

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw. ....

2151

BOERO

*FABRICATION ET EMPLOI  
DES  
CHAUX HYDRAULIQUES  
ET  
DES CIMENTS*

*PARIS*

*CH. BÉRANGER ÉDITEUR*

297.07

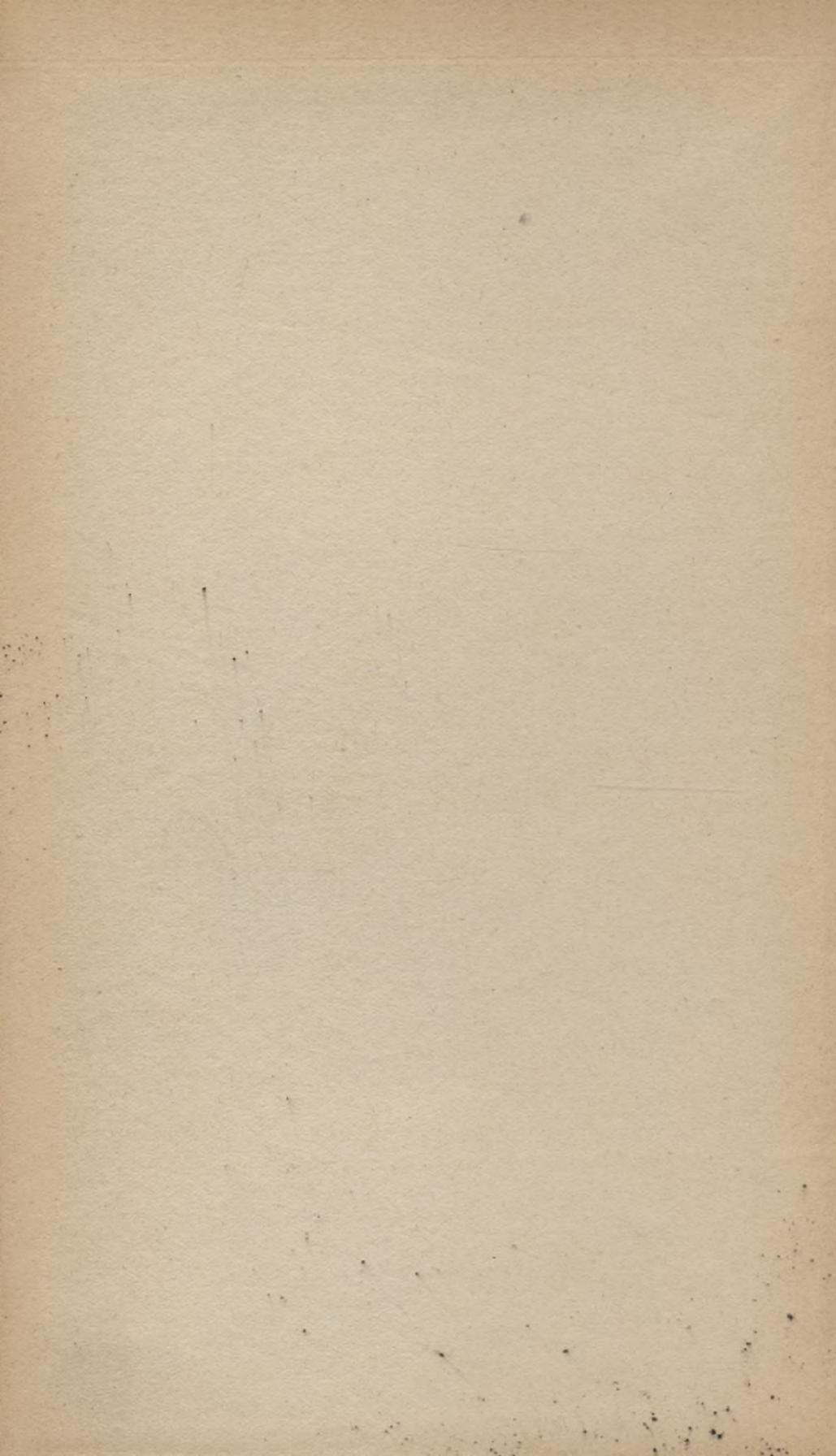
no. 9. -

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000297222





x  
1593



FABRICATION ET EMPLOI  
DES  
**CHAUX HYDRAULIQUES**  
ET  
DES CIMENTS

x  
1593

TYPOGRAPHIE FIRMIN-DIDOT

TYPOGRAPHIE FIRMIN-DIDOT ET C<sup>ie</sup>. — MESNIL (EURE).

DES CLIENTS

FABRICATION ET EMPLOI  
DES  
**CHAUX HYDRAULIQUES**  
ET  
**DES CEMENTS**

**Chaux hydrauliques.**  
**Ciments de grappiers. — Ciments naturels et artificiels.**  
**Leur fabrication, leurs essais et leur emploi**  
FORMANT UN  
**Guide pratique du Fabricant, de l'Ingénieur, de l'Architecte**  
**et de l'Entrepreneur.**

PAR  
**J. BOERO**  
INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES

*J. N. 24300.*



PARIS  
LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE, CH. BÉRANGER, ÉDITEUR  
**Successeur de Baudry et C<sup>ie</sup>**  
15, RUE DES SAINTS-PÈRES, 15  
MAISON A LIÈGE, 21, RUE DE LA RÉGENCE

1901

Tous droits réservés.

*G. 1/2*

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKÓW

II 2151

Akc. Nr. 965/49

## PRÉFACE

---

Il y a quelques années, un concours de circonstances assez imprévu me fit offrir la direction d'une importante usine à chaux et ciment des environs de Marseille.

Cette usine avait eu jadis un certain renom ; puis, à la suite de changements réitérés de propriétaires et de direction, cette ancienne renommée s'était effacée peu à peu, et la marque était tombée en défaveur.

J'avais, sur la fabrication de la chaux, de vagues souvenirs datant de l'École Centrale, je « piochai » les quelques livres de ma bibliothèque qui traitaient de la question, et, avec ces données, je pris la direction de l'usine, absolument convaincu que je pouvais en remonter aux ingénieurs conseils les plus renommés. C'était si simple, cette fabrication.

Eh bien, il fallut vite déchanter, et je dus à une heureuse chance de ne pas avoir, dès le premier moment, de gros déboires. Les livres spéciaux les plus cotés étaient juste bons à rafraîchir la mémoire d'un homme du métier ou étaient en général trop théoriques et peu pratiques. Il fallut un labeur acharné, et une grosse habitude de la direction des usines pour me tirer des mille difficultés qui surgissaient à chaque instant. Il fallut ruser pour répondre aux deside-

rata de la clientèle et des propriétaires de l'usine qui étaient convaincus d'avoir affaire à un éminent spécialiste.

Or, il en est de la chaux et du ciment comme des autres branches de l'industrie. On a marché à pas de géant et cette fabrication, si simple autrefois, est devenue une science. Il faut une étude minutieuse des différentes phases de la fabrication, tant au point de vue chimique qu'au point de vue mécanique, pour faire bon et à bon marché.

J'eus la bonne fortune de voir mes efforts couronnés de succès et celle de construire une nouvelle usine sur les données que j'avais proposées.

C'est le résultat de la pratique et de ces longues études que je sou mets ici au public spécial auquel ce livre est destiné. Je me suis efforcé, avant tout, de renseigner pratiquement et clairement.

En un mot, j'ai voulu écrire le livre que j'aurais désiré trouver lorsqu'on m'offrit la direction d'une usine à chaux et ciments. J'ai pensé que mon expérience pourrait aussi être utile à ceux qui emploient les produits hydrauliques et j'ai toujours, à leur intention, signalé dans cet ouvrage les points qui peuvent les intéresser.

J. B.

## FABRICATION

# DES CHAUX HYDRAULIQUES

## ET DES CIMENTS

---

### CHAPITRE PREMIER

#### **Fabrication de la Chaux hydraulique.**

Historique. — Carrières à chaux. — Étages géologiques. — Exploitation des carrières. — Grosses mines. — Emplacement des grosses mines. — Capacité et forme des poches. — Emploi des explosifs Favier. — Percement des galeries d'une grosse mine. — Séchage des poches et chargement. — Abatage, recassage des calcaires abattus. — Mines acidées. — Appareil à siphon. — Amorçage. — Cas de roches fissurées. — Séchage de la poche. — Chargement. — Travail des mines acidées. — Prix de revient. — Petites mines. — Prix de revient.

**Historique.** — L'invention de la Chaux hydraulique, que l'on pouvait croire remonter à une très haute antiquité, est au contraire toute récente. On avait bien, à différentes reprises, signalé, dès le milieu du dix-huitième siècle, les particularités que présentaient certaines chaux au point de vue de l'hydraulicité, mais sans pouvoir d'une façon définitive fixer les bases d'une fabrication sérieuse.

C'est aux travaux de deux savants français dont on ne saurait trop honorer l'éminent savoir, la modestie et le désintéressement, que l'industrie doit la fabrication rationnelle de la Chaux hydraulique. Ce fut M. Vicat qui, pour la première fois, après des études qui durèrent plusieurs années, établit d'une manière irréfutable, en 1818,

que la prise des mortiers hydrauliques et leur durcissement étaient déterminés par la combinaison de la silice avec la chaux.

Vicat démontra que tous les autres éléments de l'argile, sans toutefois être nuisibles, n'étaient pas essentiels pour l'obtention d'un bon produit hydraulique. Il s'attacha surtout, et c'est là son plus grand titre de gloire, à tirer de ses expériences de laboratoire des conséquences pratiques.

Ce fut d'après ses conseils désintéressés que se créèrent en France de nombreuses usines qui presque toutes ont prospéré. On pourra estimer combien fut grand le désintéressement de M. Vicat, lorsque nous aurons dit qu'on peut évaluer à l'heure actuelle à plus de cinq milliards les économies qui ont été réalisées par l'emploi des mortiers hydrauliques depuis leur découverte, en France seulement et pour les seules constructions dépendant des services du gouvernement.

Vicat préféra, suivant l'expression de M. Thenard, « la gloire d'être utile à celle d'être riche ». La France doit être fière de saluer en lui un des plus illustres savants du siècle.

Le principe était trouvé, et les bases de la fabrication de la Chaux hydraulique étaient jetées. Toutefois le dernier mot, au point de vue industriel, n'était pas dit :

Jusqu'en 1840, on se contenta de cuire le calcaire et de l'envoyer en gros morceaux jusqu'aux chantiers où on le faisait effuser, absolument comme cela se pratique encore de nos jours pour la chaux grasse. Ce fut M. le comte Hippolyte de Villeneuve, ingénieur en chef au Corps des Mines, qui inventa de toutes pièces l'extinction rationnelle et le blutage de la chaux. Il appliqua, le premier, ses procédés, dans son usine de La Bédoule près Marseille. Ce sont ses procédés que nous décrirons plus loin. Ils permirent à l'industrie des Chaux hydrauliques de livrer des produits absolument homogènes et de beaucoup plus commodes à transporter, assurant de ce fait à cette industrie un avenir considérable.

Comme M. Vicat, M. H. de Villeneuve fut un savant désintéressé. On lui offrit des redevances allant jusqu'à 2 francs par tonne pour l'application exclusive de ses procédés. Il refusa, préférant lui aussi à l'immense fortune qu'on lui offrait la gloire d'avoir été utile à l'humanité (1).

Nous allons donner l'exposé de ces procédés, nous efforçant avant tout de donner des renseignements pratiques pouvant être appliqués fructueusement par les fabricants, les directeurs d'usine et les entrepreneurs.

## FABRICATION DE LA CHAUX HYDRAULIQUE

### 1<sup>o</sup> Carrières à chaux.

Les carrières à Chaux hydraulique se trouvent dans les étages géologiques du Groupe Jurassique et du Crétacé et plus particulièrement dans le Groupe Crétacé inférieur,

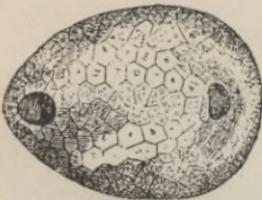


Fig. 1 et 2. — *Anachytes ovale*.

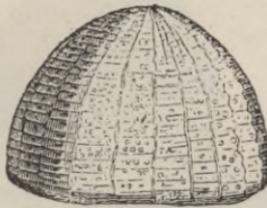


Fig. 3. — *Ostrea acuminata*.

dans le Néocomien et l'Aptien. Les étages du terrain jurassique contiennent, en outre, des calcaires à ciment naturel.

*Étages géologiques.* — Nous donnons dans un tableau les différents étages qui nous occupent.

(1) Le 29 avril 1900, la municipalité de Roquefort fit ériger, d'après les plans de l'auteur de ce livre, un monument à la mémoire de M. de Villeneuve sur la place publique de La Bedoule. Elle tenait à glorifier la mémoire de l'illustre ingénieur dont les procédés, appliqués en grand, ont fait la fortune du pays.

Le même jour, une plaque commémorative, placée à l'ancienne usine Villeneuve, rappelait l'endroit où, pour la première fois, ces procédés furent appliqués.



Fig. 4.



Fig. 5.



Fig. 6.

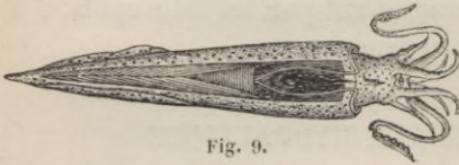


Fig. 9.



Fig. 10.



Fig. 7.

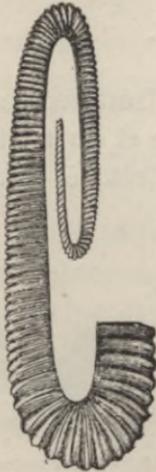


Fig. 8.



Fig. 11.

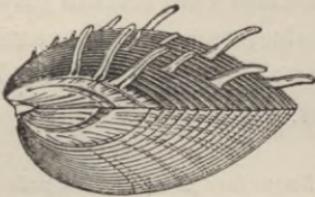


Fig. 12.

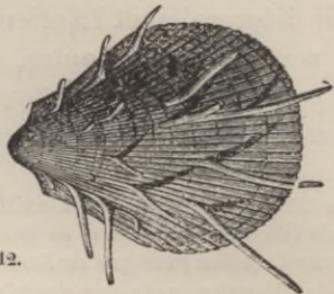


Fig. 4. *Ostrea deltoidea*. — Fig. 5. *Ostrea aquila*. — Fig. 6. *Diceras arietinum*. — Fig. 7. *Belemnites mucronatus*. — Fig. 8. *Hamites attenuatus*. — Fig. 9. *Belemnite restaurée*. — Fig. 10. *Ammonites multicostatus*. — Fig. 11. *Micraster cortestudinarium*. — Fig. 12. *Spondylus spinosus*.

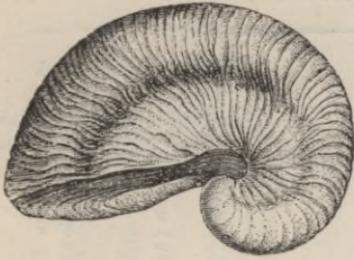


Fig. 13.

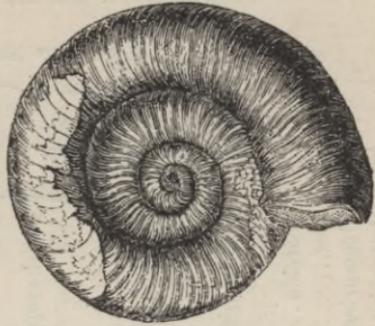


Fig. 15.



Fig. 16.

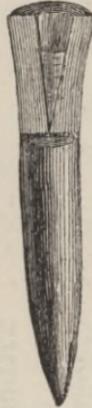


Fig. 14.



Fig. 17.

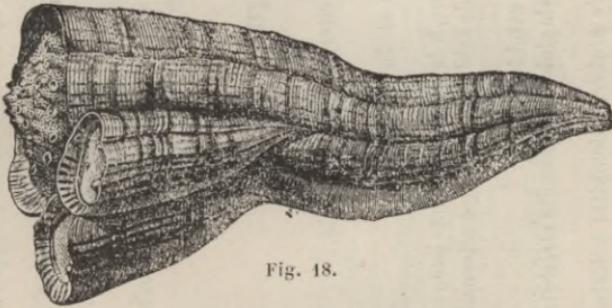


Fig. 18.

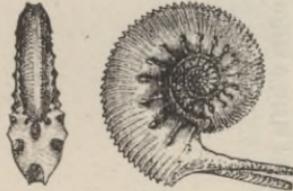


Fig. 19.

Fig. 13. *Gryphea arcuata*. — Fig. 14. *Belemnite*. — Fig. 15. *Ammonites angulatus*. — Fig. 16. *Scaphites equalis*. — Fig. 17. *Terebratulata globata*. — Fig. 18. *Hippurite organisans*. — Fig. 19. *Caeloceras subcoronatum*.

## Époque secondaire

Groupe Jurassique		Groupe Crétacé	
Inférieur	Supérieur	Inférieur	Supérieur
<p>Toarcien .....</p> <p>Lias.....</p> <p>Sinemurien.....</p> <p>Heltangien.</p>	<p>Oolithe supérieure. { Purbeckien. Portlandien.....</p> <p>Oolithe moyenne. { Kimmeridgien..... Corallien Séquanien.....</p> <p>Oolithe inférieure. { Oxfordien Argovien..... Callovien.....</p> <p>{ Bathonien (grande oolithe). Bajocien.....</p>	<p>Néocomien { Urgonien..... Valanginien.</p> <p>Aptien.....</p> <p>Albien (Argile de Gault).....</p> <p>Cénomannien.....</p>	<p>Danien, Pisolithique, Craie du Danemark... Belémnites mucronatus, Ostrea vesicularis, Ananchite ovatus.</p> <p>Sénonien, Craie de Meudon, Craie de Tours. Oursins, spondilus spinosus, Hippurites.</p> <p>Oursins, spatangus retulus, huîtres. Hannites, scaphites, mollusques; le Gault est couvert par une argile sableuse jaunâtre à chlorite. Gryphée arquée, ammonites, belémnites. Spatangus retulus.</p>
<p>Gryphée arquée, belémnites sulcatus et pistilliformis. Ammonites Valcoti et débris de grands Sauriens. Ichliosauve, plésiosaure, etc...</p>	<p>Ostrea deltoïda exogyra virgula. Argile. Polyptères et diceras arctina.</p> <p>Argile bleue, belémnites, ammonite jason et ostrea dilatata caractéristique. Couches de sable jaune micacé alternant avec des argiles.</p> <p>Gryphaea cymbium. Terebratula globata, ammonite striatulus, restes de mammifères.</p>	<p><b>Tithonique</b></p>	

## Garumnien ou sous-nummulitique



Nous compléterons ce tableau en donnant ici une coupe géologique d'une carrière à chaux et ciment naturel, indiquant la pétrographie et la teneur des divers bancs (fig. 20).

