur.	
		5,94
En arrière de la ligne de tunage. .	Long. réduite. .	1,50
	Hauteur.	
		3,00
		8,94
Noyau en cailloux.	Largeur.	3,60
	Hauteur.	0,60
		2,16 cailloux à 1 f. 50
		3,24
Reste pour enrochement en moellon. .	6,78 cubes à 5 fr. .	33,90
Pin équarri pour la charpente d'entretien comme pour le type n° 2, ci.		1,52
Fer forgé pour la charpente d'entretien comme pour le type n° 2, ci.		0,75
Prix d'un mètre courant de tunage suivant le type n° 6, ci. .		53,99

Type n° 7 sous une profondeur d'eau de 1^m,75 où l'on prévoit la possibilité de 1^m,00 d'affouillement.

0 ^m ,192 cubes de pin en grume de 2 ^e espèce pour 3/4 de pieu de 0 ^m ,22 de diamètre et de 6 ^m ,75 de long., à 25 fr. le mètre cube, ci.	fr. c.	4,80
3/4 battage de pieu de 0 ^m ,22 de diamètre et de 6 ^m ,75 de longueur, à 7 fr. l'un, ci.		5,25
3 ^m ,60 carrés de clayonnage, à 1 fr. l'un, ci.		3,60
1 ^m ,00 courant de flocage, à 1 fr. 60 l'un, ci.		1,60

Enrochement à opérer en une ou plusieurs fois suivant les circonstances des crues.

	m.	m.	m.		
En avant de la ligne de tunage. .	Long. réduite. .	0,50	2,565	6,05	
		4,63			
	Hauteur.	2,750			
En arrière de la ligne de tunage. .		Long. réduite. .	0,00	1,69	4,30
	3,38				
	Hauteur.	2,25			
Total des enrochements, ci.		10,35			
Noyau en cailloux.	Longueur.	3,60	2,16	à 1 f. 50 l'un, ci.	3,24
	Hauteur 1/2.	0,60			
Reste pour enrochement en moellon. .	8,49		à 5 fr. l'un, ci.		40,95
Pin équarri pour la charpente d'entretien comme au type n° 2, ci.					1,52
Fer forgé pour la charpente d'entretien comme au type n° 2, ci.					0,75
Prix d'un mètre courant de tunage suivant le type n° 7, ci.					61,51

Type n° 8 sous une profondeur d'eau de 2^m,75 où l'on prévoit la possibilité de 1^m,00 d'affouillement.

0,263 cubes de pin en grume de 1 ^{re} espèce pour 3/4 de pieu de 0 ^m ,24 de diamètre et de 7 ^m ,75 de longueur, à 30 fr. le mètre cube, ci.	fr. c.	7,89				
3/4 battage de pieu de 0 ^m ,24 de diamètre et de 7 ^m ,75 de longueur, à 9 fr. 40 c. l'un, ci.		6,75				
<i>Enrochements à opérer en une ou plusieurs fois suivant les circonstances des crues.</i>						
En avant de la ligne de tunage.	Long. réduite.	0,50 6,13	3,315	18,11		
	Hauteur.	3,75				
En arrière de la ligne de tunage..	Long. réduite.	0,00 4,13	2,065	5,68		
	Hauteur.	2,75				
Total des enrochements.				23,79		
Noyau en cailloux.	Largeur.	4,40	3,08	à 1 fr. 50 l'un, ci.	4,62	
	Hauteur 1/2.	0,70				
Reste pour enrochement en moellon.				15,03	à 5 fr. l'un, ci.	75,15
Pin équarri pour la charpente d'entretien comme au type n° 2, ci.					1,52	
Fer forgé pour la charpente d'entretien comme au type n° 2, ci. .					0,75	
3 ^m ,60 carrés de clayonnage, à 1 fr. le mètre, ci.					3,60	
1 ^m ,00 courant de flochage, à 1 fr. 60 le mètre, ci.					1,60	
Prix d'un mètre courant de tunage suivant le type n° 8.					101,88	

DIGUES A DEUX LIGNES DE TUNAGE.

Type n° 9 sur un gravier élevé au niveau ou au-dessus de l'étiage où l'on prévoit la possibilité de 1^m,30 d'affouillement,

0 ^m ,314 cubes de pin en grume de 2 ^e espèce pour 1 1/2 de pieux	fr. c.
0 ^m ,22 de diamètre et de 5 ^m ,50 de long., à 25 fr. le mètre cube, ci.	7,85
1 1/2 de battage de pieux, à 6 fr. l'un, ci.	9,00
4 ^m ,60 carrés de clayonnage, à 1 fr. le mètre, ci.	4,60
2 ^m ,00 courants de flocage, à 1 fr. 60 l'un, ci.	3,20

Enrochements à opérer en une ou plusieurs fois suivant les circonstances des crues.

En avant de la ligne de tunage.	Long. réduite.	$\left. \begin{array}{l} 0,50 \\ 2,45 \end{array} \right\} 1,475$	$\left. \begin{array}{l} 1,30 \\ 0,60 \end{array} \right\} 1,92$	$\left. \begin{array}{l} 2^m,40, \text{ à } 5 \text{ fr. l'un,} \\ \text{ci.} \end{array} \right\} 12,00$
En arrière de la ligne de tunage..	Long. réduite.	$\left. \begin{array}{l} 0,00 \\ 1,20 \end{array} \right\} 0,60$	$\left. \begin{array}{l} 0,60 \\ 0,80 \end{array} \right\} 0,48$	

0^m,111 cubes de pin équarri pour charpente d'entretien, à 40 fr. l'un, ci. 4,44

3 kilog. de fer forgé pour la charpente d'entretien, à 1 fr. l'un, ci. 3,00

Remplissage des coffres en cailloux. $\left. \begin{array}{l} \text{Largeur. } 1^m,56 \\ \text{Hauteur. } 2,45 \end{array} \right\} 3^m,82, \text{ à } 1 \text{ fr. } 50 \text{ l'un, ci. } 5,73$

Plantation de 35 boutures de saule sur les remblais du coffre provenant de verges de 4^e choix, à 2 fr. 50 le 100, ci. 0,88

Prix d'un mètre courant de tunage du type n° 9, ci. 50,70

Type n° 11 sous une profondeur d'eau de 0^m,50 où l'on prévoit la possibilité de 2^m,00 d'affouillement.

0 ^m ,342 cubes de pin en grume de 2 ^e espèce pour 1 1/2 de pieux de 0 ^m ,22 de diamètre et de 6 mètres de longueur, à 25 fr. le mètre cube, ci.	fr. c.	8,55
1 1/2 battage de pieux de 0 ^m ,22 de diamètre et de 6 mètres de longueur, à 6 fr. l'un, ci.		9,00
3 ^m 40 carrés de clayonnage, à 1 fr. l'un, ci.		3,40

Enrochements à opérer en une ou plusieurs fois suivant les circonstances des crues.

Dans l'intérieur des pieux.	<table border="0"> <tr> <td>Longueur.</td> <td>2,06</td> <td rowspan="2">} 3,50</td> <td rowspan="2">} 41^m,49 à 5 fr. l'un, ci.</td> </tr> <tr> <td>Hauteur.</td> <td>1,70</td> </tr> </table>	Longueur.	2,06	} 3,50	} 41 ^m ,49 à 5 fr. l'un, ci.	Hauteur.	1,70	57,45
Longueur.	2,06	} 3,50	} 41 ^m ,49 à 5 fr. l'un, ci.					
Hauteur.	1,70							
En avant des pieux.	<table border="0"> <tr> <td>Long. réduite.</td> <td>4,70</td> <td rowspan="2">} 7,99</td> </tr> <tr> <td>Épaisseur.</td> <td>1,70</td> </tr> </table>	Long. réduite.	4,70	} 7,99	Épaisseur.	1,70		
Long. réduite.	4,70	} 7,99						
Épaisseur.	1,70							

0 ^m ,037 cubes de bois de pin équarri pour charpente d'entretien, à 40 fr. le mètre cube, ci.	1,48
0 ^k ,80 kilog. de fer forgé pour assujettir la charpente d'entretien, à 1 fr. le kilog., ci.	0,80

Prix du mètre courant de tunage suivant le type n° 11, ci. 80,68

Type n° 12 sous une profondeur d'eau de 0^m,75 en réduite où l'on ne présume pas d'affouillement.

0 ^m ,259 cubes de pin en grume de 2 ^e espèce pour 1 1/2 de pieux de 0 ^m ,20 de diamètre et de 5 ^m ,50 de longueur, à 25 fr. le mètre cube, ci.	fr. c.	6,43
1 1/2 battage de pieux de 0 ^m .20 de diamètre et de 5 ^m ,50 de longueur, à 6 fr. l'un, ci.		9,00
3 ^m ,90 carrés de clayonnage, à 1 fr. l'un, ci.		3,90

Enrochements.

Dans l'intérieur des pieux.	<table border="0"> <tr> <td rowspan="2" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">{</td> <td>Largeur.</td> <td style="text-align: center;">m.</td> <td>2,10</td> <td rowspan="2" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td rowspan="2" style="text-align: center;">m.</td> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">4,10</td> <td rowspan="2" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">6^m,79 à 5 fr., ci.</td> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">33,95</td> </tr> <tr> <td>Hauteur.</td> <td></td> <td>1,95</td> </tr> </table>	{	Largeur.	m.	2,10	}	m.	4,10	}	6 ^m ,79 à 5 fr., ci.	33,95	Hauteur.		1,95	
{	Largeur.		m.	2,10	}							m.	4,10	}	6 ^m ,79 à 5 fr., ci.
	Hauteur.		1,95												
En avant des pieux.	<table border="0"> <tr> <td rowspan="2" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">{</td> <td>Largeur.</td> <td></td> <td>2,93</td> <td rowspan="2" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">2,87</td> <td rowspan="2" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td rowspan="2"></td> <td rowspan="2"></td> <td rowspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Hauteur.</td> <td></td> <td>0,98</td> </tr> </table>	{	Largeur.		2,93	}	2,87	}				Hauteur.		0,98	
{	Largeur.			2,93	}							2,87	}		
	Hauteur.		0,98												

Pin équarri et fer forgé pour la charpente d'entretien comme pour le type n° 11, ci.

2,28

Prix du mètre courant de tunage du type n° 12, ci.

55,56

ÉPIS A DEUX RANGS DE TUNAGE.

Type n° 13 pour l'enracinement des épis.

0 ^m ,191 cubes de pin en grume de 3 ^e espèce pour 1 1/2 de pieux de 0 ^m ,18 de 5 mètres de longueur, à 20 fr. le mètre cube, ci. . .	fr. c.
	3,90
1 1/12 battage de pieux de 0 ^m ,18 de diamètre et de 5 mètres de longueur à 4 fr. ci.	6,00
3 ^m ,80 carrés de clayonnage, à 1 fr., ci.	3,80
2 ^m ,00 courants de flocage, à 1 fr., ci.	2,00

Enrochements.

	m.	m.	m.		
En amont du coffre des pieux.	Long. ré- duite.	0,30 1,65	0,975	0,88	
					Hauteur.
En aval du coffre des pieux.	Long. ré- duite.	0,30 1,65	0,975	0,88	
					Hauteur.
				1 ^m ,76 à 5 fr., ci.	

0 ^m ,115 cubes de pin pour charpente d'entretien, à 40 fr. l'un, ci,	4,60
3 ^k ,13 de fer forgé, à 1 fr. pour la charpente d'entretien, ci. . .	3,13
Remplissage des coffres en cailloux.	5,82
	3 ^m ,88, à 1 fr. 50 c., ci.
Plantation de 40 boutures de saule à 2 fr. 50 c. le 100, ci. . . .	4,00
Prix du mètre courant à deux rangs de tunage du type n° 13, ci.	39,05

Type n° 14 sous une profondeur d'eau de 0^m,60 non susceptible d'affouillement.

0 ^m ,412 cubes de pin en grume de 2 ^e espèce pour 1 1/2 de pieux de 0 ^m ,18 de diamètre et de 4 ^m ,50 de long., à 25 fr. le mètre cube, ci.	fr. c.	2,80
1 1/2 battage de pieux de 0 ^m ,18 de diamètre et de 4 ^m ,50 de longueur, à 3 fr. l'un, ci.		4,50
3 ^m ,20 carré de clayonnage, à 1 fr. le mètre carré, ci.		3,20
2 ^m ,00 courant de flocage, à 1 fr. 60 c. le mètre, ci.		3,20

Enrochements.

En amont du coffre des pieux.	Long. réduite.	$\left. \begin{array}{l} \text{0,30} \\ \text{1,20} \end{array} \right\} \text{0,75}$	$\left. \begin{array}{l} \text{0,30} \\ \text{0,60} \end{array} \right\} \text{0,45}$	$\left. \begin{array}{l} \text{0,30} \\ \text{0,75} \\ \text{0,45} \end{array} \right\} \text{0m,90, à 5 fr., ci.}$	4,50
En aval du coffre des pieux.	Long. réduite.	$\left. \begin{array}{l} \text{0,30} \\ \text{1,20} \end{array} \right\} \text{0,75}$	$\left. \begin{array}{l} \text{0,30} \\ \text{0,60} \end{array} \right\} \text{0,45}$	$\left. \begin{array}{l} \text{0,30} \\ \text{0,75} \\ \text{0,45} \end{array} \right\} \text{0m,90, à 5 fr., ci.}$	4,50

Bois de pin équarr pour la charpente d'entretien comme pour le type n° 13, ci.	4,60
Fer forgé pour assujettir la charpente d'entretien comme au type n° 13, ci.	3,13
Remplissage du coffre en cailloux.	5,08
Plantation de boutures comme au type n° 13, ci.	1,00
Prix d'un mètre courant de tunage suivant le type n° 14, ci. . .	31,89