Il est rare de trouver une carrière dont les divers bancs soient compacts et homogènes. En général, la teneur en argile varie de 14 à 18 %. Voici quelques analyses de calcaires de diverses provenances :

	VILLENEUVE	LE TEIL	ÉCHOISY	VILLENEUVE	ST-GERMAIN (AIN)	CHANAY	NIMES	METZ	SENONCHES
Sable. . . . .	"	"	3.20	4.54	"	"	"	"	"
Silice gélatineuse. . . . .	15.3	16.83	16.20	14.91	5.4	7.8	9.0	15.0	19.0
Alumine . . . . .	2.6	0.73	traces	4.19	7.1	"	5.0	4.0	"
Peroxyde de fer . . . . .				1.36					
Carbonate de chaux . . . . .	76.6	76.42	72.30	74.026	87.0	89.2	86.0	78.0	80.0
Carbonate de magnésie. . . . .	traces	4.02	4.00	4.134	0.5	3.0	"	3.0	4.0
Sulfate de chaux. . . . .	traces	"	"	1.122	"	"	"	"	"
Eau. . . . .	4.5	5.00	6.00	4.50	"	"	"	"	"
Non dosé. . . . .	1.0	"	1.30	0.218	"	"	"	"	"
TOTAL. . . . .	100.0	100.0	100.00	100.00	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Pour montrer combien sont peu homogènes les divers bancs de calcaires d'une même carrière, nous donnons ci-dessous deux séries d'analyses de deux carrières à chaux : celle de l'usine Villeneuve à La Bédoule et celle de l'usine Briand (chaux d'Échoisy).

### Usine Villeneuve

NOS DES BANCs.	1	2	3	4	5	6	7
Épaisseur des bancs. . . . .	1.60	1.80	1.30	0.80	0.85	0.90	1.20
Silice. . . . .	17.55	13.40	16.45	14.82	15.00	13.55	14.40
Magnésie . . . . .	0.60	0.79	0.52	0.41	1.26	3.41	1.57
Oxyde de fer . . . . .	2.10	2.25	0.75	1.30	2.25	2.00	1.50
Alumine. . . . .	3.40	2.25	1.80	2.25			
Humidité . . . . .	1.50	0.80	1.00	1.00	1.20	0.80	1.38
Carbonate de chaux . . . . .	72.50	79.60	77.40	78.34	80.10	78.52	78.64
<sup>1</sup> Indosé, matières organiques, etc.	2.35	0.81	2.08	1.88	0.19	1.72	2.51

(1) Analyses faites par l'auteur en 1899.

## Chaux d'Échoisy

N° 1.	découvert.	} en contre-bas de la surface.
N° 2.	2 à 5 mètres.....	
N° 3.	3 à 10 mètres.....	
N° 4.	4 à 17 mètres.....	

	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4
Sable . . . . .	1.80	4.40	4.00	3.20
Argile . . . . .	9.60	5.40	7.50	16.20
Peroxyde de fer . . . . .	traces	traces	traces	traces
Chaux . . . . .	37.00	38.31	38.61	35.80
Magnésie . . . . .	traces	traces	1.00	1.00
Sulfate de chaux . . . . .	traces	0.883	0.668	0.333
Eau, acide carbonique et ma- tières organiques . . . . .	51.00	51.00	47.00	42.50
	99.40	99.643	98.778	99.033

**Exploitation des carrières.** — La conclusion que nous devons tirer de ces analyses, c'est que, dans une même carrière, il peut se faire qu'un certain nombre de bancs soient seuls propices à la fabrication d'une bonne Chaux hydraulique. Il faudra avant tout reconnaître ces bancs; et, dans le but d'obtenir une chaux toujours homogène et de même composition, faire des mélanges rationnels de ces bancs.

On ne saurait trop insister sur ce point; et dans toutes les carrières bien exploitées, les plus grands soins sont apportés à ce que le mélange des pierres des divers bancs reconnus bons par le laboratoire soit toujours sensiblement identique.

Aussi, lorsque c'est possible, l'extraction de la pierre à chaux se fait par grosses mines (c'est le cas des usines du Teil), ou tout au moins par mines acidées. Ces deux procédés d'extraction ont l'avantage de faire un « abatis » considérable mélangeant d'avance les divers bancs. On divise ensuite les plus gros blocs au moyen de pétards.

Lorsque pour des raisons quelconques, telles que le peu de hauteur du front de taille, les crevasses et les poches qui peuvent se trouver à travers les bancs, les failles, etc., on ne peut employer les deux moyens précédents, on opère

par petits coups de mine, en ayant soin d'attaquer des bancs bien définis, dont on connaît l'analyse. On sépare autant que possible les résultats de l'abatage de façon à pouvoir bien se reconnaître dans les mélanges de bancs qui seront envoyés au four.

Dans les deux premiers cas, le mélange des calcaires a lieu sur le carreau de la mine par le fait même de l'explosion. Dans le troisième le mélange a lieu au chargement sur les wagonnets transportant la pierre aux fours.

La figure 21 représente le plan d'une carrière où ce troisième mode d'exploitation est appliqué. Des coups de mine abattant 3 à 5 mètres cubes sont tirés à la fois en A et en B, mélangeant ainsi les bancs 1 à 7 aux bancs 7 à 14. La carrière étant à environ 600 mètres des fours, les trains composés de 6 wagonnets viennent charger d'abord en A, ensuite en B. Les couches de calcaires mises ainsi dans les fours sont très régulières, et la chaux a une composition sensiblement constante.

## 2° Grosses mines.

Nous allons donner une description de l'exploitation par grosse mine telle qu'elle est pratiquée aux carrières de Lafarge. Ces carrières sont ouvertes dans le Néocomien inférieur et l'Aptien.

Dans ces carrières le front de taille a environ 600 mètres de longueur, et environ 120 mètres de hauteur. Il est dirigé à peu près dans la direction Nord-Sud et divisé en trois immenses bancs de 30 à 35 mètres d'épaisseur chacun, inclinés au Nord sur l'horizon d'environ  $0^m,15$  par mètre.

On attaque le banc inférieur au moyen de mines acidées jusqu'à ce que le banc moyen surplombe de 7 à 8 mètres en avant du banc inférieur. Quand le pied d'une partie de la carrière est ainsi dégagé, on pratique, soit au moyen d'un puits, soit par une galerie, un gros fourneau de mine dans le banc moyen en laissant 7 à 8 mètres d'épaisseur entre le toit

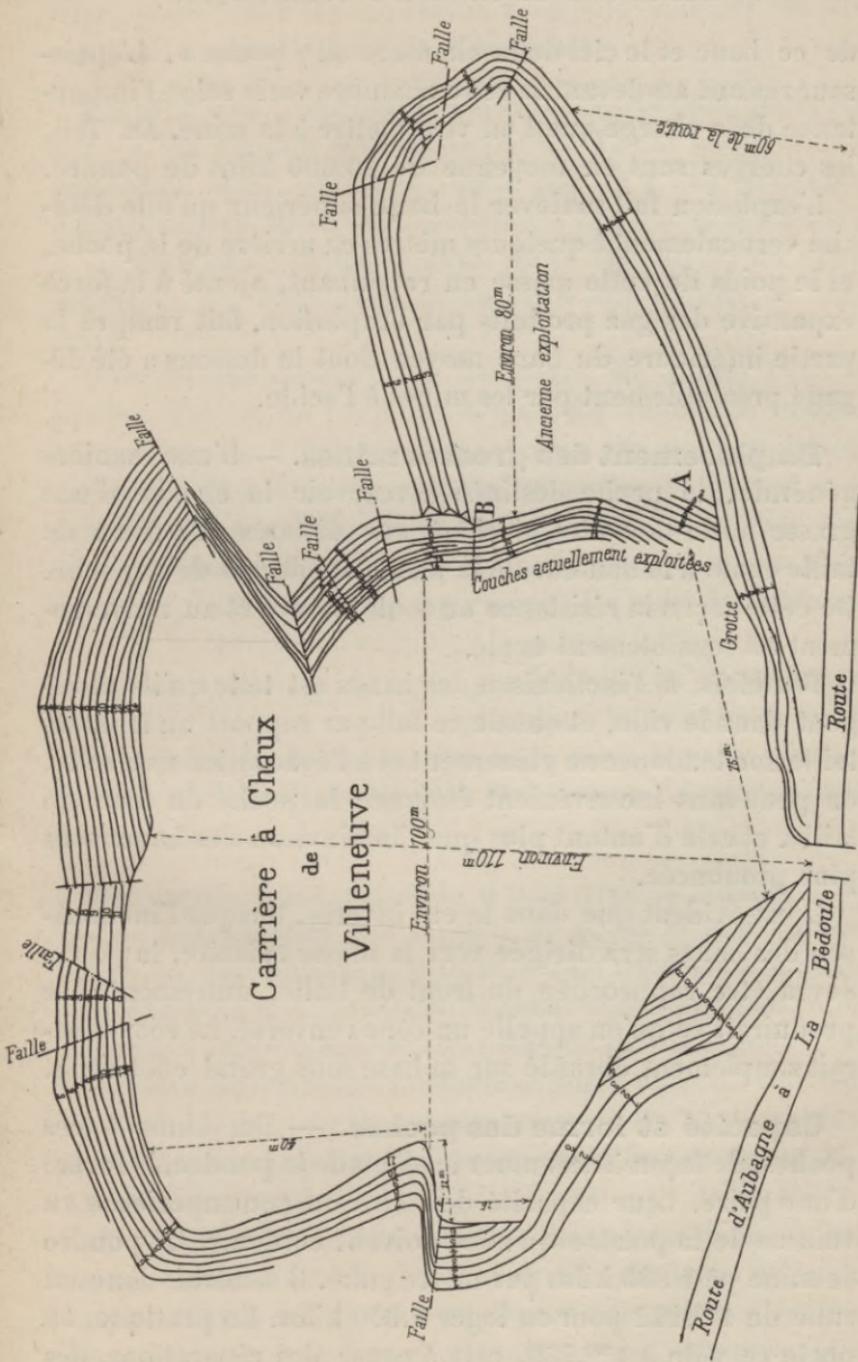


Fig. 21.

de ce banc et le ciel de la chambre ou « poche ». L'épaisseur restant au-devant de cette chambre varie selon l'importance de la charge que l'on veut mettre à la mine. Au Teil, les charges sont en moyenne de 10.000 kilos de poudre.

L'explosion fait soulever le banc supérieur qu'elle détache verticalement à quelques mètres en arrière de la poche, et le poids de cette masse en retombant, ajouté à la force expansive des gaz produits par l'explosion, fait rompre la partie inférieure du banc moyen dont le dessous a été dégagé préalablement par les mines à l'acide.

**Emplacement des grosses mines.** — D'une manière générale, la poche destinée à recevoir la charge d'une grosse mine doit être placée à une distance du front de taille égale à la hauteur de la masse au-dessus de la poche. De cette façon la résistance au soulèvement et au renversement est sensiblement égale.

Toutefois, si l'inclinaison des bancs est telle qu'ils plongent dans le vide, et ont de ce fait par rapport au front de taille une tendance au glissement et à l'évacuation naturelle, on peut sans inconvénient éloigner la poche du front de taille, et cela d'autant plus que l'inclinaison des bancs sera plus prononcée.

Il est évident que dans le cas inverse, lorsque l'inclinaison des bancs sera dirigée vers la masse calcaire, la poche devra être rapprochée du front de taille, autrement il se produirait ce qu'on appelle un cône renversé. Le rocher serait simplement ébranlé sur sa base sans grand effet utile.

**Capacité et forme des poches.** — On donne à ces poches, de façon à accentuer les effets de la poudre, la forme d'une poire. Leur capacité doit être un peu supérieure au volume de la poudre qu'elles doivent contenir. La poudre de mine pèse 830 kilos par mètre cube. Il faudrait donc un cube de  $1^{\text{m}^3},222$  pour en loger 1.000 kilos. En pratique, on porte ce vide à  $1^{\text{m}^3},250$ , cela à cause des réparations, des revêtements ou des enduits qu'on est souvent obligé de

faire, pour éviter les infiltrations ou pour boucher les fissures qui peuvent exister dans le rocher.

**Emploi des explosifs Favier.** — Depuis quelques années, on emploie souvent la poudre Favier au lieu de la poudre de mine ordinaire. Cette poudre a une puissance expansive très supérieure à celle de la poudre ordinaire, à abatage égal; la poche peut, de ce fait, avoir un cube réduit, ce qui dans certain cas rend son emploi avantageux.

Pour le chargement des fourneaux de mines avec la poudre Favier, on y entasse la quantité voulue de grosses cartouches de 2 kilos en ayant soin de ne pas laisser de vides entre elles. Les cartouches amorces doivent toujours être composées de poudre n° 1 A et se trouver autant que possible au milieu de la charge. Quand on a entassé l'explosif nécessaire, on remplit les vides du fourneau avec de la terre et on maçonne la galerie.

Un des avantages de cette poudre est, qu'étant incombustible, il n'y a aucune précaution à prendre pour le chargement du fourneau. On peut parfaitement pendant cette opération s'éclairer avec des lampes de mineur ordinaires à feu nu.

**Percement des galeries d'une grosse mine.** — On donne aux galeries une largeur de 0<sup>m</sup>,85 et une hauteur de 1<sup>m</sup>,65, soit une surface de 1<sup>m</sup>,40. Ce travail est généralement donné à la tâche à un mineur et son manoeuvre; ce dernier, chargé d'enlever les produits du minage et faire le service du mineur. Le mineur perce avec un burin de 15 à 20 <sup>m</sup>/<sub>m</sub> de diamètre quatre trous de 0<sup>m</sup>,70 de profondeur; il possède pour cela un jeu de 5 burins de 0<sup>m</sup>,30 à 1<sup>m</sup>,20 de longueur.

Pour obtenir 1 mètre courant de galerie dans un calcaire moyennement dur, il faut de 40 à 50 trous de burin. Le prix moyen est de 50 à 60 francs par mètre d'avancement ou environ 40 francs par mètre cube, comprenant la

main-d'œuvre du forage, l'enlèvement des débris, la fourniture de la poudre et des mèches, et l'aciérage des burins.

Il faut environ 5 kilos de poudre par mètre courant d'avancement.

Voici, du reste, l'établissement du prix de revient :

	PAR MÈTRE COURANT DE GALERIE DE 1 <sup>m</sup> <sup>00</sup> ,40 DE SECTION	PAR MÈTRE CUBE DE DÉBLAIS
Forage et enlèvement des déblais. . . . .	39 <sup>f</sup> .36	28 <sup>f</sup> .12
5 kilos poudre à 1.50 le kilo . . . . .	7.50	5.35
Mèches. . . . .	3. »	2.14
Entretien d'outils. . . . .	5.14	3.66
	55. »	39.27

**Séchage des poches et chargement d'une grosse mine.** — Avant de procéder au chargement d'une grosse mine, on commence par déterminer aussi exactement que possible le cube de rocher qui sera compris dans l'action présumée de la charge (fig. 22).

Cela fait, on prend pour base qu'un kilogramme de poudre doit renverser 6 mètres cubes de rocher.

Certaines considérations géologiques peuvent modifier cette proportion; c'est là que doit intervenir l'expérience du mineur.

Avant de déposer la charge dans la poche, il faut s'assurer de la façon la plus méticuleuse : 1° qu'il n'y a pas de fissures par où les gaz pourraient se détendre;

2° Que les parois de la poche ne sont pas humides; dans ce dernier cas, il faudrait les revêtir d'un enduit ou chape en ciment;

3° Dans le cas où de véritables infiltrations se feraient jour, il faudrait les calfater à l'étope et les recouvrir d'un enduit au ciment. Si le remède n'était pas suffisant, on creuserait un puisard recueillant toutes les eaux d'infiltration;

4° Si une faille ou une crevasse profonde venait à tra-

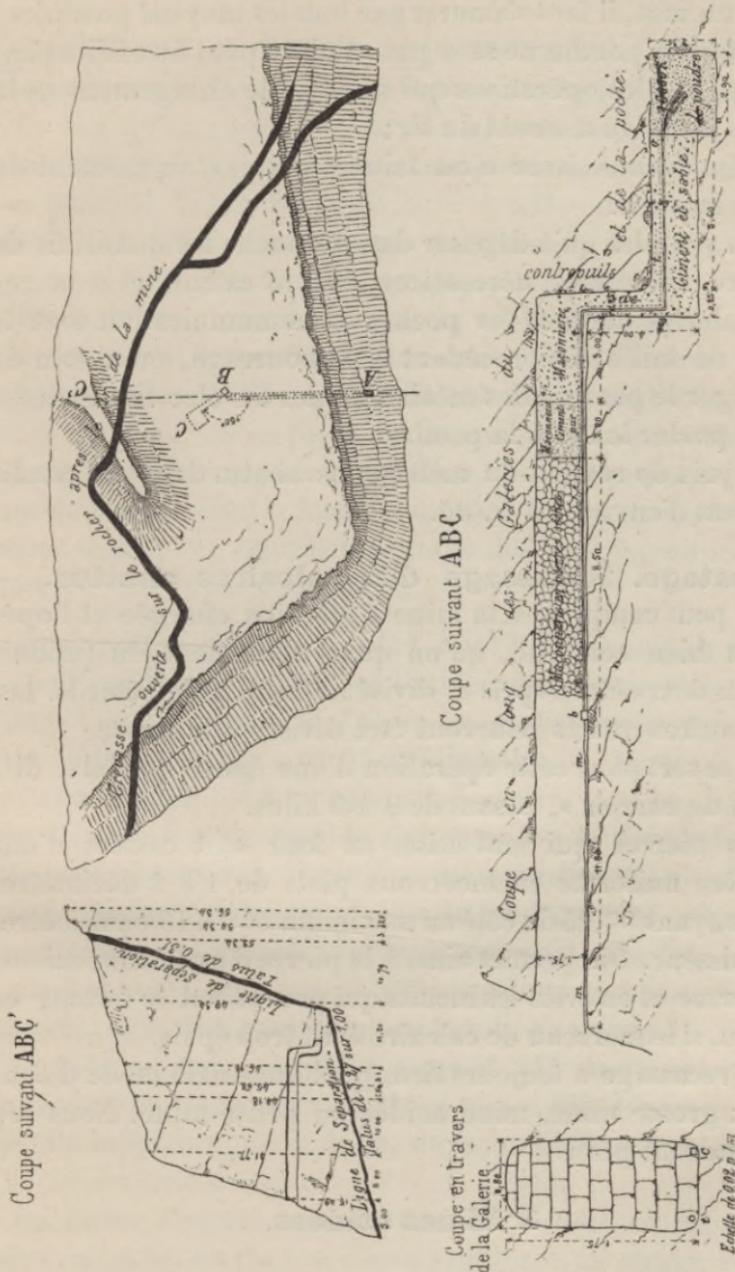


Fig. 22. — Grosse mine

verser la poche, il faudrait la boucher avec une bonne maçonnerie au ciment.

En un mot, il faut s'assurer par tous les moyens possibles :

1° Que la poudre ne sera pas atteinte par l'humidité pendant toutes les opérations qui suivront le chargement de la poche jusqu'au moment du tir ;

2° Qu'aucune issue n'est laissée aux gaz au moment du tir de la mine.

Il n'y a plus qu'à déposer dans la poche les quantités de poudre reconnues nécessaires par le calcul, et à murer les galeries mettant les poches en communication avec le front de taille. En procédant à ce bourrage, on a soin de ménager le passage des mèches ou des fils électriques destinés à porter le feu à la poudre.

Le prix de revient du mètre cube abattu dans ces conditions est d'environ 0 fr. 30.

#### **Abatage. Recassage des calcaires abattus. —**

On peut compter, si la mine a été bien chargée et l'opération bien conduite, qu'un quart seulement du produit abattu devra être repris et divisé au moyen de pétards. Les trois autres quarts pourront être divisés à la masse.

On se sert pour cette opération d'une masse spéciale, dite « tetu de carrier », pesant de 8 à 9 kilos.

Les pierres qui sont mises au four sont cassées d'une manière uniforme en morceaux plats de 1 à 2 décimètres cubes ayant 0<sup>m</sup>,25 de côté au maximum et 6 à 10 centimètres d'épaisseur. On permet ainsi à la pierre d'avoir une cuisson uniforme et on évite les incuits qui pourraient se former en noyau, si le morceau de calcaire était trop épais.

Ce recassage a toujours lieu, quel que soit le mode d'abatage : grosse mine, mine acidée ou petite mine. Nous n'y reviendrons plus.

#### **3° Mines acidées.**

Ce système a été inventé par M. l'ingénieur Courbebaisse vers le milieu de ce siècle.

L'acide employé est l'acide chlorhydrique ou muriatique.

Sa densité est 1.25. Il coûte environ 6 francs les 100 kil. On le trouve dans le commerce en bonbonnes de 60 kil. environ.

Le but qu'on se propose est de créer à l'extrémité d'un trou pratiqué à la barre à mine une poche pouvant contenir une quantité de poudre supérieure à celle que pourrait recevoir le trou lui-même, et par cela donner à la mine une puissance plus grande avec une dépense moindre.

On commence par choisir sur la roche un emplacement convenable, et on pratique à la barre à mine un trou dont le diamètre devra aller en décroissant. En général, à la naissance du trou, on emploie des barres de 6 centimètres de diamètre, puis successivement de 5, 4 et 3 centimètres. Le trou de mine a ainsi la forme d'un cône renversé. On adopte cette forme pour assurer le serrage des deux garnitures en chanvre de l'appareil à siphon.

**Appareil à siphon.** — Cet appareil se compose d'un baquet goudronné contenant l'acide muriatique, et de deux tubes, l'un en cuivre, et l'autre en gutta-percha (fig. 23).

Le tube en cuivre a 0<sup>m</sup>,03 de diamètre, il est muni d'un ajutage A appliqué à sa partie supérieure, par lequel s'opère l'évacuation du liquide siphonné. On le descend dans le trou de barre à mine jusqu'à ce que son extrémité inférieure s'arrête à une distance au-dessus du fond du trou, sensiblement égale au diamètre de la poche qu'il s'agit de créer.

En B et en C, se trouvent deux cordons en chanvre formant lut et maintenant en place le tube en cuivre.

Le tube en gutta-percha n'a que 0<sup>m</sup>,015 de diamètre; on l'introduit par le tube en cuivre et on lui fait dépasser l'extrémité inférieure de ce tube, de façon qu'il soit maintenu à 0<sup>m</sup>,10 du fond du trou.

On ferme l'espace annulaire entre le tube en cuivre et celui en gutta, au moyen d'une garniture en chanvre placée au-dessus de l'ajutage A.

**Amorçage.** — On verse, ensuite l'acide dans le baquet, on recourbe l'extrémité du tube en gutta-percha, de façon

à lui donner une position verticale, et on y adapte un entonnoir en verre, par lequel on verse de l'eau.

On le recourbe ensuite brusquement, en plongeant son extrémité dans l'acide du baquet. L'eau, en descendant dans le tube, fait le vide, attire l'acide, le siphon est amorcé.

A un moment donné, le liquide s'élève entre les deux

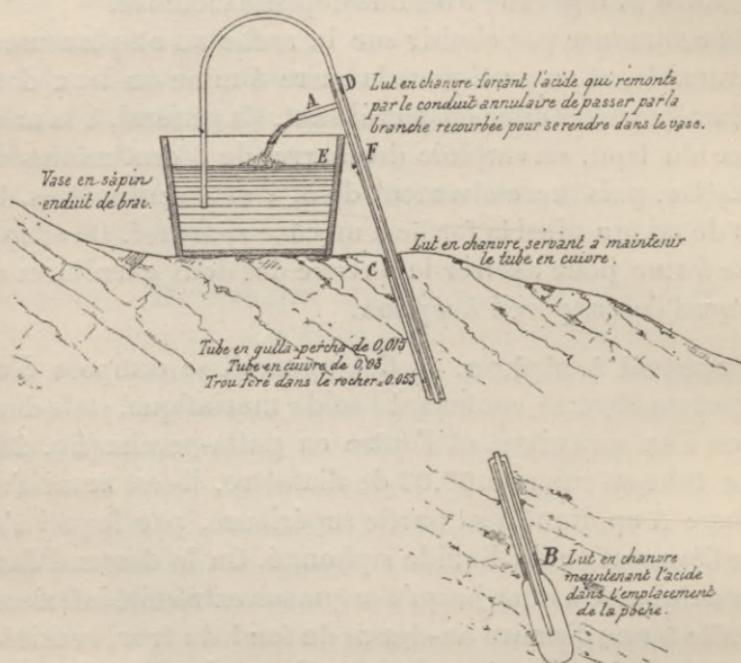


Fig. 23. — Appareil à siphon.

tubes jusqu'en EF. Si ce liquide était de l'eau pure, il ne dépasserait pas ce niveau et l'appareil ne siphonnerait pas. Mais, au contraire, l'acide au contact du calcaire dégage de l'acide carbonique qui presse sur le liquide en B et fait remonter son niveau jusqu'à l'ajutage A, par lequel il se déverse dans le baquet. Cette circulation de l'acide continue jusqu'à ce que l'acide, ayant perdu son énergie, n'agit plus sur la roche. On renouvelle l'acide du baquet jusqu'à ce qu'on ait donné à la poche la capacité voulue.

Dans son mouvement ascensionnel, l'acide entraîne les

parties insolubles de la roche qui se retrouvent à l'état de sable au fond du baquet.

**Cas de roches fissurées.** — Nous avons supposé, en décrivant la marche du siphon, que la roche à l'extrémité du trou de mine était saine et compacte. Il peut arriver que le siphon ne fonctionne pas, du fait que le liquide fuit par des fissures au fond du trou. Dans ce cas, on supprime le tube en gutta-percha, laissant en place le tube en cuivre par lequel on verse de petites quantités d'acide, de façon que son effet sur le calcaire soit produit avant qu'il ne passe par les fissures.

**Séchage de la poche.** — Lorsque la poche est suffisamment grande pour la quantité de poudre qu'on veut y déposer (ce dont on peut se rendre compte par la quantité d'acide employée), on retire l'appareil à siphon, on nettoie le trou avec la curette, et on introduit dans la poche à plusieurs reprises des paquets d'étoupe ou de chanvre attachés à l'extrémité d'une corde, pour absorber l'humidité.

**Chargement.** — Une fois la poche séchée, on y verse la moitié de la charge en prenant toutes les précautions nécessaires. On introduit à ce moment deux mèches, dont les extrémités sont enveloppées dans une gargousse en poudre de chasse pour augmenter la rapidité de l'inflammation. On verse alors le complément de la charge et on termine en bourrant le tout avec du sable sec fortement comprimé.

**Profondeur. Travail des mines acidées** — On donne aux mines à l'acide une profondeur de 2 à 10 mètres. C'est cette dernière profondeur qui donne les meilleurs résultats.

Quant à la distance au front de taille, les mineurs expérimentés estiment qu'elle doit être inférieure de un mètre à la profondeur de la mine.

Enfin, pour éviter les risques du débouillage au moment de l'explosion, il est bon de donner au trou de mine

un certaine inclinaison. C'est ce que les mineurs appellent « donner de l'entrée à la mine ».

Pour calculer les dimensions d'une poche, il faut tenir compte de ce que 1 kilogramme de poudre peut abattre (1) 6 mètres carrés de calcaire et que 70 kilogrammes d'acide donnent une poche capable de contenir 10 kilogrammes de poudre. La durée de l'opération de siphonnage, dans le cas d'une poche capable de contenir 10 kilogrammes de poudre est d'environ 9 heures.

**Temps employé. Prix de revient.** — Pour forer un trou de 10 mètres de profondeur, il faut cinq journées.

Les forages de 0 à 2 m. de profondeur valent 2 fr. le m. courant.

—	2 à 5 m.	—	4 fr.	—
—	5 à 10 m.	—	6 fr.	—

Ces prix ne comprennent que la main-d'œuvre, fournitures et entretien d'outils non compris.

Avec les mines à l'acide, le prix de revient moyen du mètre cube d'enrochements abattus est 0 fr. 50 environ, toutes fournitures comprises.

#### 4° Petites mines.

Elles sont très employées dans les carrières à chaux, où souvent la hauteur relativement faible des bancs exploités ne permet pas l'emploi des grosses mines, et le fendillement des roches, l'emploi des mines acidées.

On creuse ces petites mines dans le rocher au moyen d'une barre à mine en fer fin de 35 à 50 millimètres de diamètre aciérée et affilée à ses deux extrémités. Le trou de mine une fois fait, est nettoyé à la curette, et séché avec de l'étaupe ; on y met ensuite une charge de poudre proportionnée

(1) Ces chiffres peuvent être modifiés par la nature même du calcaire et la stratification des bancs.

à la profondeur du trou et à la grosseur du bloc à diviser. Il n'y a guère de règle permettant d'évaluer la charge, toutefois nous donnerons ici une règle empirique que nous avons appliquée avec succès :

Par m. de profondeur et  $35^m/m$  de diam. 115 gr. de poudre.  
 —  $50^m/m$  — 230 —

Lorsqu'on fait effectuer ces travaux à la tâche, le prix appliqué est de 2 francs le mètre courant jusqu'à 2 mètres de profondeur.

**Perforatrice Guillat.** — Il y a avantage dans certains

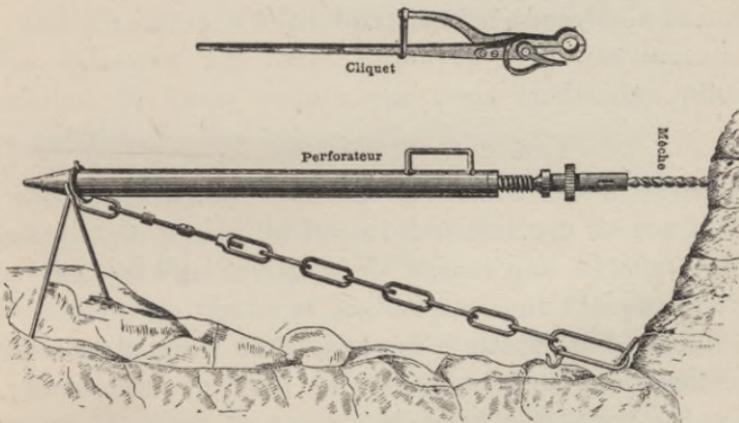


Fig. 24. — Perforatrice Guillat.

cas, et notamment lorsque le calcaire n'est pas trop dur, à employer la perforatrice Guillat dont nous donnons le dessin (fig. 24). Par contre, dans certains calcaires très compacts, ou contenant des rognons de silex, l'emploi de la perforatrice ne donne pas d'avantage sérieux.

**Prix de revient de l'abatage par petites mines.** — Le prix de revient de l'abatage par les petites mines varie beaucoup avec la nature des calcaires. Nous donnons ici deux prix de revient : l'un à l'usine d'Optevox (Rhône), pour les calcaires tendres, l'autre à l'usine Villeneuve

(Bouches-du-Rhône) pour des calcaires compacts. Dans la première, l'extraction comprenant fourniture de poudre découverte, abatage, mise sur wagons, entretien d'outils, n'est que de 0 fr. 50 par mètre cube. Dans la deuxième ce prix est de 1 fr. 35 par mètre cube.

## CHAPITRE II

### **Cuisson des calcaires.**

Combustibles. — Étude d'un four à chaux. — Appareil Prat. — Four Schöfer.  
Grilles.

Les plus grands soins doivent être apportés à la cuisson des calcaires. Les fours employés sont des fours à feu continu de forme ovoïde que nous étudierons plus loin en détail.

**Combustibles.** — Il faut choisir des charbons très purs, exempts de pyrite de fer, et donnant peu de cendres. Les pyrites ont l'inconvénient de former une certaine quantité de sulfate de chaux et les cendres ont l'inconvénient de retarder la prise de la chaux et d'altérer sa blancheur.

Lorsqu'on emploie de l'antracite, il convient de la casser en petits fragments et de la mélanger au calcaire dans la proportion de 110 kil. par mètre cube de calcaire pesant environ 1.250 kil. Lorsque la cuisson est bien conduite, on ne doit pas brûler plus de 150 kil. de charbon par tonne de chaux obtenue.

Le fraisil de coke, lorsqu'on peut se le procurer à bas prix, convient parfaitement pour la cuisson des chaux hydrauliques et est souvent très économique soit qu'on l'emploie seul, soit qu'on le mélange à l'antracite.

L'ouvrier chauffournier est celui qui dans une usine à chaux doit être le plus surveillé. On doit le choisir avec soin parmi les plus expérimentés. On comprendra facilement pourquoi lorsque nous aurons dit que le combustible

qui lui passe par les mains entre pour près de la moitié dans l'évaluation du prix de revient; et que, d'autre part, c'est la régularité de cuisson qui assure l'homogénéité et la bonne qualité de la chaux fabriquée.

Le charbon est déposé sur la plate-forme des fours à proximité des gueulards. Le calcaire est amené par wagonnets uniformes qui ont été dosés une fois pour toutes. Le contenu des wagonnets est versé directement dans les fours. Le chauffournier prend alors un certain nombre de « couffins » de charbon et les verse sur le calcaire en ayant soin de bien étaler le combustible. Ces couffins contenant un poids de charbon connu, on a ainsi des données suffisantes pour doser la quantité de combustible mise aux fours.

Nous conseillons de faire donner par les maîtres carriers le nombre de wagons de calcaire chargés, et par les chauffourniers le nombre de wagons de calcaire mis aux fours ainsi que la quantité de combustible employé. D'autre part, les charbons destinés aux fours ayant été pesés à l'entrée de l'usine, il sera facile d'établir une corrélation entre ces divers chiffres, et de se rendre compte si la marche des fours est bien normale. C'est par une constante surveillance de la chaufournerie qu'on pourra réduire le prix de revient dans ses strictes limites.

Le prix de revient de la cuisson de la chaux est, pour la plupart des usines, de 3.50 à 4.50 la tonne, ce prix comprenant le combustible et les équipes de chauffourniers.

**Étude d'un four à chaux.** — La pratique a démontré que pour la chaux hydraulique on n'a pas intérêt à donner aux fours une hauteur supérieure à 10 mètres entre la grille et le gueulard. Cela s'explique par le fait que pour chasser l'acide carbonique des calcaires il est nécessaire de faire passer à travers le four une masse d'air considérable. Dans ces conditions, si le four a des dimensions trop grandes, l'air aura plus de résistance à passer et l'entraînement de l'acide carbonique se fera moins bien.

D'autre part, dans ce dernier cas, le calcaire cuit, au lieu de rester dans le four quatre jours, y séjournera plus long-

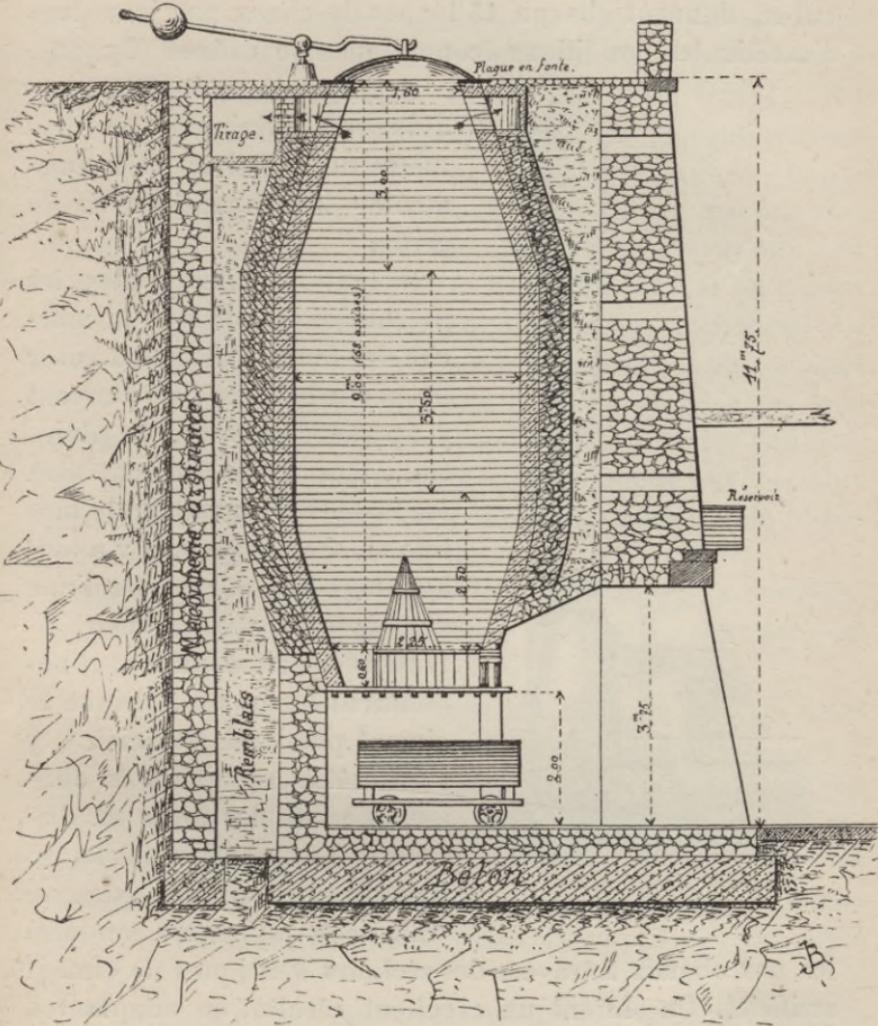


Fig. 25. — Four à chaux.

temps; l'air humide, en le traversant, provoquera un commencement d'effusement qui aura pour conséquence d'obstruer davantage le passage de l'air.

Dans une batterie de fours que nous avons construite

cette année nous avons donné aux fours à chaux une hauteur de 9 mètres entre la grille et le gueulard et 3<sup>m</sup>,50 de diamètre au ventre. Ces fours, d'une capacité de 60 mètres cubes, donnent chacun 15 tonnes de chaux par jour dans d'excellentes conditions économiques de cuisson (fig. 25).

Il y a toujours intérêt à réduire au minimum le diamètre du gueulard et à augmenter les dimensions de la grille.