**Type n° 15 sous une profondeur d'eau de 1^m,00 susceptible
d'affouillement.**

0 ^m ,236 cubes de bois de pin en grume de 2 ^e espèce pour 1 1/2 de pieux de 0 ^m ,20 de diamètre et de 5 mètres de longueur à 25 fr. le mètre cube.	fr. c. 5,90																		
1 1/2 battage de pieux de 0 ^m ,20 de diamètre et de 5 mètres de longueur, à 6 fr. l'un, ci.	9,00																		
4 ^m ,00 carrés de clayonnage, à 1 fr. le mètre, ci.	4,00																		
2 ^m ,00 courant de flocage, à 1 fr. 60 c. le mètre, ci.	3,20																		
<i>Enrochements.</i>																			
En amont du coffre des pieux.	10,20																		
<table border="0" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">Long. ré- duite.</td> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">{</td> <td style="text-align: center;">m.</td> <td style="text-align: center;">m.</td> <td style="text-align: center;">m.</td> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">} 2^m,10 cubes, à 5 fr., ci.</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0,30</td> <td style="text-align: center;">1,05</td> <td style="text-align: center;">1,05</td> </tr> <tr> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">Hauteur.</td> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">{</td> <td style="text-align: center;">m.</td> <td style="text-align: center;">m.</td> <td style="text-align: center;">m.</td> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">} 10,20</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1,80</td> <td style="text-align: center;">1,05</td> <td style="text-align: center;">1,05</td> </tr> </table>	Long. ré- duite.	{	m.	m.	m.	} 2 ^m ,10 cubes, à 5 fr., ci.	0,30	1,05	1,05	Hauteur.	{	m.	m.	m.	} 10,20	1,80	1,05	1,05	
Long. ré- duite.			{	m.	m.		m.	} 2 ^m ,10 cubes, à 5 fr., ci.											
	0,30	1,05		1,05															
Hauteur.	{	m.	m.	m.	} 10,20														
		1,80	1,05	1,05															
En aval du coffre des pieux.	10,20																		
<table border="0" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">Comme en amont.</td> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">{</td> <td style="text-align: center;">m.</td> <td style="text-align: center;">m.</td> <td style="text-align: center;">m.</td> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">} 10,20</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1,05</td> <td style="text-align: center;">1,05</td> <td style="text-align: center;">1,05</td> </tr> </table>	Comme en amont.	{	m.	m.	m.	} 10,20	1,05	1,05	1,05										
Comme en amont.			{	m.	m.		m.	} 10,20											
	1,05	1,05		1,05															
Bois de pin équarri pour la charpente d'entretien mis en place comme au type n° 13, ci.	4,60																		
Fer forgé pour assujettir la charpente d'entretien comme au type n° 13, ci.	3,13																		
Remplissage du coffre en cailloux.	6,42																		
<table border="0" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">{</td> <td style="text-align: center;">m.</td> <td style="text-align: center;">m.</td> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">} 4^m,08, à 1 fr. 50, ci.</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1,90</td> <td style="text-align: center;">2,15</td> </tr> </table>	{	m.	m.	} 4 ^m ,08, à 1 fr. 50, ci.	1,90	2,15													
{		m.	m.		} 4 ^m ,08, à 1 fr. 50, ci.														
	1,90	2,15																	
Plantation de boutures de saule comme au type n° 13, ci.	4,00																		
Prix du mètre courant de tunage suivant le type n° 15, ci.	47,15																		

Type n° 16 sous une profondeur d'eau de 1^m,50 non susceptible d'affouillement.

0 ^m ,259 cubes de bois de pin en grume de 2 ^e espèce pour 1 1/2 de pieux de 0 ^m ,20 de diamètre et de 5 ^m ,50 de longueur, à 25 fr. le mètre cube, ci.	fr. c.	
		6,47
1 1/2 battage de pieux de 0 ^m /20 de diamètre et de 5 ^m ,50 de longueur, à 6 fr. l'un, ci.		9,00
5 ^m ,00 de clayonnage à 1 fr. l'un, ci.		5,00
2 ^m ,00 courant de flocage, à 1 fr. 60 c., ci.		3,20
<i>Enrochements.</i>		
En amont du coffre des pieux.	$\left. \begin{array}{l} \text{Long. ré-} \\ \text{duite.} \\ \text{Hauteur.} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \begin{array}{l} \text{m.} \\ 0,30 \\ \text{m.} \\ 2,25 \end{array} \\ \left. \begin{array}{l} \text{m.} \\ 1,27 \\ \text{m.} \\ 1,50 \end{array} \right\} 1,91 \end{array}$	$\left. \begin{array}{l} 3^{\text{m}},82, \text{ à } 5 \text{ fr.} \\ \text{l'un, ci.} \end{array} \right\} 19,10$
En aval du coffre des pieux.	$\left. \begin{array}{l} \text{Comme en amont.} \end{array} \right\} 1,91$	
Bois de pin équarri pour charpente d'entretien comme au type n° 13, ci.		4,60
Fer forgé pour assujettir la charpente d'entretien comme au type n° 13, ci.		3,13
Remplissage des coffres en cailloux.	$\left. \begin{array}{l} \text{Largeur.} \\ \text{Hauteur.} \end{array} \right\} \begin{array}{l} 1,90 \\ 2,65 \end{array}$	$\left. \begin{array}{l} 5^{\text{m}},03, \text{ à } 1 \text{ fr. } 50, \text{ ci.} \\ \end{array} \right\} 7,54$
Plantation de boutures comme au type n° 13, ci.		1,00
Prix d'un mètre courant de tunage suivant le type n° 13, ci.		59,04

Type n° 17 sous une profondeur d'eau de 2^m,00 non susceptible d'affouillement.

0 ^m ,283 cubes de pin en grume de 2 ^e espèce pour 1 1/2 de pieux de 0 ^m ,22 de diamètre et de 6 ^m ,00 de longueur, à 25 fr. le mètre cube, ci.	fr. c.	7,07
1 1/2 battage de pieux de 0 ^m ,20 de diamètre et 6 ^m ,00 de longueur, à 6 fr. l'un, ci.		,00
6 ^m ,00 carrés de clayonnage, à 1 fr., ci.		6,00
2 ^m ,00 courant de flocage, à 1 fr. 60, ci.		3,20
<i>Enrochements.</i>		
En amont du coffre des pieux.	$\left. \begin{array}{l} \text{Larg. réduite.} \\ \text{Hauteur.} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \left. \begin{array}{l} \text{0,30} \\ \text{3,30} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{1,80} \\ \text{2,00} \end{array} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{3,80} \\ \text{7m,20} \end{array}$	
En aval du coffre des pieux.	Comme en amont.	3,60
Noyau en cailloux.	$\left. \begin{array}{l} \text{Long. réduite.} \\ \text{Haut. réduite.} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{1,50} \\ \text{1,00} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{1m,50, à 1 fr. 50 l'un, ci.} \\ \end{array}$	2,25
Reste pour enrochement en moellon 5 ^m ,70 cubes, à 5 fr., ci.		28,50
Bois de pin équarri pour la charpente d'entretien comme au type n° 13, ci.		4,60
Fer forgé pour assujettir la charpente d'entretien comme au type n° 13.		3,13
Remplissage des coffres en cailloux.	$\left. \begin{array}{l} \text{Largeur.} \\ \text{Hauteur.} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{1,90} \\ \text{3,15} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{5m,98, à 1 fr. 50 l'un, ci.} \\ \end{array}$	8,97
Plantation de boutures comme au type n° 13, ci.		1,00
Prix d'un mètre courant de tunage suivant le type n° 17.		73,72

Type n° 18 sous une profondeur d'eau de 2^m,50 non susceptible d'affouillement.

0 ^m ,306 cubes de pin en grume de 2 ^e espèce pour 1 1/2 de pieux de 0 ^m ,20 de diamètre et de 6 ^m ,50 de longueur, à 25 fr. le mètre cube, ci.					fr. c.
					7,65
1 1/2 battage de pieux de 0 ^m ,20 de diamètre et de 6 ^m ,50 de longueur, à 6 fr. l'un, ci.					9,00
7 ^m ,00 carrés de clayonnage, à 1 fr. l'un, ci.					7,00
2 ^m ,00 courants de flocage, à 1 fr. 60 c. l'un, ci.					3,20
<i>Enrochements.</i>					
	m.	m.	m.	m.	
En avant du coffre des pieux. . .	Long. réduite. . .	0,30	2,175	5,44	
		4,05			
	Hauteur.	2,50			10,88
En arrière du coffre des pieux. . .	Comme en avant. . . .		5,44		
Noyau en cailloux.	Largeur.		2,25	3,37	à 1 fr. 50, ci.
		Hauteur.			
				7,51	
					37,55
Bois de pin équarri comme au type n° 13 pour la charpente, ci.					4,60
Fer forgé pour assujettir cette charpente comme au type n° 13, ci.					3,13
Remplissage du coffre en cailloux.	Largeur.		1,90	6 ^m ,93	à 1 fr. 50, ci.
		Hauteur.			
Plantation de boutures comme au type n° 13, ci.					
Prix d'un mètre courant de tunage suivant le type n° 18, ci.					88,57

Type n° 19 sous une profondeur d'eau de 3^m,00 non susceptible d'affouillement.

0 ^m ,467 cube de pin en grume de 2 ^e espèce pour 1 1/2 de pieux de 0 ^m ,22 de diamètre et de 7 ^m ,50 de longueur, à 25 fr. le mètre cube, ci.	fr. c. 11,67
2 1/2 battage de pieux de 0 ^m ,22 de diamètre et de 7 ^m ,50 de longueur, à 7 fr. l'un, ci.	10,50
7 ^m ,00 carrés de clayonnage, à 1 fr. l'un, ci.	7,00
2 ^m ,00 courants de flocage, à 1 fr. 60 l'un, ci.	3,20

Enrochements.

	m.	m.	m.			
En amont du coffre des pieux. . .	Long. réduite. . .	0,30 4,80	2,55 7,65	}		
						Hauteur.
En aval du coffre des pieux. . .	Comme en amont. . .	7,65				
Noyau en cailloux.	Largeur.	3,00	}	6,00	à 1 fr. 50, ci.	9,00
	Hauteur.	2,00				
Reste pour enrochement en moellon.				9,30	à 5 fr. l'un, ci.	46,50

Bois de pin pour la charpente d'entretien comme pour le type n° 13, ci. 4,60

Fer forgé pour assujettir la charpente d'entretien comme au type n° 13, ci. 3,43

Remplissage du coffre en cailloux.

}	Largeur.	4,86	7 ^m ,72, à 1 fr. 50, ci.	11,58
	Hauteur.	4,45		

Plantation de boutures suivant le type n° 13, ci. 1,00

Prix d'un mètre courant de tunage comme au type n° 19, ci. 108,48

LIGNES DE RATTACHEMENT A UN SEUL RANG DE TUNAGE.

Type n° 20 sous une profondeur d'eau de 0^m,50 à 0^m,70 sur une partie en alluvion.

0 ^m ,041 cube de pin en grume de 3 ^e espèce pour 1 pieu de 0 ^m ,12 de diamètre, à 20 fr. le mètre cube, ci.	fr. c. 0,82
Battage de ce pieu à la hie à quatre bras, à 45 c., ci.	0,45
1 ^m ,85 carré de clayonnage, à 1 fr. l'un, ci.	1,85
1 ^m ,00 courant de flocage, à 1 fr. 60 l'un, ci.	1,60
Prix d'un mètre courant de tunage du type n° 20, ci.	4,72

Type n° 21 sous une profondeur d'eau de 1^m,00 sur une partie de rive en alluvion.

0 ^m ,094 cubes de pin en grume de 3 ^e espèce pour 1 pieu de 0 ^m ,16 de diamètre et de 4 ^m ,50 de longueur, à 20 fr. le mètre cube, ci.	fr. c. 1,88
Battage d'un pieu de 16 de diamètre et de 4 ^m ,50 de long, ci.	2,00
2 ^m ,25 carré de clayonnage, à 1 fr. l'un, ci.	2,25
1 ^m ,00 courant de flocage, à 1 fr. 60 c. l'un, ci.	1,60
Prix d'un mètre courant de tunage du type n° 21, ci.	7,73

Type n° 22 pour l'enracinement des lignes de rattachement dans la berge.

0 ^m ,095 cubes de pin en grume de 3 ^e espèce pour 3/4 de pieu de 0 ^m ,18 de diamètre et de 5 ^m ,00 de long. à 20 fr. le mètre cube, ci.	fr. c.	1,88
3/4 battage de pieux de 0 ^m ,18 de diamètre et de 5 ^m ,00 de longueur, à 2 fr. 75 c. l'un, ci.		2,05
2 ^m ,65 carrés de clayonnage, à 1 fr. l'un, ci.		2,65
1 ^m ,00 courant de flocage, à 1 fr. 60 c. l'un, ci.		3,20
Enrochement du côté d'aval seulement.	$\left. \begin{array}{l} \text{Long. réduite.} \\ \text{Hauteur.} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \left. \begin{array}{l} 0,30 \\ 1,65 \end{array} \right\} \begin{array}{l} 0,975 \\ 0,90 \end{array} \end{array} \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} 0^m,88, \text{ à } 5 \text{ fr. l'un,} \\ \text{ci.} \end{array}$	4,40
Prix d'un mètre courant de tunage du type n° 22, ci.		14,18

Type n° 23 sous une profondeur d'eau de 0^m,60 sans affouillement.

0 ^m ,081 cubes de bois de pin en grume de 2 ^e espèce pour 3/4 de pieu de 0 ^m ,20 de diamètre et de 4 ^m ,50 de longueur, à 25 fr. l'un, ci.	fr. c.	2,25
3/4 battage de pieux de 0 ^m ,20 de diamètre et de 4 ^m ,50 de longueur, à 3 fr. l'un, ci.		2,25
1 ^m ,85 carré de clayonnage, à 1 fr. l'un, ci.		1,85
1 ^m ,00 courant de flocage, à 1 fr. 60 c. l'un, ci.		1,60
Enrochement du côté d'aval seulement.	$\left. \begin{array}{l} \text{Long. réduite.} \\ \text{Hauteur.} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \left. \begin{array}{l} 0,30 \\ 1,20 \end{array} \right\} \begin{array}{l} 0,75 \\ 0,60 \end{array} \end{array} \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} 0^m,45, \text{ à } 5 \text{ fr. l'un,} \\ \text{ci.} \end{array}$	2,25
Prix d'un mètre courant de tunage suivant le type n° 23, ci.		10,20

Type n° 24 sous une profondeur d'eau de 1^m,00 sans affouillement.

0 ^m ,118 cubes de bois de pin en grume de 2 ^e espèce pour 3/4 de pieu de 0 ^m ,20 de diamètre et de 5 ^m ,00 de longueur, à 25 fr. le mètre cube, ci.	fr. c.	2,95
2 ^m ,25 carrés de clayonnage, à 1 fr. le mètre, ci.		2,25
1 ^m ,00 courant de flocage, à 1 fr. 60 c. le mètre, ci.		1,60
Enrochement du côté d'aval seulement.	$\left. \begin{array}{l} \text{Long. ré-} \\ \text{duite.} \\ \text{Hauteur.} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \overset{\text{m.}}{0,30} \\ \overset{\text{m.}}{1,80} \\ 1,90 \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} \text{Long. ré-} \\ \text{duite.} \\ \text{Hauteur.} \end{array}} \right\} \begin{array}{l} 1,05 \\ 1^{\text{m}},05, \text{ à } 5 \text{ fr. le} \\ \text{mètre, ci.} \end{array}$	5,25
Prix d'un mètre courant de tunage du type n° 24, ci.		12,05

Type n° 25 sous une profondeur d'eau de 1^m,50 sans affouillement.

0 ^m ,127 cubes de pin en grume de 2 ^e espèce pour 3/4 de pieu de 0 ^m ,20 de diamètre et de 5 ^m ,50 de longueur, à 25 fr. le mètre cube, ci.	fr. c.	3,18
3/4 battage de pieu de 0 ^m ,20 de diamètre et de 5 ^m ,50 de longueur, à 4 fr. l'un, ci.		3,00
2 ^m ,50 carrés de clayonnage, à 1 fr. le mètre carré, ci.		2,50
1 ^m ,00 courant de flocage, à 1 fr. 60 c. le mètre, ci.		1,60
Enrochement du côté d'aval seulement.	$\left. \begin{array}{l} \text{Long. ré-} \\ \text{duite.} \\ \text{Hauteur.} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \overset{\text{m.}}{0,30} \\ \overset{\text{m.}}{2,25} \\ 1,50 \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} \text{Long. ré-} \\ \text{duite.} \\ \text{Hauteur.} \end{array}} \right\} \begin{array}{l} 1,425 \\ 2^{\text{m}},14, \text{ à } 5 \text{ fr. l'un,} \\ \text{ci.} \end{array}$	10,70
Prix d'un mètre courant de tunage suivant le type n° 25, ci.		20,98

Type n° 26 sous une profondeur d'eau de 2^m00 sans affouillement.

0 ^m ,141 cubes de pin en grume de 2 ^e espèce pour 3/4 de pieu de 0 ^m ,20 de diamètre et de 6 ^m ,00 de longueur, à 25 fr. le mètre cube, ci.		fr. c.																
			3,52															
3/4 battage de pieu de 0 ^m , 20 de diamètre et de 6 ^m ,00 de longueur, à 4 fr. l'un, ci.			3,00															
2 ^m ,25 carrés de clayonnage, à 1 fr. le mètre carré, ci.			2,25															
1 ^m ,00 courant de flocage, à 1 fr. 60 le mètre, ci.			1,60															
Enrochement du côté d'aval seulement.	<table border="0"> <tr> <td></td> <td>m.</td> <td>m.</td> <td>m.</td> </tr> <tr> <td>Long. réduite.</td> <td>0,30</td> <td>1,80</td> <td rowspan="2">3,60</td> </tr> <tr> <td></td> <td>3,30</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hauteur.</td> <td>2,00</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		m.	m.	m.	Long. réduite.	0,30	1,80	3,60		3,30		Hauteur.	2,00				
	m.	m.	m.															
Long. réduite.	0,30	1,80	3,60															
	3,30																	
Hauteur.	2,00																	
Noyau en cailloux.	<table border="0"> <tr> <td></td> <td>1,50</td> <td rowspan="2">0,75</td> <td rowspan="2">à 1 fr. 50 l'un, ci.</td> <td rowspan="2">1,12</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0,50</td> </tr> </table>		1,50	0,75	à 1 fr. 50 l'un, ci.	1,12		0,50										
	1,50	0,75	à 1 fr. 50 l'un, ci.				1,12											
	0,50																	
Reste pour enrochement en moellon, ci.	2,85	à 5 fr. l'un, ci.	14,25															
Prix d'un mètre courant de tunage suivant le type n° 26.			25,74															

Type n° 27 sous une profondeur d'eau de 2^m,50 sans affouillement.

0 ^m ,153 cubes de bois de pin en grume de 2 ^e espèce pour 3/4 de pieu de 0 ^m ,20 de diamètre et de 6 ^m ,50 de longueur, à 25 le mètre cube, ci.		fr. c.	
			3,82
3/4 battage de pieu comme au type n° 26, à 4 fr. l'un, ci.			3,00
3 ^m ,75 carrés de clayonnage, à 1 fr. l'un, ci.			3,75
1 ^m ,00 courant de flocage à 1 fr. 60, ci.			1,60
Enrochement en moellon comme au type n° 26, ci.			14,25
Noyau en cailloux comme au type n° 26, ci.			1,12
Prix d'un mètre courant de tunage suivant le type n° 27.			27,54

Type n° 28 sous une profondeur d'eau de 3^m,00 sans affouillement.

0 ^m ,234 cubes de pin en grume de 2 ^e espèce pour 3/4 de pieu de 0 ^m ,22 de diamètre et 7 ^m ,50 de longueur, à 25 fr. le mètre cube, ci.	fr. e.	5,85																											
3 ^m ,75 carrés de clayonnage, à 1 fr. le mètre carré, ci.		3,75																											
3/4 battage d'un pieu de 0 ^m ,22 de diamètre et de 7 ^m ,50 de longueur, à 5 fr. ci.		3,75																											
1 ^m ,00 courant de flocage, à fr. 60 l'un, ci.		1,60																											
Enrochement comme au type n° 26, 2 ^m ,85, à 5 fr. l'un, ci.		14,25																											
<table border="0"> <tr> <td rowspan="4" style="vertical-align: middle;">Noyau en cailloux.</td> <td rowspan="2" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">{</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="padding: 0 10px;">{</td> <td style="padding: 0 10px;">Largeur.</td> <td style="text-align: center;">1,50</td> <td style="padding: 0 10px;">}</td> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">0,75</td> <td rowspan="4" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td rowspan="2" style="padding: 0 10px;">4^m,25, à 1 fr.</td> <td rowspan="4" style="vertical-align: middle;">1,87</td> </tr> <tr> <td style="padding: 0 10px;">Hauteur.</td> <td style="text-align: center;">0,60</td> <td style="padding: 0 10px;">}</td> <td rowspan="2" style="padding: 0 10px;">50 c., ci.</td> </tr> <tr> <td rowspan="2" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">{</td> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="padding: 0 10px;">{</td> <td style="padding: 0 10px;">Larg. ensemble.</td> <td style="text-align: center;">2,00</td> <td style="padding: 0 10px;">}</td> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">0,50</td> </tr> <tr> <td style="padding: 0 10px;">Hauteur.</td> <td style="text-align: center;">0,25</td> <td style="padding: 0 10px;">}</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>			Noyau en cailloux.	{	1	{	Largeur.	1,50	}	0,75	}	4 ^m ,25, à 1 fr.	1,87	Hauteur.	0,60	}	50 c., ci.	{	2	{	Larg. ensemble.	2,00	}	0,50	Hauteur.	0,25	}		
Noyau en cailloux.	{	1			{	Largeur.	1,50	}	0,75					}	4 ^m ,25, à 1 fr.	1,87													
		Hauteur.		0,60	}	50 c., ci.																							
	{	2		{	Larg. ensemble.		2,00	}	0,50																				
		Hauteur.	0,25	}																									
Prix d'un mètre courant de tunage suivant le type n° 28, ci.		31,07																											

La Planche 19 représente l'étude d'un projet d'amélioration d'une portion du cours d'un fleuve que nous donnons pour exemple, afin de mieux fixer les idées que nous avons développées sur l'avantage des travaux de tunage. Les lignes en forme de festons indiquent les ouvrages de rectifications projetés, et posent les limites du nouveau lit.

Évaluation des ouvrages tels qu'ils sont indiqués sur la planche.

Rive droite.

DÉSIGNATION des ouvrages de tunage.	LEUR EMPLACEMENT sur le plan (Pl. 19).	TYPES (PL. 16, 17, 18.)			MONTANT		
		Longueur.	Prix du mètre courant.	Nos des types.	partiel.	total.	
		m.	fr. c.		fr. c.	fr. c.	
Digues. . . .	De A en B à une ligne de tunage, dont.	300	40.81	5	12243.00		
		205	20.07	3	4114.35		
		100	14.32	2	1432.00		
	De E en C à une ligne de tunage, dont.	100	6.90	1	690.00		
		100	20.07	3	2007.00		
		100	14.32	2	1432.00		
		175	20.07	3	3622.50		
		100	30.57	4	3057.00		
		De D en E à une ligne de tunage.	525	40.81	5	21425.25	
		De E en F à une ligne de tunage.	200	53.99	6	10798.00	
Épis.	De F en G à une ligne de tunage.	230	20.07	3	4616.10		
		100	39.05	13	3905.00		
		100	31.89	14	3189.00		
		100	47.15	15	4715.00		
		100	59.04	16	5904.00		
		100	73.72	17	7372.00		
		50	88.57	18	4428.50		
		10	108.18	19	1081.80		
		100	4.72	20	472.00		
		100	7.73	21	773.00		
Lignes de rattachement.		100	14.18	22	1418.00		
		100	10.20	23	1020.00		
		100	12.05	24	602.50		
		100	20.98	25	2098.00		
		20	25.74	26	514.80		
		10	27.54	27	275.40		
		10	31.07	28	310.70		
Total pour la rive droite, à reporter.					103516.90	103516.90	

Rive gauche.

DÉSIGNATION des ouvrages de tunage.	LEUR EMPLACEMENT sur le plan (Pl. 19).	TYPES (PL. 16, 17, 18).			MONTANT		
		Longueur.	Prix du mètre courant.	N ^{os} des types.	partiel.	total.	
		m.	fr. c.		fr. c.	fr. c.	
<i>Report de la rive droite.</i>							
	De H en I, 325 mètres de longueur, dont.	200 125	40 81 54.00	5 6	8162.00 6750.00	103516.90	
	De I en J, 175 mètres de longueur, dont.	75 50 50	14.32 6.90 4.72	2 1 20	1074.00 345.00 236.00		
	De K en L, 300 mètres de longueur, dont.	60 140 100	14.32 6.90 4.72	2 1 20	859.20 966.00 472.00		
		100	110.60	10	11060.00		
Digues.	De J en K, 475 mètres à double rang de ligne de tunage, dont.	150	50.70	9	7605.00		
		40	80.68	11	3227.20		
		60	59.04	16	3542.40		
		75	88.57	18	6642.75		
		50	73.72	17	3686.00		
		100	40.81	5	4081.00		
		200	6.90	1	1380.00		
		100	14.32	2	1432.00		
		De L en M, 400 mètres de longueur, dont.	250	6.90	1	1725.00	
		De M en N, 180 mètres à double rang de tunage, dont.	80	110.60	10	8848.00	
		50	80.68	11	4034.00		
		50	50.70	9	2535.00		
		20	47.15	15	943.00		
	b''c'' en arrière de HI, 50 mètres, dont.	15	31.89	14	473.35		
Épis.	o''h'', q''r'', s''v'', u''v'', x''y'', z''a'', b''c'', en arrière de JK, ensemble 400 mètres, dont.	15	59.04	16	885.60		
		100	39.05	13	3905.00		
		100	47.15	15	4715.00		
		50	59.04	16	2952.00		
		150	73.72	17	11058.00		
Barrages.	v''m'', n''o'', p''q'', v''x'' dans le bras supprimé ensemble 500 mètres, dont.	125	110.62	10	13827.50		
		125	50.70	9	6337.50		
		125	80.68	11	10085.00		
		125	55.56	12	6945.00		
		50	4.70	20	235.00		
		170	7.73	21	1314.10		
		50	14.18	22	709.00		
Ligne de rattachement.	en arrière de HJ, de LM et de M'N, ensemble 470 mètres, dont.	50	10.20	23	510.00		
		30	12.05	24	361.50		
		30	20.98	25	629.40		
		30	25.78	26	773.40		
		30	27.59	27	887.70		
		30	31.07	28	932.10		
Total pour les ouvrages de la rive gauche.					147141.70	147141.70	
Total pour les ouvrages des deux rives.						250658.60	
Somme à valoir pour creuser l'enracinement des épis et lignes de rattachement, faire des fouilles dans certaines parties de gravier afin d'y établir solidement la ligne de rive et les barrages, etc.						19341.40	
Total général.						270000.00	

CHAPITRE XXVII.

THÉORIE DES SOURCES.

Les anciens ont attribué à diverses causes l'origine des sources : le sentiment des uns était que l'eau de la mer coulait par des conduits souterrains vers les points où l'on voit des sources, et qu'elle déposait, en filtrant dans les entrailles de la terre, les sels dont elle est chargée, sans réfléchir que si ce principe était exact, les fontaines seraient toujours dans le même état, puisque la mer leur fournirait en tout temps une même quantité d'eau; ce qui ne se réalise pas, puisque toutes sont sujettes à augmenter ou à diminuer, et que de plus, d'après la loi du mouvement des eaux, il faudrait que le niveau de la mer fût au-dessus des sources qui couvrent tout le globe, tandis qu'on sait bien que le contraire existe.

L'opinion des autres était qu'il s'élevait des vapeurs du centre de la terre, qui, arrêtées vers sa surface par de grandes cavités en forme de voûtes, s'y appliquaient comme au chapiteau d'un alambic et coulaient vers le bas pour former des fontaines. Tout ceci est de la dernière invraisemblance, car il faudrait supposer un aussi grand nombre de ces cavernes qu'il y a de fontaines.

Quelques-uns, enfin, ont pensé que l'eau de la mer se rendait dans des abîmes où un feu continu la réduisait en vapeurs qui s'élevaient vers la surface de la terre et étaient condensées par le froid qui les réduisait en eau, qui coulait dans plusieurs souterrains pour arriver à la surface : si cette dernière opinion avait quelque fondement, les

fontaines ne diminueraient point par les sécheresses, ni ne deviendraient pas plus abondantes par les pluies.

Sans citer davantage les diverses opinions qui ont été émises sur ce sujet, il suffira de dire que tous les savants reconnaissent aujourd'hui que la pluie et les fontes des neiges forment et alimentent les fontaines en abreuvant la terre qu'elles pénètrent jusqu'à la couche imperméable de tuf, d'argile ou de pierre qui les arrête, d'où elles forcent vers les points les plus bas pour se frayer des passages et former ainsi toutes ces sources qui couvrent la surface de la terre, qui sont plus ou moins abondantes, suivant l'étendue de terrain qui les alimente.

Les sources seraient donc formées par l'eau de pluie et des fontes des neiges. Pour démontrer cette vérité, on n'a qu'à faire remarquer qu'elles grossissent après les pluies abondantes, diminuent sensiblement et tarissent quelquefois par de grandes sécheresses : au surplus, on sait que dans les pays chauds et où les pluies sont rares, il y a peu de sources, tandis que dans les Alpes et les Pyrénées, où il pleut et neige très-souvent, on en rencontre à chaque pas.

Ces principes posés, nous allons passer à la recherche des sources : le temps le plus propice pour se livrer à l'exploration des eaux souterraines est dans les mois d'août, septembre et octobre, parce que si l'on en trouve alors, on est sûr d'en avoir dans les autres saisons ; car la terre étant sèche, ses pores sont plus ouverts et laissent un libre passage aux vapeurs qui indiquent la présence de veines d'eau.