Il faut prendre toutes les précautions pour que la marche des fours n'ait pas à subir les perturbations que peuvent y apporter le vent, la pluie, etc... Les fours doivent être recouverts d'un couvercle mobile et, si on le peut, il y a tout avantage à les surmonter d'une cheminée de 6 à 7 mètres.

Dans certaines usines, et notamment lorsqu'on fabrique le ciment portland artificiel, il y a intérêt à récupérer la chaleur perdue des fours en disposant à la partie supérieure, près du gueulard, un carneau collecteur qui pourra conduire

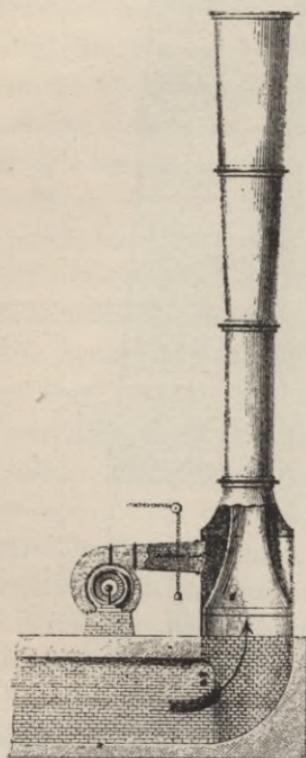


Fig. 26. — Transformateur de pression système Prat.

les gaz chauds à travers des séchoirs à briques de ciment artificiel. On obtient un excellent résultat en adaptant à l'extrémité de ces carneaux ou de ces séchoirs un appareil à tirage forcé ou transformateur de pression (fig. 26). Nous signalerons comme ayant donné les meilleurs résultats l'appareil de M. Prat, ingénieur des arts et manufactures. Lorsqu'on fait usage de ces appareils qui prennent de 3 à 7 chevaux de force, la transmission de la force

motrice aux ventilateurs se fait généralement par l'électricité.

La cuisson du calcaire ayant lieu à la partie supérieure du four, il y a économie à employer à la partie inférieure des briques réfractaires de 2<sup>o</sup> qualité. La température à obtenir est d'environ 900°. Il faut que cette température soit suffisamment élevée pour permettre la combinaison de toute la silice et l'alumine de l'argile avec la chaux, tout en laissant un large excès de chaux libre qui favorise l'extinction rapide. Avec un calcaire peu argileux, on pourra pousser la cuisson sans inconvénient, car on n'aura pas à craindre la vitrification des parties argileuses. Au contraire, avec des calcaires très argileux, si on poussait trop le feu, on aurait à craindre le « collage » du four comme conséquence de la formation des silicates fusibles. De plus, ces masses vitreuses emprisonnent une certaine quantité de chaux libre et le produit obtenu s'éteint ensuite difficilement.

En résumé, on peut poser la loi suivante : La température de cuisson et la durée de la cuisson devront être en raison inverse de la teneur en argile des calcaires.

On conçoit, comme conséquence de cette loi, qu'il est impossible de faire de bonne chaux hydraulique avec des calcaires irréguliers comme teneur en argile. Si on pousse le feu pour cuire complètement les parties pauvres, on aura le collage du four et la vitrification des biscuits qui ne s'effuseront plus; et si on ne le pousse pas, on aura des incuits formant le noyau des calcaires pauvres.

C'est pour éviter ces inconvénients que nous recommandons expressément, dans notre chapitre sur l'extraction des calcaires, de mélanger le plus possible les divers bancs de la carrière, et cela d'une manière uniforme.

Ci-contre, nous donnons le schéma de commande des briques d'un four de 9 mètres entre la grille et le gueulard avec 3<sup>m</sup>,50 de diamètre au ventre (fig. 27).

Un pareil four a une capacité de 60 mètres cubes et peut donner 15 tonnes de chaux par jour.

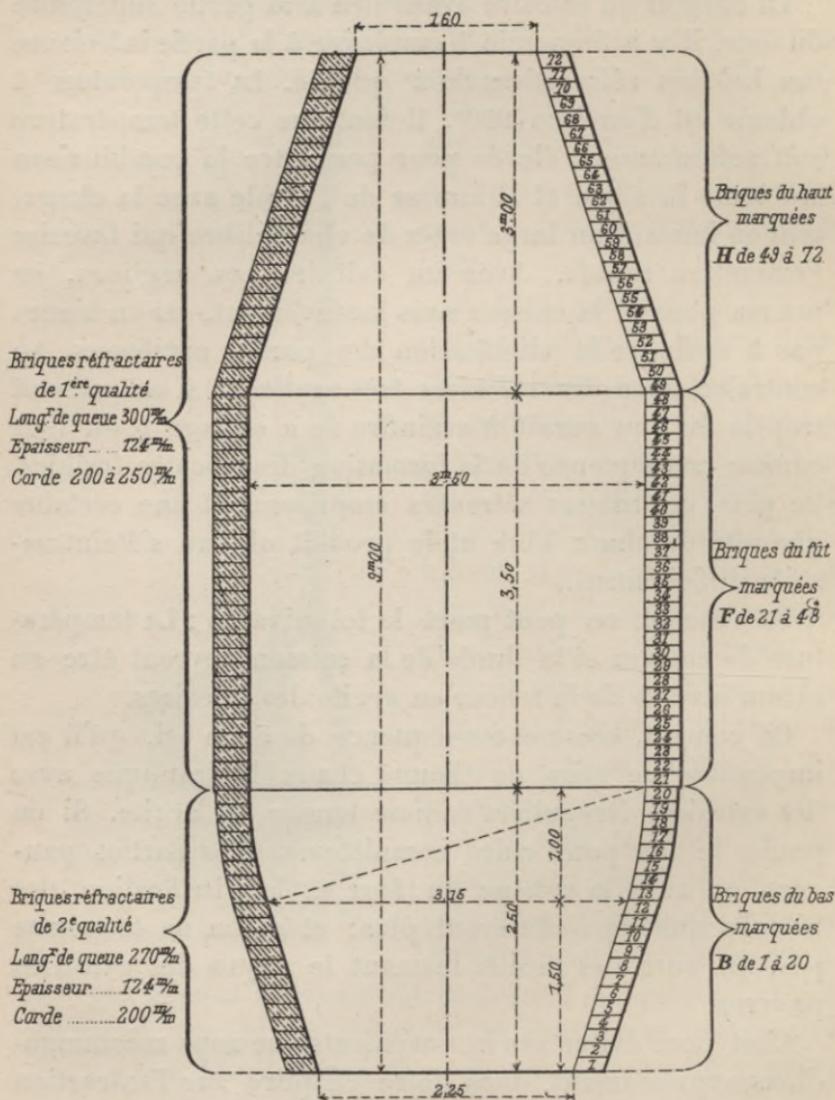


Fig. 27. — Chemise réfractaire d'un four à chaux.

Les usines de Bollènes et d'Uzès fournissent des briques réfractaires d'excellente qualité.

Nous recommandons de mettre derrière les briques réfrac-

taires une deuxième garniture, soit en vieilles briques provenant des démolitions d'un four, soit en briques réfractaires de dernier choix ; on peut employer pour cette deuxième garniture des moellons de basalte. Cette deuxième garniture permettra d'effectuer facilement les réparations que le four aura à subir.

Il faut avoir soin de ménager à travers la maçonnerie de parement un certain nombre d'évents permettant à la vapeur d'eau qui se produira lors de l'allumage du four, de s'échapper librement. Sans cette précaution, des fendillements sont à craindre dans toute la masse de la maçonnerie.

Le premier allumage est toujours le plus pénible par suite de l'énorme quantité de vapeur d'eau qui se produit. Il est bon, avant l'allumage définitif, de procéder à différentes reprises à des séchages préalables, en brûlant à l'intérieur du four un certain nombre de fagots.

Lorsque le four est jugé suffisamment sec, on dispose sur la grille de vieilles tuiles plates destinées à modérer le tirage et à empêcher une trop grosse perte de charbon. On entasse ensuite des copeaux, puis des fagots, puis des souches ; et lorsqu'on est parvenu à la moitié du four, on commence à mettre une couche de houille de 12 à 15 centimètres qu'on recouvre de calcaire, on continue à remplir le four comme s'il était en marche en mettant un dosage de 180 kilos de houille par mètre cube de calcaire.

Lorsque le four est à peu près plein, on allume par la grille ; un énorme tassement ne tarde pas à se produire du fait de la combustion rapide des fagots ; il n'y a plus dès lors qu'à continuer à remplir le four en maintenant le dosage de 180 kilos de houille par 1.250 kilos de calcaire pendant la période de « ressuage » des fours.

Les fours à chaux doivent toujours être tenus pleins et alimentés régulièrement. On peut être certain qu'un arrêt dans l'alimentation correspondra à une proportion d'incuits irrationnelle dans le produit du four. Il est démontré par la pratique que, lorsqu'un four est un peu refroidi, on a beau

ensuite reprendre le feu et l'activer, on n'arrive plus à chasser du calcaire tout l'acide carbonique. Dans certaines usines, on ne repasse même pas les incuits aux fours.

Lorsque, pour une raison quelconque, un four ne peut pas être alimenté de quelque temps, il convient d'étouffer un peu le feu en versant par le gueulard une certaine quantité de grappier ou de sable. Il est en effet d'une importance capitale de s'opposer par tous les moyens possibles au refroidissement. Les mêmes précautions sont à prendre si les usines chôment le dimanche.

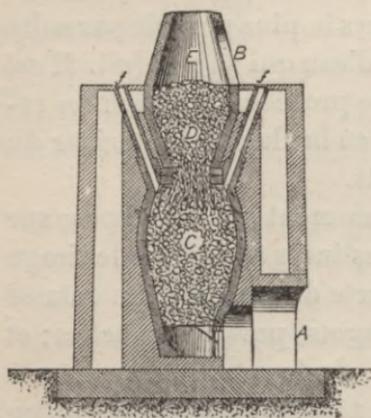


Fig. 28. — Four à chaux, système Schöfer.

Les refroidissements du four sont encore très nuisibles aux garnitures réfractaires des fours.

Nous donnons ici le croquis d'un four à chaux continu système Schöfer qui donne de bons résultats (fig. 28).

Lorsque, pour une raison quelconque, on est amené à laisser éteindre un four et qu'on n'est pas obligé de le vider, il est commode, en vue du rallumage, de laisser le

four aux deux tiers plein. Pour le rallumer, on achèvera de le remplir avec du charbon en ignition et des calcaires, et en tirant le four immédiatement par les grilles, on l'aura rapidement remis en marche normale.

La chemise réfractaire d'un four à chaux peut durer plusieurs années si les matériaux sont de premier choix et si le four est bien conduit.

Un four tel que nous en donnons le dessin revient de 5 à 6.000 francs.

**Grilles.** — Elles sont en général surélevées de 1<sup>m</sup>,75 au-dessus de la plate-forme de défournement, de façon qu'on

puisse faire tomber directement la chaux dans les wagonnets, on peut les constituer par des barreaux de  $40 \text{ m/m} \times 40 \text{ m/m}$  espacés entre eux de 20 à 25 centimètres. L'espace entre ces barreaux est constitué par des barres de fer rond de 30 à 35  $\text{m/m}$  pointus à une extrémité et facilement amovibles. On emploie souvent aussi des grilles coniques pénétrant à l'intérieur du four; cette disposition a pour but d'utiliser un peu plus complètement la chaleur abandonnée par la chaux, et d'empêcher que les matières situées vers l'axe du four, ne coulent plus rapidement que celles situées vers les parois.

## CHAPITRE III

### **Extinction de la chaux.**

Généralités. — Étude de l'extinction. — Blutage. — Ventilateur Blackmann. — Pèse-sacs. — Bluterie à tamis coniques. — Prix de revient. — Blutages par ventilation.

**Généralités.** — La chaux tirée des fours est reçue dans des wagonnets à fond plat et mouillée avec 10 % d'eau en poids. Ces wagons plats contiennent de 1.000 à 1.500 kilos de chaux et dans certaines usines 1.700. On dispose au-dessus des fours un réservoir de chasse dosé contenant exactement la quantité d'eau nécessaire pour le wagon, soit 100 litres pour un wagon contenant 1.000 kilos de chaux. Le wagon chargé sous la grille est tiré devant le four, l'ouvrier mouilleur monte sur le wagon et actionne le réservoir de chasse qui aussitôt lui débite 100 litres d'eau. Ces 100 litres tombent dans un deuxième réservoir d'où ils s'écoulent par une tuyauterie suivie d'un manche en caoutchouc et terminée par une pomme d'arrosoir. L'arroseur verse alors ces 100 litres sur la chaux du wagon qui est ensuite vidé dans des fosses où s'accomplira l'extinction.

Dans certaines usines, on emploie encore l'ancien système. La chaux est reçue dans des wagonnets et mouillée au moyen d'arrosoirs de 12 litres de capacité. La chaux est versée ensuite sur le sol des salles d'extinction, puis relevée à la pelle en tas de 2 à 3 mètres de hauteur, en ayant soin d'avancer par couches verticales régulières. Ce deuxième procédé est plus dispendieux que le précédent et n'est plus guère employé que lorsqu'on ne dispose pas d'une usine à étages.

Nous conseillons, pour l'extinction, l'emploi de fosses de

3 mètres de profondeur en contre-bas de l'aire de défournement. On donnera à ces fosses une largeur de 3 à 4 mètres et la plus grande longueur possible.

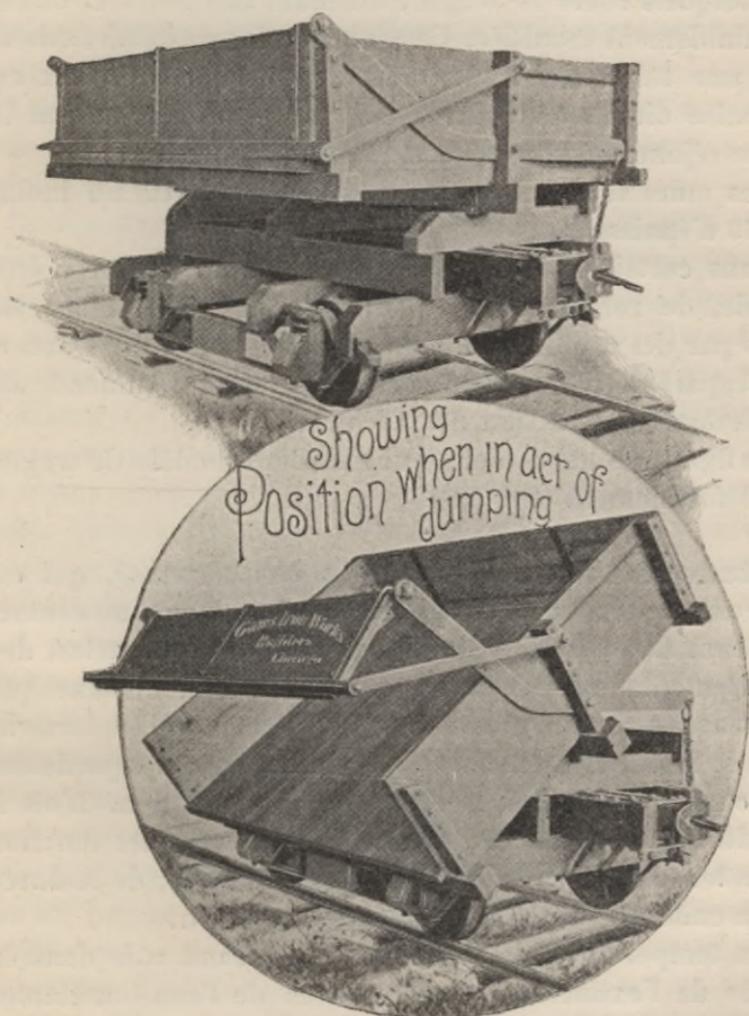


Fig. 29. — Wagon de défournement.

Si on dispose d'une place suffisante, l'installation modèle d'une salle d'extinction consisterait à avoir 15 fosses comme celles que nous indiquons, capables chacune de contenir la quantité de chaux que produit l'usine pendant une journée.

Ces fosses sont recouvertes par un plancher en fer à claire-voie, formé de poutres de 12 centimètres de hauteur espacées de mètre en mètre et supportant les rails sur lesquels roule le wagon, amenant des fours la chaux préalablement mouillée. Un plancher formé généralement par une tôle striée règne dans l'entre-rail. La chaux est basculée directement du wagon dans les fosses où on la laisse séjourner quinze jours.

Les murs séparant deux fosses devront avoir au moins 0<sup>m</sup>,70 d'épaisseur.

Dans certaines usines, on a essayé, par mesure d'économie, de remplacer les poutres en fer supportant les rails par des rondins bruts en sapin, on a dû y renoncer, la plupart de ces bois se carbonisant sous l'influence de la chaleur d'extinction de la chaux.

La figure ci-dessus donne un excellent modèle de wagon de défournement (fig. 29).

**Étude de l'extinction.** — La chaux grasse, qui est poreuse, s'éteint et se désagrège immédiatement au contact de l'eau. Les chaux hydrauliques, qui sont compactes, demandent plus de temps, et cela tient au phénomène que nous avons signalé plus haut : les silicates qui se forment lors de la cuisson, enrobent en quelque sorte des particules de chaux et les protègent contre l'hydratation. D'où il résulte que la rapidité d'extinction sera toujours fonction de la teneur en argile des calcaires employés, de la durée de la cuisson et de la température de cuisson.

La température de l'eau joue un grand rôle dans la durée de l'extinction. Arrosées avec de l'eau bouillante, les chaux les plus compactes sont éteintes et désagrégées en trois heures. Nous verrons, dans le chapitre des Essais des chaux, le parti qu'on a tiré de cette remarque.

Il faudra donc, en pratique, éteindre la chaux avec de l'eau la plus chaude possible et s'opposer au refroidissement des tas de chaux dans les fosses d'extinction. On

atteint ce but en recouvrant le plus rapidement possible, par de nouvelles couches, la chaux que l'on verse dans les fosses d'extinction; de cette façon, la chaux est déjà enfouie profondément lors du dégagement maximum de chaleur. Lorsque cette opération est rapidement conduite, la température des tas de chaux atteint 200°.

Lorsqu'on dispose d'eau chaude provenant des condenseurs des machines à vapeur, il y a tout avantage à les employer à l'extinction.

La chaux retient de 7 à 8 p. 100 d'eau en poids après effusement complet. On l'éteint avec 10 p. 100 d'eau en poids à cause des pertes par évaporation. Dans certaines usines, on pousse cette proportion jusqu'à 20 p. 100; il ne faut pas oublier que, dans ce cas, l'eau en excès se fixe sur le silicate de chaux qui perd alors ses propriétés hydrauliques, et que, d'autre part, elle tend à refroidir les tas de chaux, s'opposant par ce fait à une extinction complète. Une chaux noyée perd donc ses qualités hydrauliques, et à l'emploi pourra gonfler, par suite d'une extinction ultérieure.