Voici l'opinion de Bélidor sur ces recherches :

« C'est principalement le long du pied des montagnes qui regardent
» le septentrion qu'il faut chercher les sources, et on peut espérer
» d'en trouver aussi le long de celles qui sont exposées aux vents
» humides, tels que sont en France ceux qui viennent de l'occident ;
» sur quoi il est bon de remarquer que les montagnes fort escarpées
» fournissent moins d'eau que les autres, et qu'au contraire celles qui
» ont une pente douce et qui sont couvertes de verdure renferment
» d'ordinaire quantités de rameaux dont les eaux sont abondantes,
» froides et saines, parce que les pluies et la fonte de neige y en font
» un grand amas qui se conservent et se filtrent.

» Pour découvrir les eaux souterraines , il faut , avant le soleil levé , se coucher sur le ventre , en sorte que la vue s'étende sur l'horizon ; si l'on voit une colonne de vapeur s'élever en ondoyant dans un endroit où il n'y a point d'humidité causée par des eaux sauvages , c'est une marque qu'en fouillant , on y trouvera de l'eau ; et l'on pourra avoir le même sentiment si l'on aperçoit des tourbillons ou nuées de petits mouchérons voler près de la terre toujours à la même place.

» L'on peut encore , dans les endroits où l'on soupçonne y avoir de l'eau , creuser un petit puits de 1^m de diamètre sur 2^m de profondeur ; poser au fond un chaudron renversé , dont l'intérieur soit frotté d'huile , ensuite fermer l'entrée de ce puits de quelques planches couvertes de terre ; si le lendemain on trouve des gouttes d'eau attachées au-dedans du chaudron , c'est une marque indubitable que ce lieu comprend des veines d'eau , et pour plus d'assurance , l'on peut mettre sous le chaudron quelques poignées de laine , afin de voir si en la pressant il en sort beaucoup d'eau.

» Enfin les signes les plus simples qui indiquent les veines d'eau sont les joncs , les roseaux , le baume sauvage , l'argentine , le lierre terrestre et les autres herbes aquatiques qui croissent dans certains endroits sans que les eaux sauvages les nourrissent. »

Maintenant que nous avons donné les moyens de rechercher les eaux de source d'une manière certaine , nous allons passer à leurs qualités en puisant notre opinion chez Bélidor.

» La meilleure manière de connaître la bonne qualité de l'eau suivant Vitruve et Perrault son commentateur , est de voir si les personnes qui en boivent ordinairement sont robustes , de bonne couleur , exemptes de fluxions sur les yeux et de maux de jambes. L'on voit en plusieurs contrées de France et de Savoie , sur toute la vallée de Morienne , des villages entiers dont les habitants sont incommodés de *goître* , qui est une grosseur qui leur vient au cou et qu'ils portent jusqu'au tombeau ; quelques-uns en ont depuis le menton jusqu'à la poitrine , ce qui les rend extrêmement difformes , et il y en a qui ont la voix si enrouée qu'on a de la peine à les entendre ; la commune opinion , qui est aussi celle de Vitruve , est que cette incommodité est causée par la mauvaise qualité des eaux.

» Pour connaître la bonté d'une fontaine nouvellement découverte,
 » Vitruve assure que si l'on verse des gouttes de son eau sur du bon
 » cuivre et qu'elle n'y fasse point de tache, c'est une marque qu'elle
 » est bonne à boire, ou bien si en la faisant bouillir les légumes y
 » cuisent promptement.

» M. Perrault, dans ses notes, dit aussi que la légèreté de l'eau doit
 » être considérée comme la marque la plus certaine de sa bonté, mais
 » la difficulté est d'en pouvoir juger par la petite différence qui se
 » rencontre dans la pesanteur de plusieurs eaux de même volume; il
 » ajoute qu'après plusieurs expériences, on n'en a pas trouvé qui
 » réussissent mieux que la dissolution du savon, parce que celles qui
 » le détrempe aisément et qui deviennent blanches comme du lait
 » sont plus légères et meilleures que celles dans lesquelles il ne peut
 » se dissoudre qu'en particules blanches qui nagent dans l'eau.

» Les sources qui sortent du fond des vallées sont ordinairement
 » pesantes, salées, tièdes et peu agréables, à moins qu'elles ne viennent
 » des montagnes; celles que l'on trouve dans la craie ne sont pas non
 » plus de bon goût; celles qui sortent du sable mouvant sont ordinai-
 » rement bourbeuses et désagréables; au contraire, celles qui sortent
 » du sable mâle, du gravier et de la pierre rouge sont abondantes et
 » de bonne qualité.»

Esquisse d'un projet des fontaines de Bordeaux dont le maximum d'eau de source est fixé à 600 pouces fontainiers distribués dans les divers quartiers de la ville et formant 600 bornes-fontaines.

L'eau et le feu ont toujours été considérés comme les deux premiers besoins des peuples; aussi des découvertes étonnantes dans ce double objet et qui ont ébranlé le monde savant, ont été faites et ont reçu d'heureuses et utiles applications dans les grandes cités, où on voit l'eau et le feu sillonnant toutes les rues, y jaillir en gerbes de cristal et en globes de lumière et se distribuer ensemble dans toutes les maisons.

La belle ville de Bordeaux possède un magnifique établissement de gaz qui inonde toutes ses rues et ses quartiers, dans les nuits les plus

obscurcs, d'une clarté éblouissante; mais depuis plus de deux siècles les administrations de cette brillante cité se sont constamment préoccupées pour la doter de nombreuses fontaines jaillissantes d'eau de sources, et on a toujours reculé devant le chiffre de la dépense.

C'est généralement au hasard qu'on doit les plus belles découvertes qui ont enrichi la science; et souvent il arrive qu'on fait de vains efforts pour chercher au loin ce qu'on a sous la main : cette dernière maxime pourrait s'appliquer au problème qui agite successivement, depuis plus de deux siècles, les administrateurs de Bordeaux.

Tous les savants d'aujourd'hui sont d'accord sur le principe suivant : que la pluie concourt à créer les torrents qui grossissent les rivières et les fleuves, et à former les sources, en abreuvant la terre qu'elle traverse jusqu'à la couche imperméable de tuf, d'argile ou de pierre qui l'arrête pour former une nappe d'eau. Dans cet état, la nappe d'eau souterraine force vers l'endroit le plus bas pour se faire un passage et former ainsi une fontaine plus ou moins abondante, suivant l'étendue du terrain qui lui fournit l'eau; telle est la cause des fontaines que l'on rencontre toujours au pied des montagnes.

D'après ce principe, il est donc incontestable que c'est la pluie qui forme et alimente les sources qui ne manquent pas d'être plus abondantes pendant les temps pluvieux, tandis que par de grandes sécheresses elles diminuent quelquefois au point de tarir, pour reprendre leur cours ordinaire après les premières pluies qui suivent les sécheresses : cette dernière observation justifie invinciblement l'existence de cette vérité.

Cela posé, d'après les expériences que grand nombre de savants ont faites et continuent encore, il tombe par année moyenne 0^m,60 de hauteur d'eau sur toute la surface de la France, dont 1/3 forme les torrents et grossit les rivières; le deuxième 1/3 est aspiré par l'atmosphère, et le dernier 1/3 forme et alimente les sources.

Il est à remarquer que Bordeaux se trouve placé sous une zone très-pluvieuse à cause de sa proximité de l'Océan, et il est à présumer qu'il tombe dans ses environs plus de 0^m,60 de hauteur d'eau par année moyenne.

Le célèbre Vauban a mis dans plusieurs circonstances ces principes en pratique pour former des fontaines artificielles, afin d'ali-

menter d'eau les places fortes qu'il faisait construire sur des positions élevées, et les résultats ont toujours répondu à ses espérances.

Dans tous les temps et dans tous les lieux l'homme s'est toujours préoccupé d'obtenir de l'eau jaillissante soit des fontaines qui se trouvent au pied des montagnes, soit des puits artésiens; mais il se rencontre bien des localités qui ne peuvent jouir ni de l'un ni de l'autre de ces deux avantages, sans faire des sacrifices ruineux, et encore n'y parvient-on pas toujours.

Un puits artésien pour Bordeaux, dont l'exécution serait incertaine, ne pourrait remplir le but qu'on se propose d'obtenir de bonne eau de source, puisque d'après l'expérience qui a déjà été faite sans succès au sujet de ces puits, il est certain qu'il faudrait descendre à une profondeur qui donnerait de l'eau chaude, totalement impropre aux besoins de la vie. Dès lors le système de puits artésien doit être abandonné.

Les sources d'eau vive proprement dite se trouvant fort éloignées de Bordeaux, exigent, pour être conduites dans cette cité, des dépenses si considérables que l'administration a reculé de tout temps devant elles.

Hé bien! il existe dans les alentours de Bordeaux des sources souterraines qui forment cette nappe d'eau dont nous avons parlé plus haut, et qui est arrêtée par la couche de terrain imperméable; et elle doit être même très-abondante dans le plateau de Bordeaux.

En général, tout le monde sait qu'en creusant la terre jusqu'à la couche de terrain imperméable, on rencontre toujours des sources d'eau vive plus ou moins abondantes, et c'est ainsi qu'on pratique les puits ordinaires; mais un puits n'est autre chose qu'une fontaine d'eau vive qui se trouve en contre-bas du sol; car si on trouvait le moyen de lui procurer un écoulement continu, soit descendant soit ascendant qui serait en rapport avec la source qui l'alimente, on aurait constamment de l'eau vive, tandis que l'eau des puits étant pour ainsi dire dans un état de stagnation plus ou moins constante, suivant la quantité d'eau qu'on y puise journellement, l'eau qu'ils renferment s'élève jusqu'au niveau de la source qui les alimente et demeure perpétuellement dans cet état: aussi plus on puise de l'eau dans un puits et plus on contribue à la rendre meilleure à cause

qu'elle se renouvelle plus souvent, et voici un exemple frappant de cette vérité.

La petite ville de Marmande (Lot-et-Garonne), possède de temps immémorial au centre de sa population, dans le quartier le plus bas, une magnifique fontaine d'eau vive de cent pouces fontainiers de dix litres à la minute et par pouce. Elle est à 4^m,50 en contre-bas de la place où elle est située, et un conduit à ciel ouvert dirige ses eaux à la Garonne. Cette fontaine donne mille litres par minute, soixante mille par heure et quatorze mille quatre cent hectolitres par vingt-quatre heures. Elle forme un bassin demi-circulaire de 8 mètres de diamètre. Les eaux coulent par neuf tuyaux.

Lorsqu'on veut nettoyer le conduit à ciel ouvert, qui dirige ses eaux à la Garonne, on est obligé de fermer l'issue placée à l'angle *est* du bassin qui se remplit, et l'eau remonte à environ 0^m,30 au-dessus de l'orifice des tuyaux qui sont placés à 0^m,70 en contre-haut du sol du bassin circulaire, et les eaux demeureraient perpétuellement à ce niveau si on tenait toujours fermé le conduit de décharge : dans cet état, on conçoit que cette belle fontaine n'est qu'un véritable puits duquel on retirerait pour les besoins journaliers de la ville, environ cinq cents hectolitres d'eau au lieu de quatorze mille quatre cents hectolitres que donne cette source à son état de fontaine ; ou bien qu'on établisse dans cette fontaine toujours à son état de puits une pompe à vapeur capable d'aspirer les cent pouces d'eau pour les élever à un château d'eau d'où elles se distribueraient dans toute la ville, on arriverait à retirer de ce puits par un conduit ascendant la même quantité d'eau que produisait la fontaine dans son état primitif.

Conclusions.

L'exemple frappant de cette belle fontaine réduite par supposition à l'état de puits, faute d'écoulement continu des eaux de sa source, fait naturellement naître cette idée que si on faisait creuser à Bordeaux, par exemple dans les environs de l'établissement du gaz, un immense puits ordinaire de 10 mètres de diamètre jusqu'à la couche de terrain

imperméable et autant que possible dans la partie la plus basse de cette couche, ce qui suppose des sondes préalablement faites; qu'on dirigeât ensuite des conduits souterrains vers les points d'où paraîtraient venir les sources les plus abondantes; qu'on creusât une cuvette d'environ 4 mètres dans la couche de terrain imperméable pour servir de bassin à ce puits : une étendue au moins d'une lieue carrée de terrain alimenterait de ses sources cet immense puits : la lieue étant de 5 kilomètres ou 5,000 mètres; la lieue carrée sera de 25 millions de mètres carrés, et la nappe d'eau de cette lieue carrée est année moyenne de 5 millions de mètres cubes; ôtons le cinquième de cette quantité pour les autres puits qui peuvent se trouver dans cette lieue carrée, il restera 4 millions de mètres cubes d'eau par année qui pourront alimenter ce grand réservoir, et les 600 pouces fontainiers formant 9,000 mètres cubes d'eau par jour et par année 3,295,000 mètres cubes d'eau pour tous les besoins de la ville de Bordeaux; on voit que ce problème est soluble, puisque les besoins sont au-dessous des prévisions les plus certaines, et qu'on profitât enfin de la perte de calorique qui se dégage des cornues de l'établissement du gaz, pour faire fonctionner une pompe à vapeur capable d'aspirer toute l'eau qui se rendrait dans ledit puits, pour l'élever dans un château d'eau à 7 mètres environ au-dessus du niveau de la place Dauphine d'où elle se rendrait par des conduits souterrains dans les divers quartiers de la ville et dans les maisons particulières et établissements publics.

On comprend que la concession d'une pareille entreprise s'allierait parfaitement avec celle du gaz et les deux ensemble ne pourraient et ne devraient plus désormais en faire qu'une à cause de l'économie mutuelle de ces deux établissements placés dans les mêmes mains. Aussi serait-il bon, après s'être assuré par des expériences certaines de la réussite d'un pareil projet et de son évaluation, qu'on pourrait en livrer la concession à une compagnie qui se présenterait avec les conditions les plus avantageuses pour la ville.

On reconnaîtra aussi que l'exécution d'un semblable établissement, dont la réussite ne peut laisser le moindre doute dans l'esprit des hommes éclairés, présentera des économies immenses sur tout ce qui a été proposé et imaginé jusqu'à ce jour au sujet des fontaines de Bordeaux, et je serai bien étonné si le pouce d'eau revenait à plus de trois ou quatre mille francs.

Telles sont les idées que j'ai l'honneur de soumettre avec confiance à l'examen de messieurs les président et membres du conseil municipal de la ville de Bordeaux.

Bordeaux, le 3 décembre 1845.

N. B. Cette esquisse sur les fontaines de Bordeaux a été déposée par l'auteur le 3 décembre 1845, dans les mains de M. le maire, qui en entendit la lecture avec intérêt, pour être mise sous les yeux du conseil municipal de la ville de Bordeaux.

Cet exposé était sous presse, lorsque après cinq années, je reçus une réponse que je m'empresse de mettre sous les yeux de mes lecteurs pour les tenir au courant de cette importante affaire pour la cité de Bordeaux.

Bordeaux, le 26 février 1850.

Monsieur,

Le conseil municipal vient de reprendre définitivement la question des eaux et fontaines publiques.

Parmi les pièces qui composent le dossier de cette affaire, nous avons trouvé une lettre du 1^{er} décembre 1845, par laquelle vous annoncez que vous avez fait une découverte à ce sujet, et que vous êtes prêt à soumettre vos idées à l'examen de la commission du conseil.

J'ai l'honneur de vous demander si vous êtes encore dans les mêmes dispositions, et dans le cas de l'affirmative, je vous prie, soit

de rédiger vos propositions, soit de venir à Bordeaux pour expliquer verbalement votre projet à la commission.

Agrérez, monsieur, l'assurance de ma considération distinguée,

Le maire de Bordeaux,

M. GAUTIER.

Au vu de cette missive, présumant toujours, avec toute la sincérité qui me caractérise, que l'idée que j'ai émise sur la possibilité de fournir à la ville de Bordeaux abondamment de l'eau et à bon marché, était praticable, je m'empressai d'adresser à M. le maire la lettre qu'on va lire, et qui est l'explication succincte de mon système économique de cet établissement.

Paris, le 7 mars 1850.

A MONSIEUR LE MAIRE DE BORDEAUX.

Monsieur le maire,

Je reçois à l'instant votre missive du 26 février, après être passée par Marmande et Tulle, domiciles que j'ai quittés pour me fixer dans la capitale, où je m'occupe de la publication d'un traité d'architecture hydraulique qui va paraître dans les premiers jours du mois d'avril prochain.

Dans cette situation, vous comprendrez que je ne puis me rendre au sein de la commission pour lui expliquer mes idées sur le projet des fontaines de votre ville que j'ai conçu : mais je vais tâcher d'y suppléer en vous envoyant copie de l'esquisse de ce projet, qui devrait pourtant se trouver dans le dossier avec ma lettre du 1^{er} décembre 1845, et voici comment :

Le 1^{er} décembre 1845, j'ai communiqué à M. Samuel de Laffore, alors ingénieur en chef des ponts et chaussées dans votre département, l'esquisse d'un projet de fontaine de la ville de Bordeaux. Cet ingénieur, qui est compétent sur cette matière, vit dans cet aperçu une idée neuve et féconde, joignant l'économie à la convenance, et m'engagea à écrire de suite une lettre à M. le maire de Bordeaux, pour lui communiquer mon travail.

Ce qui fut dit fut fait, et M. de Laffore se rendit immédiatement chez M. le maire lui porter ma lettre, et obtint de ce magistrat une audience pour le 3 à deux heures de relevée.

Le 3 décembre 1845, accompagné de M. l'ingénieur en chef de Laffore, je fus reçu par M. le maire, l'honorable M. Duffour Duvergier, dans son cabinet à l'hôtel de ville, où je lui donnai lecture de mon projet. Il parut y porter le plus grand intérêt, et me pria de lui laisser mon écrit; ce que je m'empressai de faire : mais depuis je n'ai eu d'autre nouvelle que votre lettre.

La copie que je vous envoie est conforme à la première, et j'appelle principalement l'attention de la commission sur mon idée, qui consiste à ne pas aller chercher au loin ce qu'on a infailliblement sous la main, et que le même établissement qui fournit le feu dans votre cité peut aussi lui fournir l'eau sans augmentation de frais pour l'agent principal de la force motrice destinée à élever l'eau à une hauteur convenable pour qu'elle se distribue dans tous les quartiers.

Mon idée est très-réalisable ; elle est neuve, et à ce titre elle pourra ne pas être bien comprise : c'est pourquoi je désire que vous me fassiez connaître les objections qu'on m'opposera dans le sein de la commission, pour que je puisse les relever si c'est possible. Le fond de mon idée est que le même établissement peut fournir le feu et l'eau nécessaires à toute la ville de Bordeaux, et à des conditions avantageuses : telle est la solution du problème que je crois avoir trouvée.

Déjà la ville a traité avec une compagnie qui lui fournit le feu ; pourquoi, considérant l'eau sur le même pied que le feu, la ville ne traiterait-elle pas avec la même compagnie pour la fourniture de toute l'eau dont elle aurait besoin ?

Dans mon système, on voit que je ne fais qu'un de l'eau et du feu, et que si l'établissement qui fournit le feu appartient à une industrie privée, l'établissement qui fournit l'eau doit aussi appartenir à la

même industrie privée, parce que dans ma pensée les deux établissements ne doivent en former qu'un et ne présenter qu'un seul et même intérêt.

Mon système, que je crois très-praticable sous le rapport de l'exécution, consisterait à ce que la ville traitât pour la fourniture de l'eau avec la compagnie qui lui fournit le feu.

En définitive, c'est une idée qu'il y a avantage à expérimenter avant de la condamner; et dans le cas d'une expérimentation, je désire en être chargé, comme auteur de l'idée, et à cet effet je me mets à la disposition de la commission à partir de la deuxième quinzaine d'avril prochain.

Dans l'obligation de clore cet ouvrage, que je reconnais au-dessus de mes forces, j'ai eu l'idée, comme on dit, de frapper le fer tant qu'il est chaud, et à cet effet j'ai écrit à une personne honorable de Bordeaux pour savoir ce qui avait transpiré dans les bureaux de la mairie au sujet de l'idée des fontaines que j'avais posée, et voici ce qu'on me mande à cet égard :

« Le conseil n'a pas encore pris de détermination au sujet de votre » projet des fontaines, mais on vous fera connaître sa résolution : » toutefois les journaux annoncent que la commission est allée visiter » une source d'eau vive à Eyrines; cependant des personnes qui vous » portent intérêt sans vous connaître, pensent que si votre système est » bon, vous seriez encore à temps de le faire adopter; mais il faudrait » le faire appuyer par quelque homme capable de le faire apprécier : » c'est en définitive le conseil qu'on vous donne. »

Si l'honorable ingénieur en chef, M. de Laffore, qui me porte le plus vif intérêt, administrait encore le département de la Gironde, je le prierais de se présenter au sein de la commission des travaux publics pour lui faire apprécier tous les avantages de mon projet, et je ne doute pas que sa démarche ne fût couronnée de succès. Quoi qu'il en soit, je ne vois pas d'autre parti à prendre que d'attendre. Mais toujours est-il, à mon point de vue, qu'on n'a qu'à frapper du pied la terre dans les environs de Bordeaux pour en faire jaillir d'abondantes fontaines, et cette vérité est si évidente par elle-même qu'elle n'a pas besoin d'être démontrée; c'est pourquoi cette idée vaut bien la peine

d'être prise en considération, avant de la condamner, par les avantages immenses qu'elle présente sur tout autre système qui a l'inconvénient d'aller chercher bien loin, à travers mille difficultés d'exécution, des sources d'eau vive qu'on a sous la main. Aussi j'ai confiance que la commission, qui n'a en vue que le bien public, examinera à fond l'idée que je lui ai soumise, et qu'elle l'accueillera favorablement si elle lui paraît réalisable.

CHAPITRE XXVIII.

DES IRRIGATIONS.

Il est naturel qu'après avoir traité dans le chapitre qui précède de la théorie des sources et de leur application aux usages de la vie, nous nous servions encore de ces mêmes sources pour fertiliser les contrées qu'elles traversent.

Le gouvernement de la République, dans sa paternelle sollicitude pour donner au peuple une plus grande somme de bien-être, vient de prendre l'initiative, et à cet effet des ingénieurs ont été envoyés dans tous les départements. Il appartient aux propriétaires de seconder de tous leurs efforts et de toutes leurs ressources l'administration publique dans cette nouvelle branche d'amélioration de notre agriculture, qui est destinée à porter l'abondance dans toutes les contrées qui en feront une sage et heureuse application.

Bien que les cours d'eau torrentiels portent dans les inondations le désordre et la dévastation sur les rivages qu'ils arrosent, rentrés dans leur lit, ils sont destinés à rendre la vie et l'abondance à ces mêmes contrées qu'ils viennent de dévaster, si les propriétaires ont eu l'heureuse idée de pratiquer de loin en loin et dans toute l'étendue de leur cours des prises d'eau par des rigoles convenablement établies qui viennent fertiliser des champs arides qui ne produisaient que des ronces, en les changeant en d'abondants pâturages.

Pour faire avec fruit l'étude d'un système d'irrigation de toute une contrée, il convient de rapporter sur des cartes destinées à cet effet, telles que celles de Cassini, toutes les sources et cours d'eau ; d'avoir

des nivellements exacts de leur chute dans toute l'étendue de leur parcours, de connaître leur volume d'eau par seconde pendant les inondations, et principalement pendant les grandes sécheresses, parce que c'est pendant cette saison qu'elles sont le plus utiles aux irrigations.

Les pays de montagnes se prêtent bien mieux aux irrigations que les vastes plaines : cela tient à ce que les cours d'eau y sont plus multipliés, et leur chute y est plus considérable que dans les plaines, pour pratiquer un plus grand nombre de prises d'eau. Aussi les frais d'irrigation y sont peu coûteux, rapprochés de ceux qu'exigent les prises d'eau et canaux d'irrigation des pays de plaine. Cela tient à ce que, dans ces dernières contrées, la pente des ruisseaux et des rivières qui les traversent est très-minime, et que pour pratiquer des prises d'eau il faut remonter bien avant vers la source, et construire à travers mille obstacles plus ou moins insurmontables les canaux d'irrigation : ces canaux seront très-coûteux, et la solution que présente leur exécution dépend de la question de savoir si les avantages ou les plus-values qu'ils procureront aux terrains arrosés compenseront les sacrifices que leur construction aura imposés au pays.

Les irrigations sont destinées à créer un double bienfait, le premier par l'abondance des fourrages qui en résultera, le propriétaire augmentera le produit de ses bestiaux, qui feront sa richesse ; et le deuxième aura pour conséquence de la multiplicité des bestiaux leur bon marché, et partant la diminution de la viande, qui descendra à un tel prix qu'elle deviendra la nourriture quotidienne du pauvre comme du riche.

C'est donc avec reconnaissance que nous devons tous accepter comme un bienfait cette initiative des irrigations prise par le gouvernement, et nous devons tous le seconder de nos efforts dans cette œuvre, qui a pour but la richesse du pays par une production plus considérable de bestiaux, et le bien-être du peuple en mettant tous les jours sur la table du moins riche un plat de viande qu'il viendra à ne pas payer plus cher que le simple morceau de pain noir qu'il mange aujourd'hui.

Cependant, quoique l'État ait pris la résolution de faire dans chaque département l'étude complète d'un système d'irrigation, les propriétaires voisins de cours d'eau ne doivent pas demeurer les bras

croisés et attendre des instructions. Ils doivent au contraire concerter ensemble leurs efforts pour faire des prises d'eau convenablement dirigées ; et pour ne pas marcher en aveugles dans cette entreprise , nous leur conseillons de prendre des renseignements auprès des ingénieurs chargés des irrigations , qui s'empresseront de leur donner d'excellents conseils et d'utiles leçons pour amener à bonne fin et à bon marché les irrigations de leurs héritages.

En général, le système des irrigations consiste à diriger au meilleur marché possible des eaux sur un terrain qui n'en possède pas , à l'effet de convertir en prairie ce sol aride et improductif. Comme tout le monde le sait , pour amener les eaux d'un point à un autre , il faut s'assurer que ce dernier point est situé à un niveau plus bas que le premier. L'eau , par sa nature , tend toujours à descendre pour se mettre de niveau. Dans le premier cas , en partant de la source elle forme les ruisseaux , les rivières et les fleuves , et dans le deuxième elle forme les étangs , les lacs et la mer.

Ces principes posés , il sera toujours praticable d'arroser les contrées qui bordent les ruisseaux et les rivières en ouvrant des prises d'eau à l'amont pour les faire serpenter par des rigoles bien combinées à travers toute l'étendue des champs arides qu'on veut convertir en gras paturages.

Il n'en est pas de même des pays éloignés de tous cours d'eau , étangs , lacs , etc. , où les difficultés d'irrigation sont bien plus nombreuses et souvent impraticables. Ces pays sont montagneux ou ils forment d'immenses plaines : s'ils sont dans la première condition , voici comment il faut traiter les irrigations.

Tous les propriétaires doivent tourner leurs regards vers les eaux de pluie. Ils doivent étudier de concert tous les accidents de terrain , ainsi que les versants des eaux de pluie , pour trouver dans toute leur contrée le lieu le plus convenable à recevoir en réserve une quantité d'eau de pluie et de fonte de neige , qui sera distribuée pendant les sécheresses sur les terrains inférieurs qu'on pourra convertir en prairies.

Le lieu étant choisi pour le réservoir , on le dispose de manière à contenir toutes les eaux nécessaires à l'irrigation de tous les terrains à arroser , et pour que les eaux manquent le moins possible dans ce réservoir , on doit pratiquer dans les environs le plus grand nombre

possible de rigoles, à l'effet de conduire dans le réservoir la plus grande quantité d'eau.

S'ils sont dans la deuxième condition, c'est-à-dire de vastes plaines, il faut, comme pour les contrées montagneuses privées d'eaux, avoir recours aux eaux de pluie et de neige. A cet effet, tous les propriétaires du plateau qui se trouve dans ces conditions doivent concerter tous leurs soins pour réunir dans un ou plusieurs réservoirs toutes les eaux de pluie et de neige du plateau et du pays le plus élevé qui l'avoisine, et pour placer dans ces réservoirs des pompes aspirantes mues par le vent au moyen d'un système d'ailes comme les moulins à vent. On peut encore creuser des citernes de distance en distance, et y placer des pompes comme nous venons de l'expliquer; à défaut du vent, on peut disposer ces pompes de manière à recevoir un manège pour être mues par les bestiaux, ou par les chevaux.

Pour les contrées voisines des étangs et des lacs, les propriétaires peuvent parvenir à arroser leurs héritages au moyen d'un système de pompes pareil à celui de l'article précédent. On sait que les pompes jouissent de la propriété d'aspirer l'eau à 40^m,66 au-dessus de son niveau; c'est-à-dire qu'une pompe ne peut fonctionner avec succès que lorsque le piston n'est placé qu'à 40^m,66 au-dessus du niveau de l'eau qu'on veut élever; mais la conduite de l'eau au-dessus de l'orifice du piston peut avoir une issue ascendante, dont la limite d'ascension doit être en rapport avec la puissance du moteur. Par ce moyen on peut arriver, à peu de frais, à arroser une grande étendue de pays.