Il pourra paraître étrange que la Chaux hydraulique ait besoin d'un si long temps pour être employable, alors qu'au bout de 48 heures, tout mouvement a cessé dans la masse, et surtout, point essentiel, aucun dégagement de vapeur ne se produit plus. D'autre part, il est évident que l'humidité atmosphérique ne peut pénétrer la masse. Pourtant, si on prend de la chaux n'ayant que 48 heures de fosse, elle donnera des mortiers qui se fendilleront par suite d'extinction incomplète, et qui ne seront pas hydrauliques. La même chaux, avec 15 jours de fosse, donnera un mortier excellent. La chaux a donc continué à s'éteindre et l'hydraulicité est revenue. L'explication de ce phénomène est la suivante :

Lorsqu'au bout de 48 heures, l'hydratation de la chaux est presque complète et ne fournit plus de chaleur au tas, ce tas a une tendance au refroidissement, et

l'excès d'eau de la masse peut se fixer sur les silicates et aluminates qui de ce fait, et à ce moment, perdent leurs propriétés hydrauliques.

C'est cette eau, abandonnée plus tard par les silicates et aluminates, qui servira à éteindre complètement les particules de chaux qui auront été plus lentes à s'hydrater. Les silicates et aluminates recouvreront de ce fait leurs propriétés hydrauliques et la chaux, complètement hydratée et effusée, n'aura plus tendance au gonflement.

C'est pour ces raisons que le séjour prolongé en fosses est indispensable si l'on veut obtenir un bon produit. C'est la condition « sine qua non » d'une bonne fabrication.

Voici, d'après M. Le Chatelier, l'explication scientifique du phénomène :

« On sait que la formation et la décomposition des  
« hydrates est, à chaque température, limitée par une  
« certaine tension déterminée de vapeur d'eau. Pour l'hy-  
« drate de chaux, cette tension limite de dissociation  
« d'efflorescence est de une atmosphère à 450°; elle  
« atteint la même valeur pour le silicate de chaux vers  
« 150°. Elle décroît d'ailleurs avec la température, suivant  
« une loi identique à celle que suit la tension de vapeur  
« de l'eau pure. Il en résulte que, pour l'hydrate de chaux  
« à la température ordinaire, cette tension doit être  
« égale à une fraction inappréciable de millimètre de  
« mercure, tandis que, pour le silicate de chaux, elle  
« atteint plusieurs millimètres de mercure. A 100° elle  
« n'est pas encore d'un millimètre pour le premier de  
« ces corps, elle est de plusieurs centimètres pour le  
« second. Il en résulte que, dans une masse pulvéru-  
« lente renfermant du silicate de chaux hydraté, l'at-  
« mosphère confinée dans les vides renfermera de la  
« vapeur d'eau à une tension égale à celle de dissocia-  
« tion de cet hydrate. Cette vapeur hydratera progressive-  
« ment la chaux vive restante, et, au fur et à mesure

« de son absorption, sera remplacée par une nouvelle  
 « quantité abandonnée par le silicate dont la décom-  
 « position ne s'arrête qu'après le rétablissement de sa  
 « tension propre d'efflorescence. »

**Blutage.** — Lorsqu'on juge que la chaux est suffisamment éteinte, on ouvre les portes des salles d'extinction et on la reprend soit avec de grandes brouettes capables de contenir 100 kil. de chaux, soit avec des wagonnets. La reprise

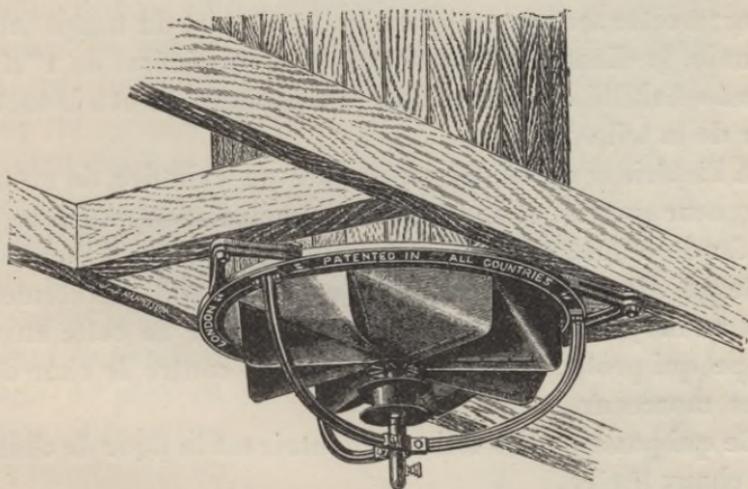


Fig. 30. — Ventilateur Blackmann.

ayant lieu à la pelle, les ouvriers préfèrent en général la brouette qui, étant moins haute que le wagonnet, leur permet de ne pas faire autant de poussière. Cette reprise de la chaux dans les fosses est un travail des plus pénibles. Peu d'ouvriers peuvent résister à l'atmosphère suffocante des fosses et aux brûlures que font les folles poussières de chaux vive. On remédie à cela en installant au-dessus des fosses des ventilateurs, nous recommandons ici le ventilateur Blackmann (fig. 30) qui refoule les folles poussières de chaux dans des chambres où elles sont ensuite reprises.

Nous devons dire ici que les poussières de chaux ne pa-

raissent pas avoir une action mauvaise sur l'organisme, nous avons eu des équipes d'ouvriers qui, après 15 ans de travail, n'étaient nullement atteints dans les voies respiratoires.

La chaux est versée sur une grille de 1 mètre de long sur 0<sup>m</sup>,80 de large dont les barreaux sont espacés de 3 centimètres. On l'étaie sur cette grille au moyen d'un râteau en fer. Les gros morceaux d'incuits ou de surcuits restent sur la grille et sont enlevés.

Ce qui a passé par la grille va dans les blutoirs. Ces blutoirs sont composés d'un cylindre d'environ 3 mètres de long; à cette section polygonale, la plupart du temps octogonale, le diamètre de la section est en général de 1<sup>m</sup>,10. Il est « habillé » à l'entrée par de la toile n° 40 et à la sortie par de la toile n° 50.

A l'intérieur du blutoir se trouve un cylindre de même longueur que lui, et de 0<sup>m</sup>,60 de diamètre, composé de tiges de fer de 0<sup>m</sup>,010 espacées entre elles de 0<sup>m</sup>,005. La chaux, telle qu'elle arrive de la grille, est versée soit directement soit au moyen d'un remonteur à l'intérieur de cette enveloppe qui protège les toiles du blutoir contre le choc des gros morceaux.

Ce qui passe par les toiles du blutoir est la fleur de chaux ou chaux légère.

Les blutoirs ont une inclinaison de 4 à 6 centimètres par mètre, leur vitesse est d'environ 32 tours par minute,

Le rejet de l'enveloppe protectrice et du blutoir est envoyé dans un moulin à meules écartées, qui broie les morceaux de chaux non complètement effusés, ou enveloppés de silicates qui les ont protégés jusque-là contre l'extinction. La chaleur produite par la mouture provoque un dégagement de vapeur d'eau qui achève d'éteindre cette chaux.

Le produit du moulin est envoyé dans un 2<sup>e</sup> blutoir habillé entièrement à la toile n° 50.

Les meules de ce moulin ont 1<sup>m</sup>,50 de diamètre et tournent à 110 tours. Nous donnons ci-contre un plan et une coupe de ces meules, indiquant la façon dont les meules doivent être

retailées; l'application de ce mode de retailage nous a donné les meilleurs résultats (fig. 30 bis).

Dans les installations bien comprises, le rejet du 2<sup>e</sup> blutoir est envoyé dans un 2<sup>e</sup> moulin à meules plus serrées que le premier et dont le produit est envoyé dans un 3<sup>e</sup> blutoir. Le rejet de ce 3<sup>e</sup> blutoir habillé, lui, en toile n<sup>o</sup> 50, est le grappier proprement dit que nous étudierons plus loin.

Dans certaines usines et notamment dans le bassin du Rhône, on sépare la chaux légère obtenue par le premier blutoir des chaux plus siliceuses dites chaux lourdes, obtenues aux 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> blutoirs. Cette séparation tend de plus en plus à disparaître et en général on mélange intimement le produit des 3 blutoirs et

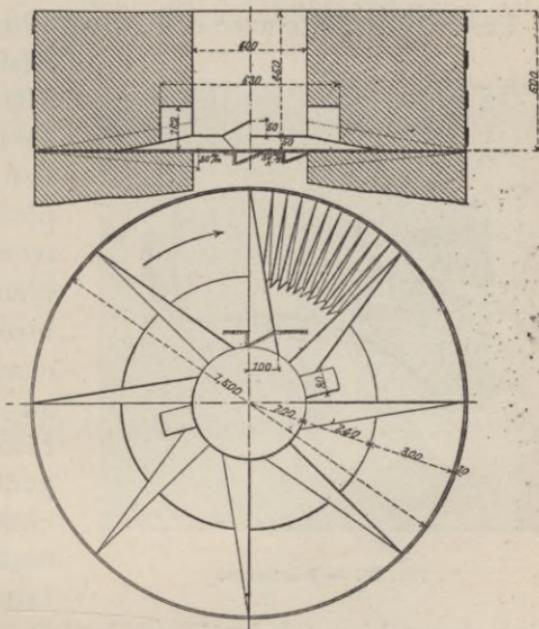


Fig. 30 bis. — Meule Fontaine.

on ne fait qu'une seule qualité de chaux. Ce mélange s'opère automatiquement d'une façon très simple en réunissant les trois blutoirs dans le même encaissement.

On peut remarquer que le blutoir n<sup>o</sup> 1 travaillera beaucoup plus que les deux autres; aussi au lieu d'un seul blutoir, on en met deux conjugués, armés d'une enveloppe protectrice pour recevoir la chaux venant des salles d'extinction.

Les quatre blutoirs étant dans le même encaissement, ceux qui sont situés à la partie inférieure pourraient être rapide-

ment aveuglés par la chaux légère venant des blutoirs 1 et 1'. On remédie à cet inconvénient en ne plaçant pas les blutoirs dans le même plan et en recouvrant d'une sorte de toit les blutoirs 2 et 3.

Les blutoirs doivent être brossés et visités tous les jours : si un blutoir est crevé, il peut laisser passer des petits morceaux siliceux non effusés qui gonfleront à l'emploi et donneront des résultats détestables.

Les enduits faits avec de la chaux dont la finesse laisse à

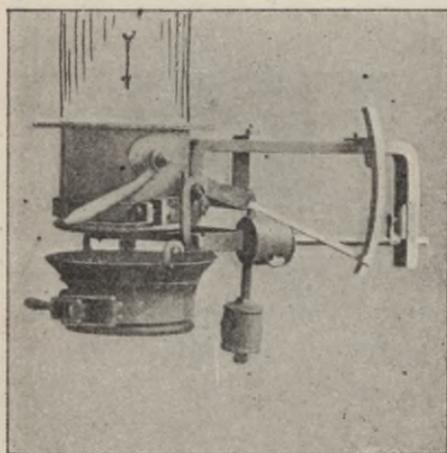


Fig. 31. — Pèse-sacs.

désirer, ne tardent pas à être criblés de petits trous comme si on avait tiré dessus avec du plomb de chasse. Ces trous proviennent simplement du gonflement tardif de particules de chaux ayant échappé au blutoir. Quand ce résultat se produit, on peut affirmer que la chaux manque de finesse et que sa fabrication est peu soignée.

Une chaux bien fabriquée ne devrait pas donner plus de 2 % de refus au tamis n° 50. 324 mailles par centimètre carré).

La proportion de grappiers ou refus au blutoir n° 3 est de 6 à 10 % du poids de chaux fabriquée.

L'encaissement où se trouvent les 4 blutoirs est terminé par une trémie à parois très inclinées. La partie inférieure est rectangulaire et a 0<sup>m</sup>,50 × 1 mètre, elle est percée de deux trous où sont ajustées deux manches en fonte fermées au moyen d'une valve à papillon. L'ouvrier passe le sac vide à l'intérieur d'un cercle en fer, et il accroche le sac et le cercle à 3 crochets suspendus au petit côté d'une romaine spéciale

placée de telle façon que le sac se trouve juste sous la manche. On ouvre la valve et la chaux tombe dans le sac. Le fléau de la romaine se lève quand le sac pèse bien 50 kilos. Pour prévenir les erreurs, le poids est fixé sur les fléaux et on doit les vérifier chaque jour (fig. 31).

Un petit tamis à main à la toile n° 40 doit être toujours à proximité des ouvriers de façon qu'ils puissent de temps en temps se rendre compte que la chaux ne renferme pas de grappiers, ce qui indiquerait que les toiles des blutoirs auraient besoin de réparations.

En résumé, pour une bonne fabrication, 100 parties de chaux telle qu'elle sera prise dans les fosses d'extinction devront donner :

Incuits . . . . .	6.00	p. 100
Fleur de chaux . . . . .	68.70	—
Farine de grappiers . . . . .	13.08	—
Grappiers. . . . .	12.22	—
	<hr/>	
	100.00	

Ces grappiers après silotage donneront :

Chaux . . . . .	1.00	p. 100
Ciment de grappiers. . . . .	10.22	—
Pertes diverses. . . . .	1.00	—
	<hr/>	
	12.22	

**Prix de revient.** — On peut évaluer le prix de revient de la chaux à ce moment de 8 à 8 fr. 50 la tonne, se décomposant ainsi :

Extraction. . . . .	0.50 à 1.50
Cuisson . . . . .	3.50 à 4.50
Défournement et mise en fosse. . . . .	0.50 à 0.75
Blutage . . . . .	1.00 à 1.50
Frais généraux d'entretien. . . . .	0.50 à 1.00

M. Charles Morel, constructeur à Domène (Isère), a imaginé un blutoir conique qui peut dans certains cas rendre des services.

Il se compose (fig. 32) d'une cuvette en tôle où sont disposés deux tamis coniques renversés l'un par rapport à l'autre. Ces tamis reçoivent deux mouvements, l'un de trépidation rapide, l'autre de rotation lente (5 tours par minute) qui a pour but de régulariser la matière sur le tamis et de broser ses toiles. Quand la chaux a été blutée

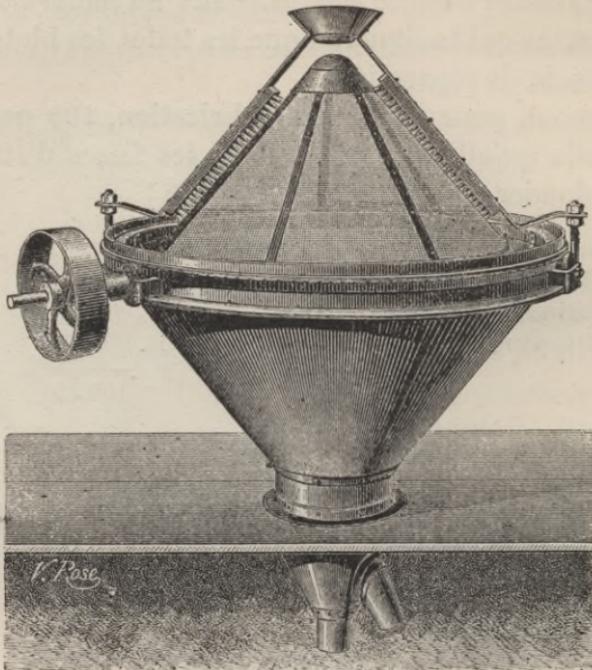


Fig. 32. — Blutoir conique, système Morel.

dans le tamis supérieur, elle tombe sur le tamis inférieur renversé où elle achève de se tamiser; les farines obtenues sont évacuées par une trémie au bas de l'appareil; les grappiers sortent par un ajustage spécial. Une bluterie de 1<sup>m</sup>,50 peut donner 1.500 kilos de chaux par heure.

Cet appareil fait réaliser une grande économie dans la consommation de toiles métalliques. En effet, les toiles ne sont jamais chargées de matières et 3 mètres carrés seulement sont employés. D'autre part, pour un numéro déter-

miné de tamisage, le numéro de la toile est plus grand que le numéro réel, par suite de l'inclinaison de la toile qui ne présente pas ses trous perpendiculairement à la matière, mais obliquement. Dans cet appareil, les toiles se bouchent moins que dans les bluteries ordinaires et sont moins sujettes aux fendillements. La pratique démontre qu'on peut réduire de 5 unités le numéro des toiles à employer.

**Blutages par ventilation.** — Nous empruntons à l'excellent opuscule de M. Gobin sur la fabrication des chaux hydrauliques dans le bassin du Rhône la description de ce procédé tel qu'il est employé aux usines de Virieu.

Les matières pulvérisées sont amenées, au moyen d'un tube, à l'extrémité d'un cylindre en tôle de 1<sup>m</sup>,50 de longueur et de 0<sup>m</sup>,55 de diamètre dont l'axe est légèrement incliné sur l'horizontale (0<sup>m</sup>,20 pour 1 mètre); ce cylindre tourne autour de son axe et de petites ailettes, fixées à sa paroi intérieure suivant des génératrices, ramènent constamment à la partie supérieure les matières pulvérisées qui retombent ensuite en lames minces vers la génératrice inférieure, en traversant le cylindre suivant un diamètre. Dans ce mouvement, les parties les plus fines sont entraînées par un courant d'air qui traverse le cylindre dans le sens de son axe, en entrant par la partie la plus basse et en sortant par la partie haute qui débouche dans une *chambre de dépôt* où les poudres tombent par leur propre poids, par suite de l'épanouissement du courant d'air et de la grande diminution de sa vitesse. Environ les 9/10 de la poudre blutée tombent près du débouché du cylindre, le reste se dépose plus loin; mais le tout est réuni en un seul point par suite de la disposition du plancher en forme de trémie. Les matières à bluter sont amenées vers l'extrémité la plus haute du cylindre; les parties non entraînées par le courant d'air qu'elles traversent environ vingt fois arrivent peu à peu vers l'extrémité inférieure qui les évacue dans une trémie où une chaîne à

godets les reprend pour les porter au hangar de dépôt.

Le courant d'air est obtenu au moyen d'une aspiration établie à l'extrémité de la chambre de dépôt par le tirage de la cheminée et par l'action d'un petit ventilateur; l'air aspiré passe d'abord par le cylindre bluteur qui est la seule ouverture de communication entre la chambre et l'extérieur, puis il s'épanouit dans la chambre de dépôt. En réglant convenablement le courant d'air au moyen d'un registre placé à l'entrée du cylindre (1), il est facile d'obtenir une poudre blutée dont les parties les plus grosses passent dans une toile de numéro donné. Ce réglage une fois fait, le blutage se continue automatiquement avec la régularité la plus parfaite. Un petit regard placé en face du débouché du cylindre permet, du reste, de recevoir sur une petite pelle la poudre blutée et de vérifier sa finesse au moyen du tamis d'épreuve.