Pour les contrées voisines des ruisseaux et des rivières, dont les courants sont forts et rapides, on peut construire, pour élever l'eau nécessaire aux irrigations, une roue hydraulique à palettes ou à aube qui fait fonctionner une pompe à chapelet ou à godets.

Telles sont les idées que je possède sur les irrigations, ainsi que les moyens de les mettre en pratique. Bien des personnes en ont déjà fait l'expérience et ont obtenu de bons résultats: c'est pourquoi je les sou mets avec confiance à la sage et prudente appréciation des propriétaires des campagnes pour qu'ils en fassent leur profit suivant leurs besoins; et je désire de tout mon cœur que l'expérience qu'ils en feront leur soit profitable: ce sera ma plus grande satisfaction.

CHAPITRE XXIX.

MARCHÉS DES ENTREPRENEURS DE TRAVAUX PUBLICS.

Comme j'ai spécialement destiné ce traité à mes anciens camarades, les conducteurs des ponts et chaussées, et à mes collègues, les entrepreneurs de travaux publics, j'ai pensé leur être très-utile en consacrant ce dernier chapitre aux clauses et conditions générales.

Clauses et conditions générales imposées aux entrepreneurs des travaux dépendant du service des ponts et chaussées.

ARTICLE 1^{er}. Nul ne sera admis à concourir aux adjudications, s'il n'a les qualités requises pour entreprendre les travaux et en garantir le succès. A cet effet, chaque concurrent sera tenu de fournir un certificat constatant sa capacité, et de présenter un acte régulier, ou au moins une promesse valable de cautionnement. Il ne sera pas exigé de certificat de capacité pour les fournitures de matériaux destinés à l'entretien des routes, ni pour les travaux de terrassement, dont l'estimation ne s'élèvera pas à plus de 15,000 francs. (*Art. 9 de l'ordonnance royale du 10 mai 1829.*)

Le certificat devra avoir été délivré dans les trois ans qui précéderont l'adjudication. Il contiendra l'indication des travaux exécutés ou suivis par l'entrepreneur, ainsi que la justification de l'accomplissement des engagements qu'il aurait contractés.

ART. 2. Le montant du cautionnement n'excédera pas le trentième de l'estimation des travaux, déduction faite de toutes les sommes portées à valoir pour cas imprévus, indemnités de terrains et ouvrages en régie.

Ce cautionnement sera mobilier ou immobilier, à la volonté des soumissionnaires. Les valeurs mobilières ne pourront être que des effets publics ayant cours sur la place. (*Art. 20 de la même ordonnance.*)

ART. 3. Si en homologuant l'adjudication, l'administration ordonne quelques changements au projet ou au devis, l'entrepreneur devra s'y conformer, et il lui sera fait état de la valeur de ces changements, soit en plus, soit en moins, au prorata des prix de l'adjudication, sans qu'il puisse, en cas de réduction, réclamer aucune indemnité à raison des prétendus bénéfices qu'il aurait pu faire sur les fournitures et la main-d'œuvre.

Néanmoins, lorsque ces changements dénatureront fortement le projet, en opérant sur le prix total une différence de plus d'un sixième en plus ou en moins, l'entrepreneur sera libre de retirer sa soumission.

Il ne pourra prétendre à aucune indemnité dans le cas où l'adjudication ne serait pas approuvée.

ART. 4. Pour que les travaux ne soient pas abandonnés à des spéculateurs inconnus ou inhabiles, l'entrepreneur ne pourra céder tout ou partie de son entreprise : si l'on venait à découvrir que cette clause a été éludée, l'adjudication pourrait être résiliée, et, dans ce cas, il serait procédé à une nouvelle adjudication à la folle enchère de l'entrepreneur.

ART. 5. Pendant la durée entière de l'entreprise, l'adjudicataire ne pourra s'éloigner du lieu des travaux que pour affaires relatives à son marché, et qu'après en avoir obtenu l'autorisation. Dans ce cas, il choisira et fera agréer un représentant capable de le remplacer, et auquel il aura donné pouvoir d'agir pour lui et de faire les paiements aux ouvriers, de manière qu'aucune opération ne puisse être retardée ou suspendue pour raison de l'absence de l'entrepreneur.

ART. 6. A l'époque fixée par l'adjudication, l'entrepreneur mettra la main à l'œuvre; il entretiendra constamment un nombre suffisant d'ouvriers; il exécutera tous les ouvrages, en se conformant strictement

ment aux plans, profils, tracés, instructions et ordres de service qui lui seront donnés par les ingénieurs ou leurs préposés.

Il lui sera préalablement délivré par le préfet des expéditions en bonne forme du procès-verbal d'adjudication, du devis et du détail estimatif.

ART. 7. Il se conformera, pendant le cours du travail, aux changements qui lui seront ordonnés *par écrit*, et sous la responsabilité de l'ingénieur, pour des motifs de convenance, d'utilité ou d'économie, et il lui en sera fait compte, suivant les dispositions de l'article 3; mais il ne pourra de lui-même, et sous aucun prétexte, apporter le plus léger changement au projet ou au devis.

ART. 8. Dans le cas d'adjudication en continuation d'ouvrages, si l'entrepreneur sortant juge à propos de garder pour son compte les matériaux par lui approvisionnés en vertu d'ordres des ingénieurs et non soldés par l'administration, ainsi que ses propres outils et équipages, il sera tenu d'évacuer, dans le délai qui aura été fixé par le devis, tous les chantiers, magasins et emplacements publics. Si, au contraire, il a déclaré vouloir céder tout ou partie des objets ci-dessus indiqués, l'entrepreneur entrant sera tenu d'accepter les matériaux au prix de la nouvelle adjudication et sur un état dressé contradictoirement entre les deux entrepreneurs, et en supposant toutefois qu'on ait reconnu à ces matériaux les qualités requises.

Les outils et équipages seront payés de gré à gré ou à dire d'experts.

ART. 9. Lorsque le devis n'indiquera pas de carrières ou sablières appartenant à l'État, l'entrepreneur en ouvrira, à ses frais, dans les lieux indiqués par le devis; il sera tenu de prévenir les propriétaires avant de commencer les extractions, et de les dédommager de gré à gré ou à dire d'experts, conformément aux lois et règlements sur la matière; il devra représenter, toutes les fois qu'il en sera requis, le traité qu'il aura fait avec eux.

Il payera, sans recours contre l'administration, tous les dommages que pourront occasionner la prise, le transport ou le dépôt des matériaux.

Il en sera de même des dommages pour établissement de chantiers, chemins de service et autres indemnités temporaires qui font partie des charges et faux frais de l'entreprise.

L'entrepreneur ne sera entièrement soldé et ne pourra recevoir le montant de la retenue pour garantie dont il est parlé dans l'article 35, qu'après avoir justifié, par des quittances en forme, qu'il a payé les indemnités et dommages mis à sa charge.

Dans le cas où le devis prescrirait d'extraire les matériaux dans les bois soumis au régime forestier, l'entrepreneur devra se conformer, sans recours en indemnité contre l'administration des ponts et chaussées, aux obligations résultant pour lui de l'article 145 du Code forestier, ainsi que des articles 172, 173 et 175 de l'ordonnance royale du 4^{er} août 1827, concernant l'exécution de ce Code.

Si, pendant la durée de l'entreprise, il était reconnu indispensable de prescrire à l'entrepreneur d'extraire des matériaux dans des lieux autres que ceux qui auraient été prévus au devis, les ingénieurs établiront de nouveaux prix d'extraction et de transport d'après les éléments de l'adjudication. Ces changements, après avoir été soumis à l'approbation du préfet, seront signifiés à l'entrepreneur, qui, en cas de refus, devra déduire ses motifs dans le délai de dix jours, et il sera statué ensuite par l'administration ce qu'il appartiendra. Dans ce même cas de refus, l'administration aura le droit de considérer l'extraction et le transport desdits matériaux comme ne faisant pas partie de l'entreprise.

Si l'entrepreneur parvenait à découvrir de nouvelles carrières plus rapprochées que celles qui auraient été indiquées au devis, et offrant des matériaux d'une qualité au moins égale, il recevra l'autorisation de les exploiter, et il ne subira sur les prix de l'adjudication aucune déduction pour cause de diminution de frais d'extraction, de transport et de taille des matériaux.

L'entrepreneur ne pourra, en aucun cas, livrer au commerce les matériaux qu'il aura fait extraire dans une carrière qui ne lui appartiendrait pas, attendu que le droit d'exploitation ne lui a été conféré qu'en sa qualité d'entrepreneur de travaux publics et pour un objet déterminé.

ART. 10. L'entrepreneur sera tenu, indépendamment des indemnités mentionnées à l'article précédent, de fournir à ses frais les magasins, équipages, voitures, ustensiles et outils de toute espèce, sauf les exceptions qui seront stipulées au devis.

Seront également à sa charge les frais de tracé d'ouvrages, les cor-

deaux, piquets et jalons, et généralement tout ce qui constitue les faux frais et menues dépenses dont un entrepreneur n'est pas admis à compter.

ART. 11. Au moyen des prix consentis et approuvés, l'entrepreneur fera l'achat, la fourniture, le transport à pied d'œuvre, la façon, la pose et l'emploi de tous les matériaux.

Il soldera les salaires et peines d'ouvriers, les commis et autres agents dont il pourra avoir besoin pour assurer la bonne et solide exécution des ouvrages.

Il ne pourra, sous aucun prétexte d'erreur ou d'omission dans la composition des prix de sous-détail, revenir sur les prix par lui consentis, attendu qu'il a dû s'en rendre préalablement un compte exact, et qu'il est censé avoir refait et vérifié tous les calculs d'appréciation.

Mais il pourra réclamer, s'il y a lieu, contre les erreurs de métrés ou de dimensions d'ouvrages.

ART. 12. Les matériaux proviendront des lieux indiqués au devis ; ils seront de la meilleure qualité, parfaitement travaillés et mis en œuvre, conformément aux règles de l'art. On ne pourra les employer qu'après qu'ils auront été visités par l'ingénieur. En cas de surprise, de mauvaise qualité ou de malfaçon, ils seront rebutés et remplacés aux frais de l'entrepreneur. Toutefois, si l'entrepreneur conteste les faits, l'ingénieur dressera immédiatement procès-verbal des circonstances de cette contestation : l'entrepreneur pourra consigner à la suite du procès-verbal, qui devra lui être communiqué, les observations qu'il se croira en droit de présenter. Il sera statué ensuite par l'administration ce qu'il appartiendra.

ART. 13. Lorsque les ingénieurs présumeront qu'il existe dans les ouvrages des vices d'exécution, ils ordonneront, soit en cours d'exécution, soit avant la réception finale, la démolition et la reconstruction des ouvrages présumés vicieux.

Les dépenses résultant de cette vérification seront à la charge de l'adjudicataire, lorsque les vices de construction auront été constatés et reconnus.

En cas de contestation de l'entrepreneur sur les vices d'exécution, il sera procédé comme il a été dit ci-dessus, article 12.

ART. 14. En général, tous les matériaux auront les dimensions prescrites par le devis.

Si l'entrepreneur leur donne des dimensions plus fortes, il ne pourra réclamer aucune augmentation de prix ; les métrages et les pesées seront basés sur les dimensions du devis, et néanmoins les pièces qui seraient jugées nuisibles ou difformes seraient enlevées et remplacées aux frais de l'entrepreneur.

Dans le cas de dimensions plus faibles, les prix seront réduits en proportion, et néanmoins les pièces dont l'emploi serait reconnu contraire au goût et à la solidité seraient également enlevées et remplacées aux frais de l'entrepreneur.

Dans tous les cas, l'entrepreneur ne pourra employer aucune pièce ni aucune matière qui ne serait pas des dimensions ou du poids prescrits par les devis, sans l'autorisation écrite de l'ingénieur.

ART. 15. Il pourra être accordé des à-compte sur les prix des matériaux approvisionnés, jusqu'à concurrence des quatre cinquièmes de leur valeur. On ne regardera comme approvisionnés que les matériaux déposés sur l'atelier, et, dès ce moment, l'entrepreneur ne pourra les détourner pour un autre service sans une autorisation par écrit.

ART. 16. Si, aux termes du devis, l'entrepreneur est tenu de démolir d'anciens ouvrages, les matériaux seront déplacés avec attention, pour pouvoir être réparés et remis en place, s'il y a lieu, avec les mêmes précautions que les matériaux neufs. Dans le cas où les démolitions n'auraient pas été prévues, il en sera tenu compte à l'entrepreneur dans les formes prescrites ci-après, article 22.

ART. 17. Toutes les fois que, par des motifs d'économie ou de célérité, on croira devoir employer des matières neuves ou de démolition appartenant à l'État, l'entrepreneur ne sera payé que des frais de main-d'œuvre et d'emploi, sans pouvoir répéter de dommages pour manque de gain sur les fournitures supprimées.

ART. 18. L'entrepreneur aura soin de ne choisir pour commis, maîtres et chefs d'atelier, que des gens probes et intelligents, capables de l'aider et même de le remplacer, au besoin, dans la conduite et le métrage des travaux.

Il choisira également les ouvriers les plus habiles et les plus expérimentés, et néanmoins, il demeurera responsable en son propre et privé nom, comme en celui de sa caution, des fraudes ou malfaçons que ses agents pourront commettre sur les fournitures, la qualité et l'emploi des matériaux, sous les peines indiquées à l'article 12.

ART. 19. L'ingénieur aura le droit d'exiger le changement ou le renvoi des agents et ouvriers de l'entrepreneur, pour cause d'insubordination, d'incapacité, ou de défaut de probité.

ART. 20. Le nombre des ouvriers, de quelque espèce qu'ils soient, sera toujours proportionné à la quantité d'ouvrages à faire; et, pour mettre l'ingénieur à même d'assurer l'accomplissement de cette condition et de reconnaître les individus, il lui en sera remis périodiquement, et aux époques qu'il aura fixées, une liste nominative.

ART. 21. Lorsqu'un ouvrage languira faute de matériaux, ouvriers, etc., de manière à faire craindre qu'il ne soit pas achevé aux époques prescrites, ou que les fonds crédités ne puissent pas être consommés dans l'année, le préfet, dans un arrêté qu'il notifiera à l'entrepreneur, ordonnera l'établissement d'une régie aux frais dudit entrepreneur, si, à une époque fixée, il n'a pas satisfait aux dispositions qui lui seront prescrites.

A l'expiration du délai, si l'entrepreneur n'a pas satisfait à ces dispositions, la régie sera organisée immédiatement et sans autre formalité. Il en sera aussitôt rendu compte au directeur général qui, selon les circonstances de l'affaire, pourra ordonner la continuation de la régie aux frais de l'entrepreneur, ou prononcer la résiliation du marché et ordonner une nouvelle adjudication sur folle enchère.