Ce système présente de nombreux avantages que nous allons énumérer :

1° Il supprime l'emploi des toiles métalliques qu'il faut réparer fréquemment et renouveler souvent; de là des pertes de temps, des irrégularités de finesse, des passages de gruaux avec la poudre et des frais considérables;

2° Il exige une force motrice beaucoup plus faible que celle des blutoirs ordinaires et n'entraîne que des frais d'installation peu importants;

3° Il supprime absolument toutes les poussières dans l'usine, puisqu'il y a aspiration de l'air par l'appareil; de là commodité pour les ouvriers et réduction de l'usure des organes des machines, paliers, axes, etc.;

4° Il permet de changer à volonté le degré de finesse de la poudre blutée, sans arrêter l'appareil, par un simple réglage du courant d'air; au besoin, on pourrait classer les

(1) La dépression produite dans la chambre de dépôt par l'aspiration se mesure facilement au moyen d'un tube en U, en verre, en communication, d'un côté, avec cette chambre, et, de l'autre, avec l'air extérieur. L'index d'eau colorée en rouge indiquait 3 millimètres de dépression le jour de notre visite.

poudres par ordre de finesse en disposant convenablement le plancher de la chambre de dépôt;

5° Il permet de bluter des matières incomplètement sèches, ce qui est impossible avec les toiles métalliques;

6° Il fonctionne d'une manière continue, régulière, sans usure appréciable et sans nettoyage;

7° Enfin, il donne une régularité absolue de mouture.

A ce dernier point de vue surtout, son emploi dans la fa-

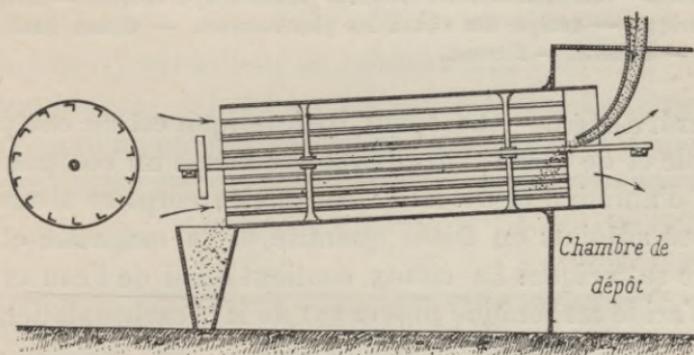


Fig. 33.

brication des chaux lourdes et ciments présente de grands avantages, car il permet d'éliminer complètement d'une poudre toutes les parties qui ne passeraient pas dans une toile de 900 mailles par centimètre carré (1) et qui sont à peu près inertes. La proportion des parties actives contenues dans un ciment qui satisfera à cette condition sera donc sensiblement augmentée et sa valeur intrinsèque sera plus grande.

Nous donnons ci-dessus le croquis de l'appareil (fig. 33).

(1) Ce nombre de mailles correspond à la toile n° 81. En effet, il est donné par  $\sqrt{900} = 30$  fils au centimètre linéaire, ou par  $30 \times 2,7 = 81$  fils au pouce linéaire, le pouce ayant une longueur de 2<sup>cm</sup>,7.

## CHAPITRE IV

### **Propriétés physiques et chimiques de la chaux hydraulique.**

Généralités. — Classification des chaux. — Indice d'hydraulicité. — Exemple numérique. — Analyse des chaux les plus connues. — Chaux limite. — Prix. — Densité. — Finesse.

**Généralités.** — La chaux hydraulique est un composé d'argile et de chaux, l'argile est elle-même un composé de silice d'alumine et de fer. A ces quatre corps se trouvent souvent adjoints en faible quantité de la magnésie et de l'acide sulfurique. La chaux contient aussi de l'eau et un peu d'acide carbonique provenant de la recarbonatation.

**Classification des chaux. Indice d'hydraulicité.** — L'indice d'hydraulicité d'une chaux est le rapport de l'argile à la chaux caustique. Le tableau suivant donne le degré d'hydraulicité des chaux :

Désignation des produits.	Indice d'hydraulicité.
Chaux grasse ou chaux maigre. . . . .	de 0,00 à 0,10
— faiblement hydraulique. . . . .	0,10 à 0,16
— moyennement hydraulique. . . . .	0,16 à 0,31
— hydraulique. . . . .	0,31 à 0,42
— éminemment hydraulique. . . . .	0,42 à 0,50
— limite. . . . .	0,50 à 0,65

Quand on possède l'analyse d'un échantillon, il est facile de calculer son indice : on fait la somme des nombres représentant les proportions des divers éléments de l'argile non solubles dans les acides en exceptant le sable. On calcule le rapport de cette somme au nombre qui exprime la dose de chaux caustique contenue dans l'échantillon.

**Exemple numérique.** — Soit à calculer l'indice d'hy-

draulicité d'un échantillon calcaire contenant 94,7 de carbonate de chaux et 5,3 d'argile.

*Solution.* — L'équivalent de la chaux caustique est 28.  
— du carbonate de chaux est 50.

La chaux caustique contenue dans l'échantillon sera donc

$$94,7 \times \frac{28}{50} = 94,7 \times 0,56 = 53.$$

Le rapport de l'argile à la chaux sera donc

$$\frac{5,3}{53} = 0,10.$$

L'indice d'hydraulicité de cet échantillon est 0,10.

Nous donnons ci-joint un tableau donnant l'analyse des chaux les plus connues, extrait de l'ouvrage de M. Candlot :

PROVENANCE	SABLE SILICEUX	SILICE	ALUMINE	OXYDE DE FER	CHAUX	MAGNÈSE	ACIDE SULFURIQUE	PERTE AU FEU	PRODUITS NON DOSÉS	INDICE d'hydraulicité
*Échoisy (Charente) . . . . .	»	11.70	4.60	2.30	59.20	1.40	»	20.80	»	0.28
*Malain (Côte-d'Or) . . . . .	»	10.60	4.45	1.35	65.85	0.50	0.80	16.45	»	0.23
*St-Antonin (Tarn-et-Garonne)	»	12.65	5.30	2.35	62.80	2.30	3.40	11.20	»	0.29
*Argenteuil (Seine-et-Oise) . .	»	17.85	5.20	2.40	56.80	1.35	1.30	14.90	»	0.41
*Les Moulineaux (Seine) . . . .	2.40	49.45	5.00	3.15	57.80	0.55	0.75	10.90	»	0.42
*Paviers (Indre-et-Loire) . . .	»	23.00	2.05	1.05	61.50	0.65	»	11.75	»	0.41
*Marans (Charente-Inf <sup>re</sup> ) . . .	»	13.70	5.90	2.70	58.10	1.40	»	18.20	»	0.34
*Saint-Astier (Dordogne), . . .	»	21.85	1.35	2.85	62.25	1.05	0.50	10.15	»	0.37
*Contes-les-Pins (Alp <sup>es</sup> -Mar <sup>es</sup> ) .	»	22.55	5.00	2.60	57.75	0.60	1.35	10.15	»	0.48
*Senonches (Eure-et Loir) . . .	»	21.60	1.60	1.30	61.10	1.70	»	12.70	»	0.38
*Le Teil (Ardèche) . . . . .	»	23.13	1.72	0.73	63.76	0.97	»	9.69	»	0.39
* id. . . . .	0.30	49.05	1.60	0.55	65.10	0.65	0.30	12.45	»	0.32
*Cruas (Ardèche) . . . . .	0.30	21.60	2.00	1.25	65.80	0.35	0.15	8.55	»	0.36
*Beffes (Cher) . . . . .	1.35	15.50	4.25	3.20	61.35	1.05	0.45	12.85	»	0.32
Le Teil . . . . .	»	23.40	1.77	0.83	64.85	0.30	0.42	8.60	»	0.38
id. . . . .	»	21.70	3.19	0.66	60.70	0.85	0.60	12.20	0.10	0.44
id. . . . .	»	23.45	0.76	0.79	63.70	1.26	0.58	9.20	0.18	0.38
id. . . . .	»	21.00	1.46	0.73	59.80	1.44	0.63	14.73	0.21	0.38
Beffes . . . . .	»	16.30	5.41	2.09	58.90	1.15	0.90	14.90	0.35	0.37
id. . . . .	»	16.20	4.11	2.09	60.36	0.54	0.77	16.00	»	0.33
Senonches . . . . .	»	18.90	3.14	1.46	60.46	0.72	0.73	14.25	0.34	0.36
Tournai . . . . .	»	19.75	3.44	1.16	61.85	0.60	0.45	12.55	0.20	0.37
id. . . . .	»	19.30	4.44	1.26	59.42	1.31	0.60	13.40	0.07	0.39
id. . . . .	»	22.20	3.30	1.20	58.50	1.15	0.72	12.40	0.53	0.43
id. . . . .	»	21.10	3.90	2.00	63.32	1.20	0.63	8.75	0.10	0.39
id. . . . .	»	10.20	4.32	1.88	58.12	1.11	0.34	24.00	»	0.25
id. . . . .	»	25.80	5.65	1.57	57.50	0.68	0.90	8.10	»	0.55
Villeneuve (B <sup>es</sup> -du-Rhône) . . .	»	24.70	2.80	1.50	69.50	»	»	1.50	»	»
Valette-Vialard . . . . .	»	21.40	2.20	1.25	66.10	0.30	0.15	7.90	0.70	0.36

*Nota.* — Les analyses marquées d'une astérisque sont extraites de la *Chimie appliquée à l'art de l'Ingénieur*, par M. l'Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Durand-Claye, les autres analyses ont été faites par nous-mêmes.

**Chaux limite.** — On appelle ainsi des chaux provenant de calcaires, dont l'indice d'hydraulicité est de 0,50 à 0,65. Lorsque ces calcaires sont parfaitement cuits, la chaux ainsi produite ne s'éteint pas sous l'eau. Si on la réduit en poudre fine, et qu'on la gâche avec peu d'eau, elle fait prise instantanément avec un dégagement de chaleur important. Au bout de quelques jours, cette solidification n'existe plus et la chaux se fissure et tombe en bouillie. Cela tient à ce que ces produits contiennent de la chaux qui ne s'éteint qu'à la longue. C'est au moment de cette extinction tardive que se produit la désagrégation.

Beaucoup de produits vendus sous le nom de ciment romain, ciments à prise rapide, ciments fulminants, etc., ne doivent leur prise extrêmement rapide qu'à la chaux limite que l'inexpérience ou la mauvaise fabrication y ont laissé incorporer.

Il est bon de remarquer ici, qu'en poussant la cuisson des calcaires à chaux limite jusqu'à la vitrification, on obtient par le broyage un excellent ciment Portland naturel de composition analogue à celle des meilleurs ciments artificiels.

**Prise.** — Il est admis qu'une chaux éminemment hydraulique de bonne qualité doit avoir fait sa prise complète sous l'eau dans un temps qui varie entre 24 et 48 heures. Une chaux hydraulique ordinaire fait prise du 2<sup>e</sup> au 9<sup>e</sup> jour. Enfin une chaux faiblement hydraulique fait prise du 9<sup>e</sup> au 30<sup>e</sup> jour.

Lorsqu'une chaux fait prise trop rapidement, et que cette prise est accompagnée d'une certaine élévation de température, il faut en conclure qu'elle est mélangée avec le produit de la cuisson de calcaires trop argileux, qui ont donné une sorte de ciment prompt; dans ce cas, la chaux est légèrement jaunâtre. Le danger résultant de l'emploi de ces chaux est d'autant plus grand, que pendant les premiers jours elles paraissent donner une résistance supérieure aux chaux blanches ordinaires. En réalité comme, par le fait

même de l'incorporation de parties siliceuses, elles ont les plus grandes chances de contenir des particules non éteintes, il est rare qu'elles ne gonflent pas et qu'au bout de fort peu de temps les mortiers ne présentent pas des signes de désagrégation.

Lorsque, au contraire, une chaux n'a pas fait sa prise dans le temps normal, c'est ou bien qu'elle a été noyée, et nous avons vu plus haut qu'une chaux noyée est en même temps une chaux mal éteinte, ou bien encore qu'on y a mélangé des incuits, ce dernier cas est moins nuisible à la qualité et l'analyse décèlera facilement cette mauvaise fabrication par la simple effervescence aux acides.

Nous verrons plus loin, lorsque nous étudierons les méthodes d'essai, ce qu'on entend par prise complète de la chaux.

**Densité.** — La densité apparente des chaux hydrauliques varie de 0,500 à 0,800. Il ne paraît pas que la densité d'une chaux puisse donner des indications sérieuses sur sa qualité.

Certaines chaux pourront devoir leur densité élevée à l'adjonction de matières inertes, telles que le sable, les incuits et les surcuits. Néanmoins, une bonne chaux bien fabriquée doit avoir une densité de 6 à 700 grammes par litre. La chaux du Teil a en moyenne 0,700; la chaux du Bellay 0,730; celle de Bons 0,600; celle de Vallette-Vialard 0,720 à 0,780; celle de Villeneuve 0,650; celle de Romain Boyer 0,650.

Le poids spécifique moyen de la chaux est 2,70 à 2,80.

**Finesse.** — Les récents travaux des savants qui se sont occupés de cette question tendent à démontrer que les parties fines sont le seul élément actif du durcissement, et que les particules grossières sont ou inertes ou nuisibles. L'État pour la réception des diverses marques de chaux dans ses cahiers des charges, se montre de plus en plus difficile sur ce point, et tend à ne plus admettre de résidu à la toile n° 50.

Nous donnons ici la finesse de quelques chaux :

	RÉSIDUS %		
	VALETTE-VIALARD	VILLENEUVE	TEIL
Toile n° 50 (324 mailles) . . . . .	0.3 à 0.5	2.0	0.8
— 80 (900 — ) . . . . .	5.0 à 7.0	8.5	7.3
— 200 (5.000 — ) . . . . .	20.0 à 27.0	23.4	19.2

Pour apprécier la densité de la chaux, mesurée sans tassement, il faut pouvoir opérer dans des conditions toujours

identiques. On prend une mesure de 1 litre que l'on fait reposer sur un support inébranlable (fig. 33 bis).

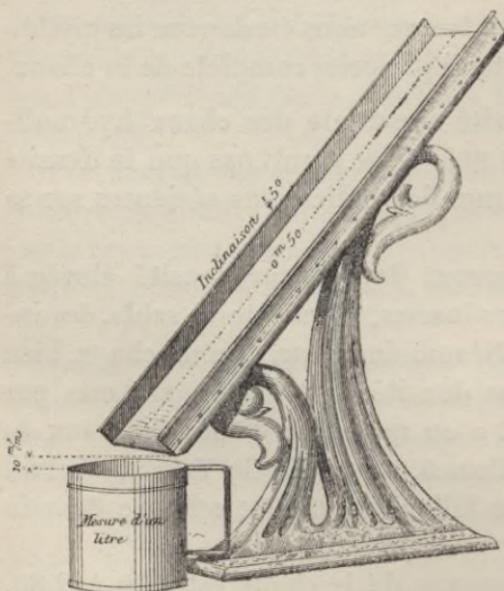


Fig. 33 bis. — Appareil de mesure de la densité des chaux.

Au-dessus de cette mesure, on dispose un plan incliné à  $45^\circ$  formé par une feuille de zinc, longue de  $0^m,50$  et large de  $0^m,10$ . Le bord inférieur du plan incliné devra être à 1 centimètre au-dessus du bord supérieur de la mesure de 1 litre.

On verse la chaux doucement avec une cuiller, au sommet du

plan incliné, et lorsque la mesure est bien pleine, on enlève l'excès qu'elle peut contenir au moyen d'une règle à dessin tenue dans un plan bien vertical.

On répète cinq fois cette opération, et on fait une seule pesée pour ces cinq expériences. Le poids obtenu divisé par cinq donne la densité de la chaux.

## CHAPITRE V

### Essais des chaux.

#### 1° Essais physiques.

Prise. — Aiguille Vicat. — Résistance. — Briquettes. — Machine du Dr Michaelis. — Machine de Guillot frères. — Essais à la compression. — Machine d'essai. — Appareil à marteaux de Böhme. — Résistance à la compression. — Essais à chaud. — Appareil Le Chatelier. — Conditions des fournitures de chaux au Service colonial. — Conseils pratiques pour les conditions de réception d'une chaux hydraulique.

**Prise.** — Pour apprécier la durée de prise d'une chaux, on la gâche en pâte ferme et on la place dans un verre à fond plat, bas et large. Un verre à dessin convient très bien pour cette opération. On verse sur cette pâte une quantité d'eau suffisante pour la recouvrir de 2 centimètres et on procède à une série d'essais à l'aiguille de Vicat. On considère que la chaux a fait prise lorsque l'aiguille ne s'enfonce plus dans la pâte.

On ne peut faire les essais de prise à l'air libre, car la chaux mettant souvent un temps considérable à prendre, la dessiccation de la pâte se produirait

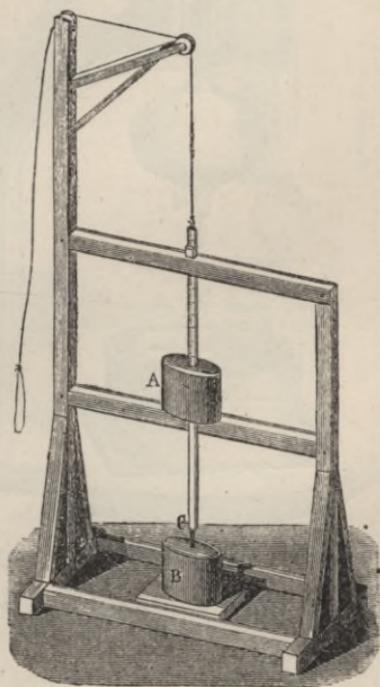


Fig. 34. — Aiguille Vicat.

avant la prise et fausserait les résultats. Il est cepen-

dant intéressant de faire des essais de prise à l'air libre en enfonçant dans la pâte un thermomètre sensible pour apprécier s'il ne se produit pas d'élévation de température pendant la prise. Nous avons vu que cette élévation de température dénoterait une chaux mal fabriquée.

L'aiguille de Vicat (fig. 34) est une aiguille à section carrée de 0<sup>m</sup>,001 de côté, sur laquelle est fixé un poids de 0<sup>k</sup>,300.

Cette aiguille est guidée de façon à descendre bien verticalement et pour qu'il ne se produise pas de secousses, l'aiguille est souvent retenue par une ficelle passant sur deux petites poulies. L'opérateur fait descendre l'aiguille sans choc jusqu'à ce qu'elle repose sur la pâte à essayer. On répète l'expérience jusqu'à ce que l'aiguille ne s'enfonce plus. (Fig. 34 et 35.)

Le temps est compté à partir du moment où on a versé l'eau sur la chaux.