Dans ces divers cas, les excédants de prix de dépenses seront prélevés sur les sommes qui pourront être dues à l'entrepreneur, sans préjudice des droits à exercer contre lui et sa caution, en cas d'insuffisance.

Si la régie ou l'adjudication sur folle enchère amenait au contraire une diminution dans les prix et les frais des ouvrages, l'entrepreneur ou sa caution ne pourront réclamer aucune part de ce bénéfice, qui resterait acquis à l'administration.

ART. 22. Lorsqu'il sera jugé nécessaire d'exécuter des parties d'ouvrages non prévues par le devis, les prix en seront réglés d'après ceux de l'adjudication, par assimilation aux ouvrages les plus analogues. Dans le cas d'une impossibilité absolue d'assimilation, les prix seront réglés sur estimation contradictoire, en prenant pour termes de comparaison les prix courants du pays.

Lorsque ces travaux devront être de quelque importance, il en sera

fait un avant-métré, que l'entrepreneur acceptera, tant pour les prix proposés que pour l'indication des ouvrages, par une soumission particulière qui sera présentée à l'approbation de l'administration.

ART. 23. S'il y a lieu de faire des épuisements qui n'auraient pas été mis par le devis à la charge de l'entrepreneur, les dépenses y relatives seront constatées par attachement et sur des contrôles tenus sous la surveillance de l'ingénieur. Elles seront acquittées régulièrement par l'entrepreneur, à la fin de chaque semaine, aux conditions portées en l'article suivant.

ART. 24. Tous les paiements pour épuisements, ouvrages par attachement, indemnités et autres articles imputés sur la somme à valoir, seront remboursés à l'entrepreneur avec un quarantième en sus pour le dédommager de ses avances de fonds. A cet effet, il sera tenu de payer à vue, en présence d'un employé désigné par l'ingénieur, les rôles ou états qui seront dressés pour le compte des travaux, et de les faire quittance par les parties prenantes, avant de pouvoir en demander le remboursement.

Deux quarantièmes lui seront en outre alloués pour ceux desdits articles qui nécessiteront de sa part des outils, soins, frais de conduite des travaux, fournitures et entretien de machines.

ART. 25. Sont exceptés des dispositions ci-dessus, les paiements qu'on pourrait être obligé de faire par l'intermédiaire de l'entrepreneur, mais qui n'exigeraient réellement de sa part aucune avance de fonds, et pour lesquels conséquemment il ne sera alloué aucune rétribution.

ART. 26. Il ne sera alloué à l'entrepreneur aucune indemnité à raison des pertes, avaries ou dommages occasionnés par négligence, imprévoyance, défaut de moyens ou fausses manœuvres. Ne sont pas compris toutefois dans la disposition précédente, les cas de force majeure qui, dans le délai de dix jours après l'événement, auraient été signalés par l'entrepreneur : dans ces cas, néanmoins, il ne pourra être rien alloué qu'avec l'approbation de l'administration. Passé le délai de dix jours, l'entrepreneur ne sera plus admis à réclamer.

ART. 27. L'entrepreneur, soit par lui-même, soit par ses commis, visitera les travaux aussi souvent que pourra le réclamer le bien du service. Il justifiera de ces visites et accompagnera les ingénieurs dans leurs tournées, toutes les fois qu'il en sera requis.

ART. 28. Il surveillera, dans l'étendue de son entreprise, les propriétaires riverains et les cultivateurs qui se permettraient de labourer et de planter trop près des routes, canaux et autres propriétés publiques, ou qui détérioreraient les bornes, talus, fossés et plantations. Il avertira sur-le-champ les ingénieurs des contraventions qu'il apercevrait à cet égard, comme aussi de celles qui consisteraient en des dépôts de bois et de fumier, ou autres encombrements quelconques, ainsi que des anticipations qui seraient faites sur le domaine de la voie publique.

ART. 29. L'ingénieur en chef fera tous les règlements nécessaires pour le bon ordre des travaux ou pour l'exécution des clauses du devis. Ces règlements seront visés par le préfet, lorsqu'il aura été reconnu par ce magistrat qu'ils n'imposent pas de nouvelles charges à l'entrepreneur, pour lequel dès lors ils seront obligatoires.

ART. 30. S'il survient quelque difficulté entre l'ingénieur ordinaire et l'entrepreneur, au sujet de l'application des prix ou des métrages, il en sera référé à l'ingénieur en chef, qui appliquera les règles admises dans le service des ponts et chaussées. Dans aucun cas, l'entrepreneur ne pourra invoquer en sa faveur les us et coutumes, auxquels il est formellement dérogé par le présent article.

ART. 31. Toutes les dimensions d'ouvrages, tous les prix, salaires et dépenses, seront calculés d'après le système légal des poids et mesures.

ART. 32. Les métrages généraux et partiels, les états d'attachement, les états de dépense, les états de situation et les procès-verbaux de réception, devront être communiqués à l'entrepreneur et acceptés par lui. En cas de refus, il déduira par écrit ses motifs dans les dix jours qui suivront la présentation desdites pièces, et, dans ce cas seulement, il sera dressé procès-verbal de l'acte de présentation et des circonstances qui l'auront accompagné. Un plus long délai mettrait souvent dans l'impossibilité de rechercher et de constater les causes d'erreur qui auraient pu donner lieu à quelques réclamations. En conséquence, il est expressément stipulé que l'entrepreneur ne sera jamais admis à élever de réclamations au sujet des pièces ci-dessus indiquées après le délai de dix jours, et que, passé ce délai, lesdites pièces seront censées acceptées par lui, quand bien même il ne les aurait pas signées. Le procès-verbal de présentation devra toujours

être joint à l'appui des pièces qui n'auront pas été acceptées.

ART. 33. Indépendamment de la communication des pièces énoncées dans l'article précédent, l'entrepreneur sera autorisé à s'en procurer des expéditions, qu'il pourra faire transcrire par ses propres commis dans les bureaux de l'ingénieur en chef ou dans ceux de la préfecture.

ART. 34. Les paiements d'à-compte pour ouvrages faits s'effectueront en raison de l'avancement des travaux, en vertu des mandats du préfet expédiés sur les certificats de l'ingénieur en chef, d'après les états fournis par l'ingénieur ordinaire, jusqu'à concurrence des neuf dixièmes de la dépense, et déduction faite des à-compte qui auront pu être délivrés sur les approvisionnements avant leur emploi.

Les paiements ne pouvant être faits qu'au fur et à mesure des ordonnances et des fonds disponibles, il ne sera jamais alloué d'indemnité, sous aucune dénomination, pour retard de paiement pendant l'exécution des travaux.

Toutefois, si les travaux étant définitivement reçus, l'entrepreneur ne pouvait pas être entièrement soldé à l'expiration du délai de garantie, il pourra prétendre à des intérêts pour cause de retard de paiement de la somme qui lui restera due à dater de cette époque.

ART. 35. Le dernier dixième ne sera payé à l'entrepreneur qu'après l'expiration du délai fixé pour la garantie des ouvrages, sauf les justifications préalables exigées par le quatrième paragraphe de l'article 9.

Immédiatement après l'achèvement des travaux, il sera procédé à leur réception provisoire, et la réception définitive n'aura lieu qu'après l'expiration du délai de garantie. Pendant ce délai, l'entrepreneur demeurera responsable de ses ouvrages, et sera tenu de les entretenir.

Ce délai de garantie sera de trois mois après la réception pour les travaux d'entretien, de six mois pour les terrassements et chaussées d'empierrement, d'un ou de deux ans pour les ouvrages d'art, suivant les stipulations du devis.

ART. 36. Dans le cas où l'administration ordonnerait la cessation absolue ou l'ajournement indéfini des travaux adjugés, l'entrepre-

neur pourra requérir qu'il soit procédé de suite à la réception provisoire des ouvrages exécutés, et à leur réception définitive après l'expiration du délai de garantie. Après la réception définitive, il sera, ainsi que sa caution, déchargé de toute garantie pour raison de son entreprise.

ART. 37. Si le dixième des dépenses est jugé devoir excéder la proportion nécessaire pour la garantie de l'entreprise, il pourra être stipulé au devis que la retenue cessera de croître, lorsqu'elle aura atteint un maximum déterminé.

ART. 38. Toutes les réceptions d'ouvrages seront faites par l'ingénieur en présence de l'entrepreneur, ou lui dûment appelé; par écrit; en cas d'absence, il en sera fait mention au procès-verbal.

ART. 39. Si, pendant le cours de l'entreprise, les prix subissaient une augmentation notable, le marché pourra être réalisé sur la demande qui en serait faite par l'entrepreneur; en cas de diminution notable, la résiliation du marché pourra être également prononcée, à moins que l'entrepreneur n'accepte les modifications qui lui seraient prescrites par l'administration.

Et dans le cas où, pendant le cours de l'entreprise, et sans changer et les charges et les prix, il serait ordonné par l'administration d'augmenter ou de diminuer la masse des travaux, l'entrepreneur sera tenu d'exécuter les nouveaux ordres, sans réclamation, à moins qu'il n'ait été autorisé à faire des approvisionnements de matériaux qui demeureraient sans emploi, et pourvu que les changements en plus ou en moins n'excèdent pas le sixième du montant de l'entreprise; auquel cas, il pourra demander la résiliation de son marché.

ART. 40. Dans le cas prévu par l'article 36, et dans celui où, conformément à l'article 39 et par suite d'une diminution notable dans le prix des ouvrages, l'administration aura prononcé la résiliation du marché, les outils et ustensiles indispensables à l'entreprise que l'entrepreneur ne voudra pas garder pour son compte, seront acquis par l'État, sur l'estimation qui en sera réglée de gré à gré, ou à dire d'experts, d'après la valeur première desdits outils et ustensiles et déduction faite de leur degré d'usure, le tout au taux du commerce, et sans augmentation de dixième ou de toute autre plus-value, sous prétexte de bénéfice présumé.

Les matériaux approvisionnés par ordre et déposés sur les travaux, s'il sont de bonne qualité, seront également acquis par l'État, au prix de l'adjudication.

Les matériaux qui ne seraient pas déposés sur les travaux, resteront au compte de l'entrepreneur ; mais tant pour cet objet que pour toutes autres réclamations, il pourra lui être alloué une indemnité qui sera fixée par l'administration, et qui, dans aucun cas, ne devra excéder le cinquantième du montant des dépenses restant à faire en vertu de l'adjudication.

ART. 41. L'entrepreneur payera comptant les frais relatifs à son adjudication, sur un état arrêté par le préfet. Ces frais ne pourront être autres que ceux d'affiches et de publications, ceux de timbre et d'expédition du devis du détail estimatif et du procès-verbal d'adjudication ; enfin, le droit d'enregistrement, fixé à un franc par la loi du 7 germinal an VIII, l'arrêté du 15 brumaire an XII, et le décret du 25 germinal an XIII.

ART. 42. Conformément aux dispositions du second paragraphe de l'article 4 de la loi du 17 février 1800 (18 pluviôse an VIII), toutes les difficultés qui pourraient s'élever entre les entrepreneurs de travaux publics et l'administration, concernant le sens ou l'exécution des clauses de leur marché, seront portées devant le conseil de préfecture, qui statuera, sauf recours au conseil d'État.

FIN.

Les ministères approuvés par ordre de dépenses sur les travaux, et il sont de bonne qualité, seront également soumis par l'Etat, au titre de l'adjudication, pour la fourniture de matériaux et de machines. Les matériaux qui ne seraient pas déposés sur les travaux, mais qui seraient destinés à être employés dans les travaux, ne seraient pas soumis à l'adjudication; mais tant pour ces objets que pour les autres, il pourra être alloué une indemnité pour les frais de l'adjudication, et qui, dans aucun cas, ne devra excéder le montant des dépenses relatives à l'adjudication.

Art. 45. L'entrepreneur payera comptant les frais relatifs à son adjudication, sur un état arrêté par le préfet. Ces frais ne pourront être autres qu'une somme d'actes et des publications, ceux de l'adjudication et ceux de la détermination de la somme à payer, et ceux de l'adjudication; enfin, le droit d'engagement, fixé à un franc par la loi du 7 germinal an VIII, l'article 15 de la loi du 12 pluviôse an XII, et la loi du 25 germinal an XIII.

Art. 46. Conformément aux dispositions du second paragraphe de l'article 2 de la loi du 17 février 1800 (18 pluviôse an VIII), toutes les difficultés qui pourraient s'élever, entre les entrepreneurs de travaux publics de l'administration, concernant la mise en location des clauses de leur marché, seront portées devant le conseil de préfecture; qui statuera, sans recourir au conseil d'Etat.

Art. 47. Les clauses de leur marché, qui ne seraient pas soumises à l'adjudication, et qui seraient de nature à être soumises à l'adjudication, seront soumises à l'adjudication, et les clauses de leur marché, qui ne seraient pas soumises à l'adjudication, et qui seraient de nature à être soumises à l'adjudication, seront soumises à l'adjudication.

ART. 48.

Art. 48. Les clauses de leur marché, qui ne seraient pas soumises à l'adjudication, et qui seraient de nature à être soumises à l'adjudication, seront soumises à l'adjudication, et les clauses de leur marché, qui ne seraient pas soumises à l'adjudication, et qui seraient de nature à être soumises à l'adjudication, seront soumises à l'adjudication.

TABLE DES MATIÈRES.