**Résistance.** —  
Les essais  
de résis-

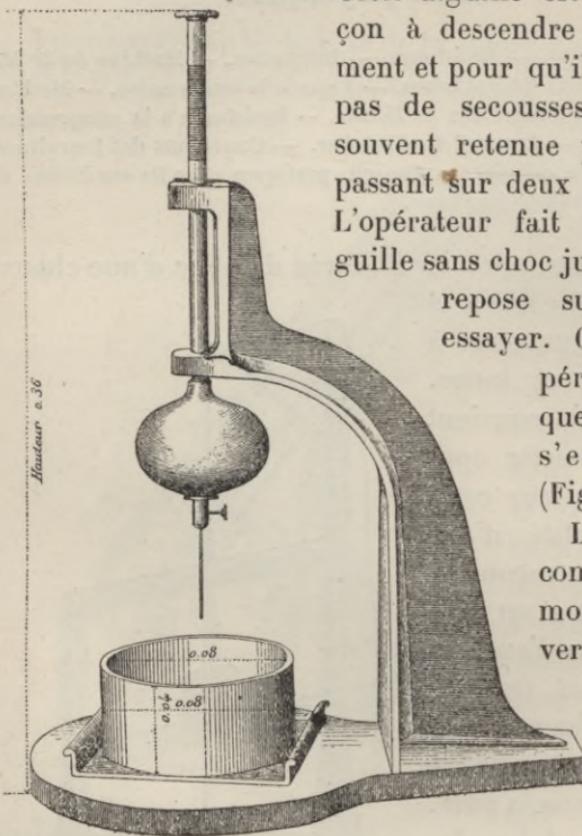
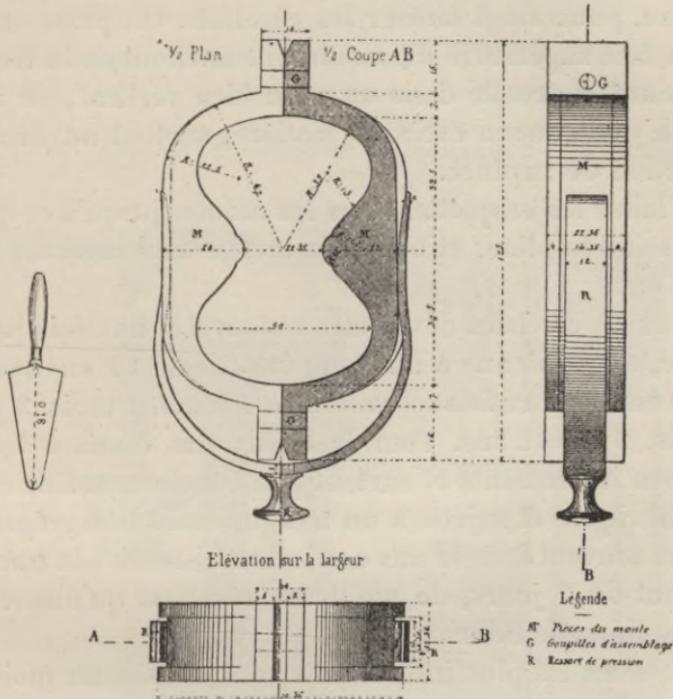


Fig. 35. — Aiguille de Vicat.

tance se font sur de la pâte de chaux pure et sur des mortiers.

Les essais sur la pâte pure ne peuvent avoir qu'un intérêt scientifique, ou de laboratoire. Les essais industriels sont les plus intéressants et se font sur le mortier dit 1 : 3

composé de 1 partie de chaux en poids et 3 parties en poids de sable normal, c'est-à-dire de sable quartzéux concassé et d'une grosseur telle qu'il ne laisse aucun résidu au tamis de 64 mailles par centimètre carré et reste entièrement sur le tamis de 144 mailles. Dans les essais administratifs, ce sable est fourni par l'administration.



Dans un laboratoire d'usine, il est intéressant de faire les essais sur la pâte pure conservée à l'eau douce et à l'eau de mer, et les essais sur le mortier 1 : 3 conservé à l'air, à l'eau douce et à l'eau de mer.

Pour ces essais, on se sert de briquettes faites dans des moules spéciaux en bronze, ayant la forme ci-contre (fig. 36), et ayant à la section de rupture :

$$0,0225 \times 0,022 = 5 \text{ centimètres carrés.}$$

On place les moules sur une plaque de métal poli et on humecte le tout. On remplit d'une même gâchée 6 moules à la fois en ayant soin qu'il y ait un léger excès de matière. On enfonce la pâte avec le plat de la truelle, en ayant soin de bien bourrer le moule, et on frappe ensuite sur les côtés du moule, de façon à faire dégager les bulles d'air qui pourraient être emprisonnées et qui, lors de la rupture, pourraient fausser les résultats. On passe ensuite sur la face supérieure du moule le tranchant de la truelle, en tenant la truelle dans un plan bien vertical, de façon qu'il n'y ait aucun excès de matière, surtout au droit de la section de rupture.

On laisse les briquettes dans les moules jusqu'à ce que la prise soit complète, et on les immerge dans des bacs remplis d'eau.

L'eau de ces bacs devra être renouvelée une fois par semaine, et maintenue à une température de 15° environ.

Les essais de résistance se font à 7 jours, 1 mois, 3 mois, 6 mois, 1 an et 2 ans. Pour la chaux, les essais à 7 jours sont peu intéressants et surtout peu concluants. Une chaux mal fabriquée et sujette à un très prochain désagrégement pourra souvent donner aux essais de résistance à la traction, au bout de 7 jours, de meilleurs résultats qu'une chaux hydraulique de bonne qualité.

Les essais les plus intéressants sont ceux à un mois et à trois mois.

La chaux hydraulique gâchée en pâte pure doit résister

à 7 jours. . . . .	à 2 <sup>k</sup> ,500 à 3 kilos.
à 28 — . . . . .	à 6 à 8 —
à 3 mois . . . . .	à 8 à 10 —
à 6 — . . . . .	à 10 à 15 —
à 1 — . . . . .	à 15 à 20 —

Les essais en pâte pure doivent être faits avec de la chaux gâchée avec 50 % en poids d'eau.

Les essais au mortier 1 : 3 doivent être faits avec 10 à

12 % du poids du mélange. Pour ces essais de mortier on dame fortement dans le moule au moyen d'un pilon en fonte qui épouse exactement la forme du moule. C'est une sorte de cylindre ayant comme section la surface plane de la briquette et pour hauteur 15 centimètres environ.

Les mortiers 1 : 3 doivent résister au minimum

à 7 jours. . . . .	3 kilos.
à 28 — . . . . .	5 à 8 —
à 3 mois. . . . .	10 à 15 —
à 6 — . . . . .	15 à 20 —

L'appareil qui sert à mesurer la résistance à la traction a

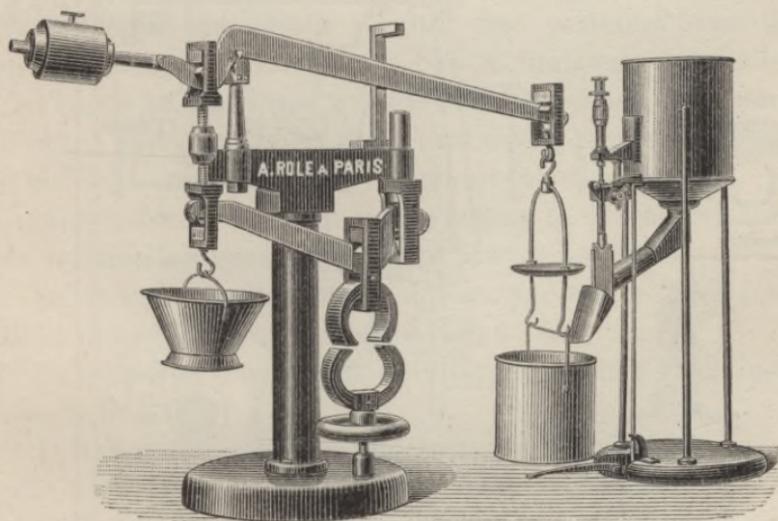


Fig. 37. — Appareil de mesure de la résistance à la traction.

été imaginé par le D<sup>r</sup> Michaelis (fig. 37). Il se compose de deux leviers dont l'effet est de multiplier par 50 l'effort de traction produit par de la grenaille de plomb coulant dans un seau, sur le point de suspension de la briquette. Au moment où la briquette se brise, la chute du seau ferme automatiquement l'arrivée de la grenaille de plomb. En suspendant le seau et son contenu au peson spécial situé à gauche de l'appareil, le poids qu'il faudra mettre sur le plateau de

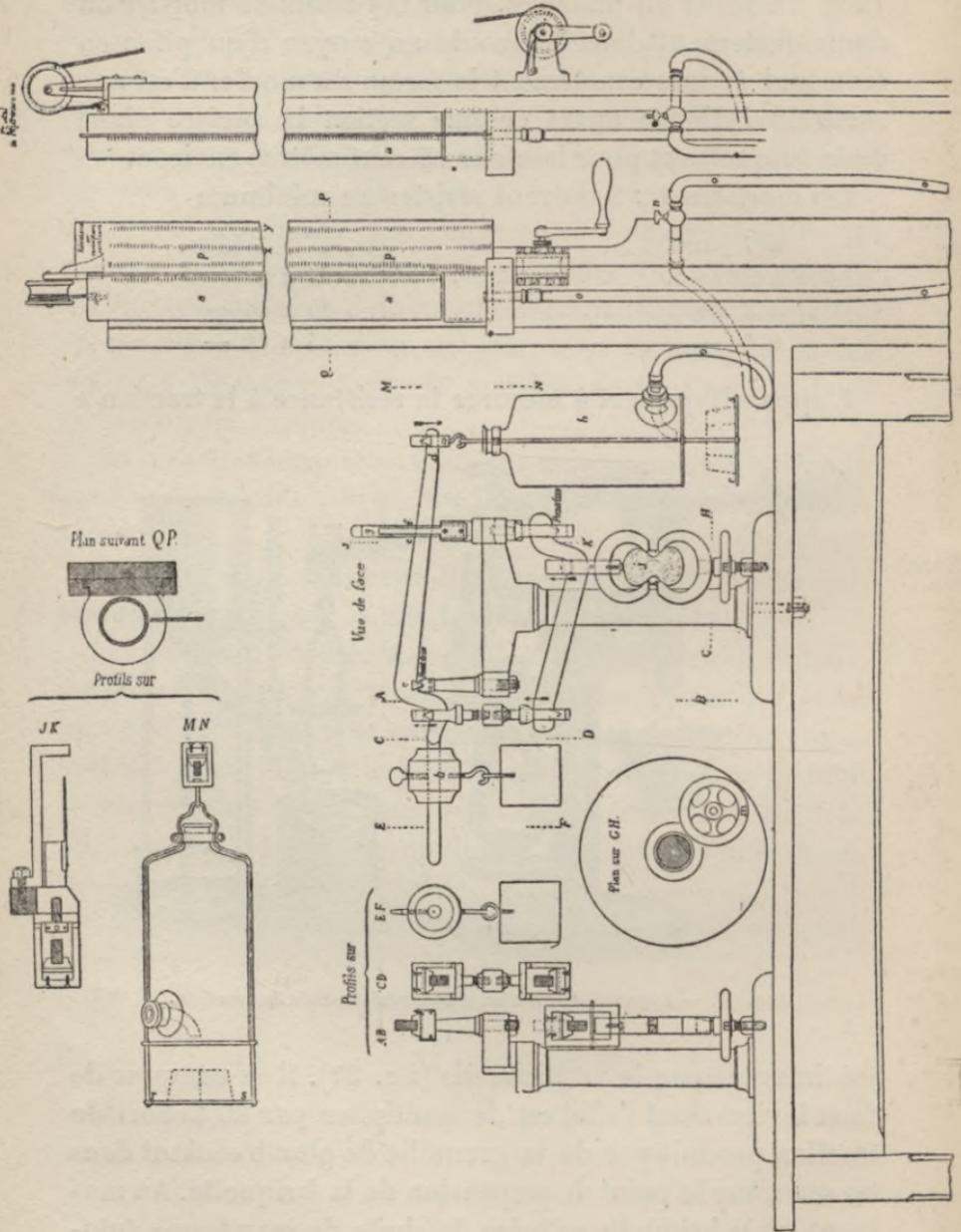


Fig. 37 bis. — Appareil de MM. Guillot frères pour la mesure des résistances à la traction.

droite représente la résistance par centimètre carré de la

briquelette. L'écoulement du plomb est réglé à 100 grammes par seconde.

L'inconvénient de cet appareil est qu'il comporte deux sources d'erreur : La fermeture automatique de l'écoulement du plomb ne se fait pas toujours avec exactitude et il y aura toujours un excès de plomb. De plus, et cela est général pour tous les appareils d'essai de traction, les griffes qui emprisonnent la briquelette ont une tendance à transmettre inégalement la pression dans la section de rupture. L'effort de traction sera toujours plus grand à la périphérie qu'au centre, et il y aura toujours un certain arrachement qui pourra entacher d'erreur les résultats obtenus. Enfin, l'écoulement du plomb produit une certaine force vive que la balance n'enregistre pas. M. Buignet, conducteur des ponts et chaussées au Havre, a construit un appareil d'essais par traction où l'effort est donné par la graduation d'un tube manométrique à mercure. Cet appareil, peu employé dans l'industrie, a l'avantage de donner un effort de traction croissant doucement et sans secousses.

Le même résultat a été obtenu par MM. Guillot frères dont nous décrivons l'appareil (fig. 37 bis).

La briquelette d'essai ayant été placée comme l'indique le dessin, il faut :

1° Remonter la partie inférieure de l'éprouvette *a*, remplie d'eau, au-dessus du niveau supérieur du vase *b* ;

2° Équilibrer le levier *cd* sur la ligne *ef* marquée sur la tige *g*, par le poids *h* ;

3° Tendre sans tirage la briquelette de ciment *j* (dont la section *kl* est de 00<sup>m</sup><sup>q</sup>,005) par la roue à vis *m*. Ouvrir le robinet *n*.

L'eau s'écoule de l'éprouvette *a* dans le vase *b* par les tubes en caoutchouc *o*, *o*, *o*.

L'eau entrant dans le vase *b* pèse sur les leviers et les fait manœuvrer dans le sens des flèches.

Dès que la cassure de la briquelette de ciment a lieu à la section *kl*, il faut fermer le robinet *n*.

Le niveau où s'est arrêté le liquide dans l'éprouvette *a* donnera, sur le tableau *p*, le poids qui aura occasionné la

cassure : en *x*, le poids par centimètre carré et en *y*, le poids pour 5 centimètres carrés.

NOTA. — Si le poids total du liquide de l'éprouvette n'occasionne pas la rupture de la briquette, il faut recommencer l'opération, en ayant soin de placer sur le plateau *rs* un poids de 1 kil., 2 kil., 3 kil., qui se traduira par 10, 20, 30 kil., sur l'échelle *x* et par 50 kil., 100 kil., 150 kil., sur l'échelle *y*.

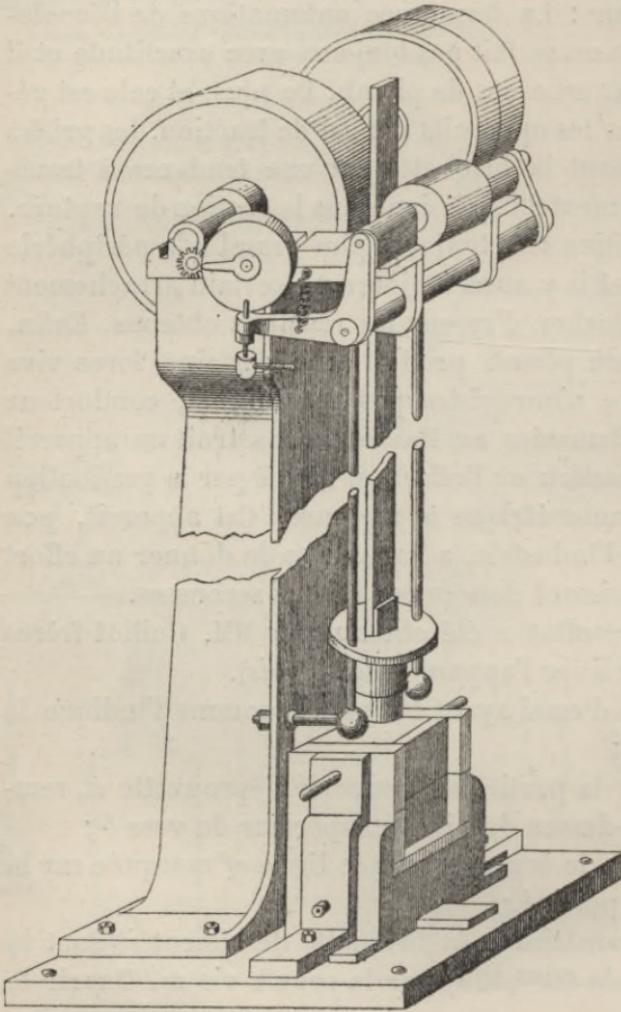


Fig. 38. — Appareil de Böhme.

**Essais à la compression.** — Ces essais sont beaucoup moins répandus que les essais par traction et nécessitent des appareils puissants et coûteux. On emploie la presse hydraulique ou encore un appareil à leviers semblable

à celui du D<sup>r</sup> Michaelis pour les essais à la traction.

Les essais à la compression sur les mortiers se font sur des cubes de 0<sup>m</sup>,072 d'arête, ayant par conséquent une surface de 50 centimètres carrés.

On pilone le mortier dans le moule en fonte qui est surmonté lui-même d'un guide et on dame le mortier par couches uniformes, généralement on remplit le moule en trois fois.

Dans les essais très rigoureux, on emploie pour damer

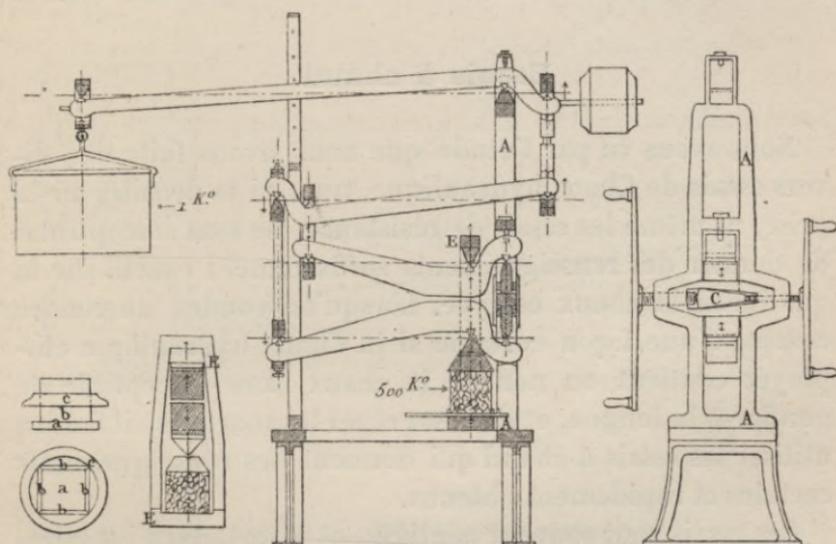


Fig. 39. — Essai des matériaux à la compression.

le mortier l'appareil à marteaux du professeur Böhme (fig. 38).

L'appareil à leviers qui sert aux essais à la compression multiplie la charge par 500 au lieu de 50 dans les essais à la traction (fig. 39).

**Résistance à la compression.** — La résistance des mortiers 1 à 3 à la compression est 6 à 10 fois plus forte que la résistance à la traction.

Nous donnons ici quelques résultats comparés.