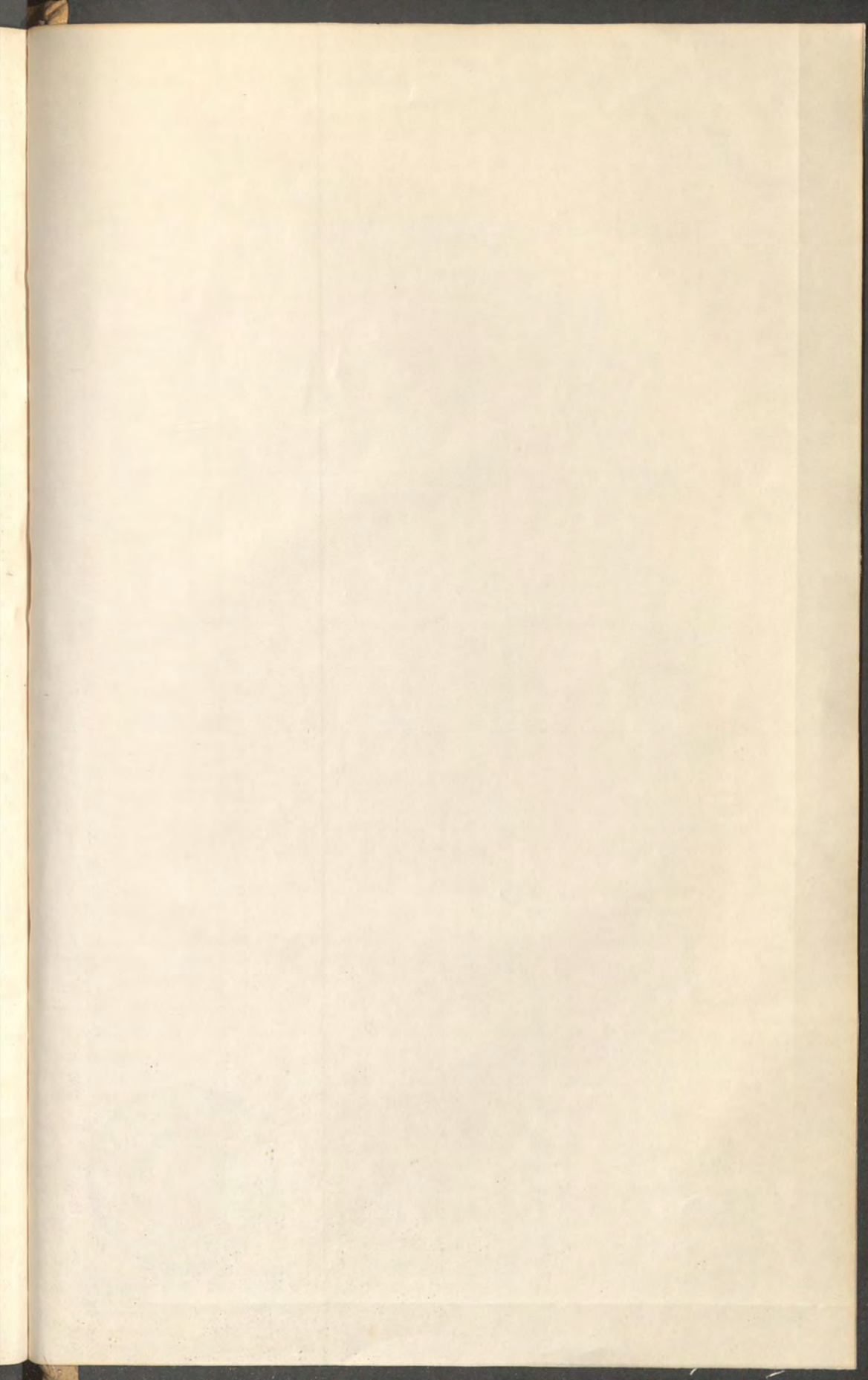
	Pages.
INTRODUCTION. — Exposé sommaire de ce traité de construction.	1
CHAPITRE PREMIER. — Du tracé des routes, chemins de fer et canaux.	5
Du tracé des courbes sur le terrain.	
1 ^{re} formule (Pl. 1, fig. 1).	6
2 ^e <i>id.</i> (<i>id.</i> 2).	7
3 ^e <i>id.</i> (<i>id.</i> 3).	8
4 ^e <i>id.</i> (<i>id.</i> 4).	10
Tableau servant à trouver la longueur d'un arc de cercle, la corde et la flèche de cet arc étant connues.	11
Exemple pour l'application de ce tableau.	13
De l'effet utile du cheval sur les routes ordinaires.	13
CHAPITRE II. — Du nivellement et du calcul des terrasses (Pl. 2).	16
Roulette.	23
Classification du terrain.	24
Appréciation des cours d'eau.	25
CHAPITRE III. — Bases essentielles pour dresser la série de prix de toutes sortes d'ou- vrages.	27
CHAPITRE IV. — Chaussées des routes ordinaires.	31
Chaussées pavées.	32
Chaussées d'empierrement dites à la Macadam.	32
Rapport fait à l'Académie des sciences sur le cylindre compresseur de M. Schattenmann.	34
Résultats de cylindrages faits dans les environs de Paris.	39
Résultats de cylindrages exécutés dans le département de la Corrèze.	41
Avis sur la manière de faire fonctionner le cylindre de M. Schattenmann (Pl. 3).	44
Instruction sur l'emploi du cylindre.	45
Comparaison des dépenses entre le nouveau et l'ancien système d'empierrement.	46
CHAPITRE V. — Entretien des empierrements.	48
Observations importantes.	50
CHAPITRE VI. — Connaissance des matériaux. Pierres.	52
Pierres calcaires.	53
Pierres gypseuses, scintillantes, grès.	53
Pierres meulières.	54
Sables.	54
Chaux.	54
CHAPITRE VII. — Emploi des pierres dans les constructions.	57
Instruction pratique pour essayer si les pierres sont gélives d'après le procédé de M. Brard.	58

	Pages.
CHAPITRE VIII. — DES MAÇONNERIES. — Mortiers et ciments (Pl. 4)	61
Béton	63
Maçonnerie de brique	67
Maçonnerie de pierre de taille, de moellon piqué et de moellon ordinaire, ou idée générale sur les maçonneries et motifs pour n'adopter désormais qu'un seul genre de maçonnerie, celui de moellon ordinaire	67
CHAPITRE IX. — De la propriété des matériaux, de leur pesanteur spécifique et de leur résistance appliquée aux constructions	72
De la pesanteur spécifique des matières	74
De la résistance des bois appliquée aux constructions. Résistance du bois de bout	77
Résistance du bois tiré par les deux bouts	77
Résistance du bois posé horizontalement sur deux appuis	78
Force des bois placés obliquement	79
De la force des fers et de leur résistance	80
Résistance des fontes de fer	81
Formules pour cuber les bois cylindriques et coniques	81
CHAPITRE X. — De la poussée des terres	83
Tableau dressé d'après la formule $X = h \times 0,213$	84
CHAPITRE XI. — DE LA POUSSÉE DES VOUTES, DE LEURS PILIERS ET DE LEURS DIMENSIONS. — Table des différentes épaisseurs qu'il faut donner aux voûtes en berceau, en plein cintre et à leurs pieds, en raison de leur diamètre et de la manière dont elles sont extradossées	86
Des grands ponts en pierre	87
Table de la moindre épaisseur des voûtes circulaires ou elliptiques prises au milieu de la clef	88
Des plus grandes arches des ponts connus	89
CHAPITRE XII. — Fondations des édifices	90
Des fondations sur le bon sol	91
Des fondations sur mauvais terrain	91
Tableau qui indique les différentes hauteurs desquelles un corps doit tomber pour que la force du choc forme une progression arithmétique dont la différence soit égale au poids de ce corps	93
Fondations dans l'eau (Pl. 5, fig. 1, 2, 3)	94
Tracé des ouvrages d'art sur le terrain	97
CHAPITRE XIII. — ÉTUDES D'APPAREIL EN PIERRE DE TAILLE. — De la stabilité	98
De la direction de la pesanteur	98
Du centre de gravité	99
Position et forme à donner aux pierres de taille pour les pieds-droits	99
De l'appareil proprement dit	101
CHAPITRE XIV. — DES DIVERSES COURBES APPLIQUÉES AUX ARCHES DES PONTS EN MAÇONNERIE. — Du plein cintre	103
De l'ellipse (Pl. 5, fig. 4)	103
Comparaison du cercle et de l'ellipse (Pl. 5, fig. 5, 6)	104
Des ovales et des anses à paniers (Pl. 4 et 5)	106
De la cycloïde (Pl. 5, fig. 7)	107
Du tracé des cintres à onze centres (Pl. 6, fig. 3)	108
1 ^{re} formule	108
2 ^e <i>id.</i> (Pl. 6, fig. 2)	110
3 ^e <i>id.</i> (Pl. 7, fig. 2)	111
4 ^e <i>id.</i> pour former avec le même nombre d'arcs de cercle une imitation d'ellipse (Pl. 7, fig. 1)	112
CHAPITRE XV. — Des projections	114
CHAPITRE XVI. — Étude d'un aqueduc à $1/4$ de cône de deux mètres d'ouverture pour route (Pl. 8)	117
Mètre détaillé	118

	Pages.
Évaluation et estimation.	120
CHAPITRE XVII. — Méthode générale pour dresser l'appareil des ponts biais.	121
Étude d'un pont hélicoïde en plein cintre (Pl. 9).	122
CHAPITRE XVIII. — Construction des cintres (Pl. 10).	126
Du décintrement.	128
Observations essentielles sur le tracé des cintres.	128
CHAPITRE XIX. — Ponts en fonte de fer.	131
Pont du Carrousel.	132
CHAPITRE XX. — DES PONTS SUSPENDUS. — Considérations générales.	133
Tableau des fils de fer.	135
Étude d'un pont suspendu (Pl. 11).	135
Description.	137
Résistance des câbles et des tiges, poids de la suspension.	138
Équilibre des obélisques.	142
Équilibre des puits d'amarre.	142
Métré des maçonneries.	144
Métré des peintures.	146
Considérations particulières.	148
CHAPITRE XXI. — Calcul des annuités par les logarithmes.	151
Tableau d'annuités n° 1 (1,000,000 de fr. à amortir au taux de 5 pour 100 avec une annuité de 20, 19, 18... 1 pour 100 du capital).	153
Tableau d'annuités n° 2 (2,000,000 de fr. à amortir au taux de 5 pour 100 en 10, 15, 20... 99 ans).	155
Tableau d'annuités n° 3 par le calcul ordinaire.	156
CHAPITRE XXII. — DES CHEMINS DE FER (Pl. 12). — Description.	157
Dimensions principales de quelques rails.	161
Établissement d'un railway.	162
Poids des wagons.	166
Poids des diligences.	167
Chemin de fer sur plan incliné.	168
Mouvement des wagons sur plans inclinés. — Expériences de Wood.	170
Chemin de fer atmosphérique (Pl. 13).	171
CHAPITRE XXIII. — DES CANAUX. — Description de l'ancien canal de Suez.	173
Proportion des écluses d'une manière générale (Pl. 14).	181
Chaussées ou barrages.	183
Portes d'écluses.	184
CHAPITRE XXIV. — Description du canal du Midi.	186
Continuation du canal du Midi, de Toulouse à Castels (Gironde), sous la dénomination de canal latéral à la Garonne. — Considérations sur le tracé.	191
Travaux les plus remarquables du canal latéral.	193
Ponts tournants pour canal (Pl. 15).	194
CHAPITRE XXV. — TRAVAUX DE TUNAGES POUR LA DÉFENSE DES BORDS DES RIVIÈRES ET FLEUVES, ET DES RIVAGES DE LA MER. — Description.	196
Exécution.	202
CHAPITRE XXVI. — MÉTRAGE ET ESTIMATION PAR MÈTRE COURANT D'OUVRAGES EN TUNAGE AVEC ENROCHEMENTS (Pl. 16, 17 et 18). — Dignes de rive à un seul rang de tunage.	
Type 1 sur un gravier au niveau ou au-dessus de l'étiage où l'on ne présume pas d'affouillement.	205
Type 2 sur un gravier élevé au-dessus de l'étiage où l'on prévoit la possibilité de 0 ^m ,50 d'affouillement.	206
Type 3 sur un gravier élevé au-dessus de l'étiage où l'on prévoit la possibilité de 0 ^m ,80 d'affouillement.	207

	Pages.
Type 4 sous une profondeur d'eau de 0 ^m ,50 et sur un gravier élevé au-dessus de l'étiage où l'on prévoit la possibilité de 1 ^m ,50 d'affouillement.	208
Type 5 sous une profondeur d'eau de 1 mètre où l'on prévoit la possibilité de 1 mètre d'affouillement.	209
Type 6 sous une profondeur d'eau de 1 mètre où l'on prévoit la possibilité de 1 ^m ,50 d'affouillement.	210
Type 7 sous une profondeur d'eau de 1 ^m ,75 où l'on prévoit la possibilité de 1 ^m ,50 d'affouillement.	211
Type 8 sous une profondeur d'eau de 2 ^m ,75 où l'on prévoit la possibilité de 1 mètre d'affouillement.	212
Digues et épis à deux rangs de tunage.	213
Type 9 sur un gravier élevé au niveau ou au-dessus de l'étiage où l'on prévoit la possibilité de 1 ^m ,30 d'affouillement.	213
Type 10 sous une profondeur d'eau de 1 ^m ,50 où l'on prévoit la possibilité de 1 ^m ,50 d'affouillement.	214
Type 11 sous une profondeur d'eau de 0 ^m ,50 où l'on prévoit la possibilité de 2 mètres d'affouillement.	215
Type 12 sous une profondeur de 0 ^m ,75 où l'on prévoit qu'il n'y aura pas d'affouillement.	216
Type 13, enracinement des épis dans les berges.	217
Type 14 sous une profondeur de 0 ^m ,60 non susceptible d'affouillement.	218
Type 15 sous une profondeur de 1 ^m ,50 susceptible de 1 mètre d'affouillement.	219
Type 16 sous une profondeur de 1 ^m ,50 non susceptible d'affouillement.	220
Type 17 sous une profondeur d'eau de 2 mètres susceptible de 1 mètre d'affouillement.	221
Type 18 sous une profondeur d'eau de 2 ^m ,50 sans affouillement.	222
Type 19 sous une profondeur d'eau de 3 mètres sans affouillement.	223
Lignes de rattachements et épis à une seule ligne de tunage.	
Type 20 sous une profondeur d'eau de 0 ^m ,50 à 0 ^m ,70 sur une partie de rive en alluvion.	224
Type 21 sous une profondeur d'eau de 1 mètre et sur une partie de rive en alluvion.	224
Type 22, enracinement des lignes de rattachement dans les berges.	225
Type 23 sous une profondeur d'eau de 0 ^m ,60 sans affouillement.	225
Type 24 sous une profondeur de 1 mètre sans affouillement.	226
Type 25 sous une profondeur d'eau de 1 ^m ,50 sans affouillement.	226
Type 26 sous une profondeur d'eau de 2 mètres sans affouillement.	227
Type 27 sous une profondeur d'eau de 2 ^m ,50 sans affouillement.	227
Type 28 sous une profondeur d'eau de 3 mètres sans affouillement.	228
Évaluation des ouvrages tels qu'ils sont indiqués sur la planche 19.	229
CHAPITRE XXVII. — Théorie des sources et des fontaines.	231
Esquisse d'un projet des fontaines de Bordeaux, dont le maximum d'eau de source est fixé à 600 pouces fontainiers distribués dans les divers quartiers de la ville, et formant 600 bornes-fontaines.	234
Conclusions.	237
CHAPITRE XXVIII. — Des irrigations.	240
CHAPITRE XXIX. — MARCHÉS DES ENTREPRENEURS DE TRAVAUX PUBLICS. — Clauses et conditions générales imposées aux entrepreneurs des travaux dépendant du service des ponts et chaussées.	244

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.







BIBLIOTECA