		RÉSISTANCE PAR CENT. CARRÉ A LA COMPRESSION							
		JOURS	28 J.	3 MOIS	6 MOIS	1 AN	2 ANS	3 ANS	
Chaux du Teil.	Pâte pure.	Eau douce .	0	17.0	45.3	86.7	145.0	151.7	143.0
		Eau de mer.	0	32.0	72.0	113.3	165.0	161.7	158.0
	Mortier 1:3.	Eau douce .	30.3	43.7	90.3	103.3	141.7	158.3	120.0
		Eau de mer.	33.3	67.0	95.3	115.0	141.7	155.0	125.0
RÉSISTANCE A LA TRACTION									
Chaux duTeil.	Pâte pure . . . . .	3.9	9.4	16.0	19.7	22.2	22.5	»	
	Mortier . . . . .	2.6	5.8	10.1	12.1	14.9	19.2	»	

### Essais à chaud.

Nous avons vu par l'étude que nous avons faite des divers essais de Chaux hydraulique, que, ni la densité, ni la prise, ni même les essais de résistance, ne sont susceptibles de donner des renseignements suffisamment exacts sur la qualité de la chaux essayée. Lorsqu'on voudra se rendre compte d'une façon certaine si la Chaux hydraulique employée contient ou non de la chaux libre susceptible de gonfler à la longue, et de désagréger les mortiers, il faudra utiliser les essais à chaud qui donnent des renseignements certains et rapidement obtenus.

Ces essais sont souvent négligés, et à tort, dans les laboratoires des usines à chaux. C'est le meilleur moyen de contrôle de la fabrication. Son seul défaut aux yeux des fabricants de ciment est d'être trop sensible.

On utilise pour ces essais l'extinction très rapide, et le gonflement considérable de la chaux libre lorsqu'elle est éteinte avec de l'eau bouillante.

Pour cela, on gâche la chaux en pâte ferme, on en remplit des moules spéciaux de forme cylindrique et on laisse la prise complète s'achever sous l'eau. Cette précaution, de même que pour les essais de prise, est indispensable; autrement, on risquerait de faire erreur du fait que la pâte serait simplement desséchée, alors que la prise ne serait pas

faite. On constate que la prise est complète au moyen de l'aiguille de Vicat.

On immerge alors le moule plein dans de l'eau bouillante, et on le laisse 4 heures, en maintenant l'eau toujours en ébullition.

On laisse refroidir, et on retire le moule. Si la chaux essayée est exempte de chaux libre, le petit cylindre d'essai ne doit présenter aucune trace de fissure et aucun gonflement n'a dû se produire.

Les moules spéciaux qu'on emploie sont de petits cylin-

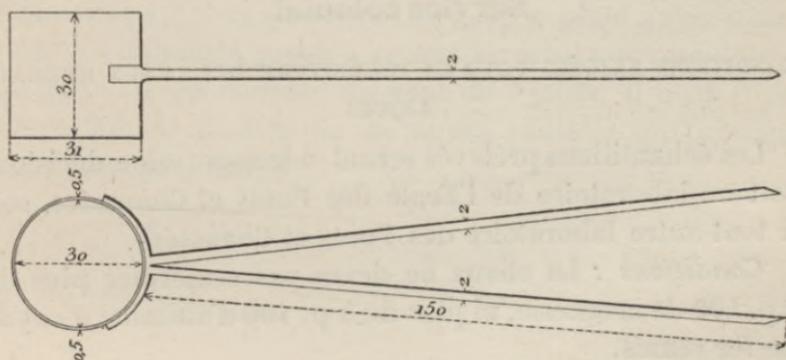


Fig. 40. — Essais à chaud.

dres en laiton de 30 millimètres de diamètre et 30 millimètres de hauteur; l'épaisseur du laiton est de  $0^{\text{mm}},5$ . Ces cylindres sont fendus suivant une génératrice et de chaque côté de cette génératrice sont soudées deux tiges de laiton de 2 millimètres de diamètre et de 15 centimètres de longueur (fig. 40).

Lorsque la pâte se dilate sous l'influence de la chaux libre, le cylindre a une tendance à s'ouvrir suivant une génératrice et les pointes des deux tiges s'écartent en magnifiant dix fois le gonflement qui s'est produit.

Pour le moment, ces essais à chaud ne sont pas classés parmi les essais officiels. Ils constituent un excellent moyen de contrôle pour le fabricant et pour l'entrepreneur, mais

étant extrêmement sensibles, ils décèlent les moindres traces de chaux libre qui, surtout si la chaux ne doit pas être employée immédiatement, ne seraient pas dangereuses pour les maçonneries. Les fabricants de chaux protestent contre l'emploi de ce moyen de contrôle ; néanmoins, surtout pour les constructions soignées ou demandant l'emploi de matériaux de premier ordre, nous conseillons les essais à chaud de préférence à tous les autres essais.

Nous donnerons ici une copie des conditions exigées pour les fournitures de chaux au Service colonial.

### Service colonial.

#### CONDITIONS EXIGÉES POUR LA FOURNITURE DES CHAUX HYDRAU- LIQUES

Les échantillons prélevés seront adressés, selon décision, soit au laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées, soit à tout autre laboratoire des Ponts et Chaussées.

*Conditions* : La chaux ne devra pas renfermer plus de 2 p. 100 de magnésie, ni plus de 3 p. 100 d'alumine d'oxyde de fer réunis.

*Essais* : se feront au tamis de 4.500 mailles et au tamis de 324 mailles agités à la main ; le tamisage sera fait sur un échantillon de 100 grammes.

*Résidu* : au tamis de 4.500 mailles, le résidu ne devra pas dépasser le 25 p. 100 et au tamis de 324 mailles, ne devra pas dépasser 2 p. 100.

*Prise* : le début de prise devra commencer 7<sup>h</sup>,30<sup>m</sup> après gâchage de pâte pure.

*Résistance* : briquettes de pâte pure après 7 jours à l'eau douce, minimum 3<sup>k</sup>,500 et après 28 jours. 6<sup>k</sup>,500.

*Mortier sableux* : normal 1/3 12 p. 100 d'eau au plus.

*Résistance* : 3 kil. après 7 jours et 6 kil. après 28 jours.

*Poids*. Sans tassement 700 à 750 grammes.

**Conseils pratiques pour les conditions de réceptions d'une Chaux hydraulique.** — Les essais officiels

que nous venons de donner sont trop méticuleux pour une entreprise particulière, et certaines conditions de composition, de prise et de résistance à 7 jours peuvent faire rejeter des chaux d'excellente qualité.

En pratique, une bonne chaux ne devra pas donner plus de 2 p. 100 au tamis 50 et 20 p. 100 au tamis 80.

La prise sous l'eau devra être complète en quatre jours.

Le mortier 1 : 3 gâché avec 12 p. 100 d'eau devra au bout de 28 jours, dont 1 à l'air et 27 à l'eau, avoir une résistance à la traction de 8 kil. par centimètre carré.

On reconnaîtra que la chaux ne travaille pas, en gâchant en pâte pure une sorte de galette plate qu'on maintient à l'humidité jusqu'à ce que la prise soit complète et qu'on immerge ensuite. Au bout de 7 jours, il ne doit pas s'être fait de fissures ou de fentes radiales qui seraient dues à un gonflement.

## CHAPITRE VI

### Analyse chimique.

Généralités. — Recherche de la silice. — Alumine et fer. — Séparation de l'alumine et du fer. — Liqueur titrée au permanganate de potasse. — Exemple numérique. — Dosage de la chaux. — Dosage de la magnésie. — Dosage de l'acide sulfurique. — Dosage de l'eau non combinée. — Dosage de l'eau combinée. — Dosage de l'acide carbonique. — Dosage direct de l'acide carbonique. — Dosage du sable. — Exemple d'une analyse de calcaire à chaux hydraulique. — Analyse d'une argile ou d'un calcaire très argileux. — Analyse d'un mortier de chaux. — Composition d'un laboratoire pour essais de chaux et ciments. — Four d'essai.

**Généralités.** — L'analyse d'un calcaire d'une chaux ou d'un ciment peut se faire de la façon suivante :

On pulvérise finement l'échantillon à analyser, de façon à ce qu'il passe au tamis n° 80. Nous insistons particulièrement sur la prise des échantillons. Si on fait une analyse de calcaire, c'est la moyenne d'un banc que l'on cherche et non la teneur d'un point isolé. Il faudra que l'échantillon soit donc la représentation de cette moyenne.

De même pour l'analyse d'une chaux, on prendra dans un certain nombre de sacs une petite quantité de chaux et on mélangera intimement ces diverses prises, et c'est sur l'ensemble de ces prises qu'on prélèvera l'échantillon final.

**Recherche de la silice.** — On pèse, dans une petite capsule de platine tarée d'avance, 2 grammes de matière, et on vide le contenu de la capsule dans une fiole à fond plat. On verse ensuite dans cette fiole 10 centimètres cubes d'eau et 10 centimètres cubes d'acide chlorhydrique.

Une effervescence se produit et si on avait opéré avec une capsule en porcelaine, au lieu d'une fiole à fond plat, des projections pourraient se produire, ce qui fausserait l'analyse.

Quand l'effervescence a cessé, on verse le contenu de la fiole dans une capsule de porcelaine de 10 centimètres de diamètre et on évapore la siccité au bain de sable.

On reprend le résidu par 5 centimètres cubes d'acide chlorhydrique pur et on ajoute 15 centimètres cubes d'eau. On chauffe jusqu'à ébullition et on laisse refroidir.

On voit se former un précipité gélatineux qui est la silice mélangée quelquefois à un peu de sable.

On filtre la liqueur, on sèche le filtre à l'étuve et on le calcine dans la capsule de platine. On pèse la capsule tarée et son contenu, le poids trouvé est celui de la silice gélatineuse et, comme on a opéré sur 2 grammes, ce poids, divisé par 2 et multiplié par 100, donnera le pourcentage en silice.

**Alumine et fer.** — Le filtratum précédent est recueilli dans une fiole graduée de 500 centimètres cubes de capacité. On l'étend avec de l'eau distillée jusqu'à ce qu'il affleure la graduation à 500 centimètres cubes. On sépare ensuite les 500 centimètres cubes obtenus en deux parties égales de 250 centimètres cubes.

On prend la première des deux fioles ainsi obtenues, on y ajoute quelques gouttes d'acide azotique qui transformera les sels ferreux en sels ferriques, on chauffe à l'ébullition quelques instants et on laisse refroidir. Pendant que la liqueur est encore chaude, on y ajoute de l'ammoniaque en excès. On reconnaît qu'il y a excès d'ammoniaque en suspendant dans le col du flacon un papier de tournesol qui devra rester bleu. On voit se former un précipité floconneux abondant, de couleur d'autant plus foncée qu'il y aura plus de fer dans l'échantillon.

On filtre ce précipité en ayant soin de le laver à l'eau chaude, car il peut retenir de la magnésie et de la chaux. Si l'échantillon était soupçonné d'être riche en magnésie, il y aurait même intérêt à redissoudre le précipité dans l'acide chlorhydrique et à le reprécipiter par l'ammoniaque.

Le précipité recueilli sur le filtre est lavé, séché, calciné

dans la capsule de platine tarée, et pesé. Le poids obtenu, multiplié par 100, représente le pourcentage en alumine et fer, car en séparant la liqueur en deux parties, on n'a plus opéré que sur 1 gramme de l'échantillon.

**Séparation de l'alumine et du fer.** — On peut redissoudre le précipité qu'on vient de peser dans l'acide chlorhydrique et doser le fer au moyen d'une solution titrée de permanganate de potasse, en opérant ainsi sur 1 gramme d'échantillon. Mais il vaut mieux prendre la 2<sup>e</sup> fiole de 250 centimètres cubes provenant du premier filtratum et en prélever 125 centimètres cubes correspondant à 0<sup>sr</sup>,5 de l'échantillon primitif.

On verse ces 125 centimètres cubes dans un bechaglass, sorte de grand verre à fond plat de 1 litre de capacité. On y ajoute 10 grammes de grenaille de zinc pur et de l'acide sulfurique. Il se produit de l'hydrogène qui réduit le fer à l'état de protoxyde. La liqueur qui était jaunâtre ne tarde pas à devenir incolore.

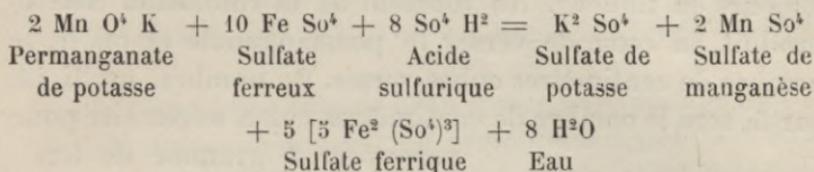
Pour reconnaître que tout le fer est réduit, on verse sur une capsule en porcelaine quelques gouttes de sulfocyanure de potassium et on y ajoute une goutte de la liqueur ferrique prélevée avec un agitateur en verre; si tout le fer n'est pas réduit, il se produit une coloration rouge. La réduction est terminée lorsque cette coloration ne se produit plus.

On place la liqueur sous une burette graduée fermée par un robinet à goutte, contenant une solution décimormale titrée de permanganate de potasse.

**Liqueur titrée au permanganate de potasse.** — On dissout 3<sup>sr</sup>,16 de permanganate de potasse dans un litre d'eau distillée, c'est ce qu'on appelle la solution décimormale en vertu de ce que 2 molécules de permanganate, soit 316 grammes, sont capables de faire passer 10 atomes ou 560 grammes de fer d'une combinaison au minimum en combinaison maximum. En dissolvant 3<sup>sr</sup>,16 de perman-

ganate dans 1 litre d'eau, ce litre sera susceptible de faire passer 5<sup>gr</sup>,6 de fer du minimum au maximum et chaque centimètre cube de la solution correspondra à 0,0056 de fer.

Voici chimiquement la formule de la réaction :



Malheureusement les solutions de permanganate s'altèrent et il faut les titrer à nouveau lorsqu'on veut s'en servir

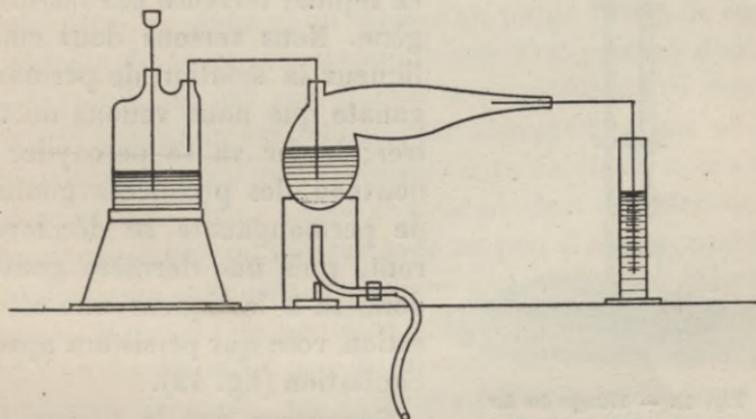


Fig. 41. — Préparation d'une solution titrée.

au bout d'un certain temps. Ce titrage se fait facilement de la manière suivante :

On pèse 1<sup>gr</sup>,003 de fil de fer pur (fil de clavecin); les 3 milligrammes sont la correction des impuretés, et on les dissout dans 100 centimètres cubes d'acide sulfurique étendu au 1/6. On chauffe doucement en faisant traverser la cornue où se fait l'opération par un courant d'hydrogène (fig. 41).

Si on ne disposait pas des appareils nécessaires, il faudrait tout au moins chauffer à l'abri de l'air.

On étend ensuite la solution à 500 centimètres cubes et on prélève 100 centimètres cubes correspondant à 0<sup>gr</sup>,20 de fer. On y verse goutte à goutte la solution de permanganate que l'on veut titrer, en ayant soin d'agiter toujours la liqueur. Au moment où la coloration rose se produit, on cesse de verser le permanganate et on lit le nombre de centimètres cubes versés. Ce nombre, multiplié par 5, sera le nombre de centimètres cubes nécessaire pour peroxyder 1 gramme de fer.

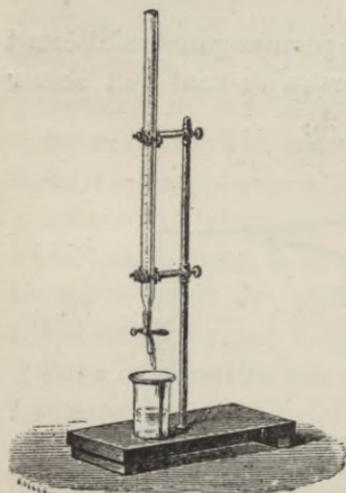


Fig. 42. — Titrage du fer par le permanganate.

Nous avons laissé l'analyse du calcaire au moment où la liqueur ferrique a été réduite en liqueur ferreuse par l'hydrogène. Nous versons dans cette liqueur la solution de permanganate que nous venons de titrer; le fer va se peroxyder à nouveau, les premières gouttes de permanganate se décolorent, puis une dernière goutte donnera à la liqueur une coloration rose qui persistera après l'agitation (fig. 42).

Supposons que le titrage de la solution du permanganate nous ait révélé qu'il faut 95 centimètres cubes pour 1 gramme de fer pur, et qu'il ait fallu verser dans la liqueur ferrique 1<sup>cs</sup>,9 de permanganate pour obtenir la coloration rose

$$\frac{1^{\text{cs}},9}{95} = 0,02.$$

La liqueur ferrique essayée contient donc 2 p. 100 de fer, comme on n'a opéré que sur 125<sup>cs</sup>,9 correspondant à 0<sup>gr</sup>,50 de l'échantillon, cet échantillon contiendra 4 p.100 de fer pur. En multipliant ce chiffre par le coefficient 1,42, on a le pourcentage de l'échantillon en peroxyde de fer.

Le pourcentage d'alumine s'obtient en déduisant le pourcentage trouvé pour le fer du pourcentage global de l'alumine et du fer.

**Dosage de la chaux.** — On reprend le filtratum d'où ont été extraits l'alumine et le fer et qu'on a laissé refroidir.

On fait dissoudre dans de l'eau froide environ 2 grammes d'oxalate d'ammoniaque et on verse cette dissolution dans le filtratum précédent. Il se forme de l'oxalate de chaux qui précipite. Il est nécessaire d'opérer à froid, autrement il pourrait se former de l'oxalate de magnésie qui précipiterait avec l'oxalate de chaux.

On filtre, on sèche et on calcine au rouge blanc de façon à obtenir de la chaux caustique que l'on pèse et dont le poids, multiplié par 100, donne le pourcentage en chaux.

Cette opération est délicate, car souvent l'oxalate se décompose seulement en carbonate, si la calcination n'a pas été assez vive. Pour s'assurer si le produit est bien de la chaux caustique, on l'éteint avec un peu d'eau et, une fois l'hydratation complète, on y verse un peu d'acide chlorhydrique. Il ne doit se produire aucune effervescence.

Si on ne disposait pas de moyens de calcination suffisamment puissants, on calcinerait l'oxalate comme on pourrait sans trop élever la température, et, de crainte qu'on n'obtienne un mélange de carbonate et de chaux caustique, on verse quelques gouttes de carbonate d'ammoniaque sur le produit calciné et on évapore doucement, on est sûr que le produit de la calcination est du carbonate de chaux. En multipliant le poids obtenu par le coefficient 0,56, on a le poids de la chaux de l'échantillon sur 1 gramme et, en multipliant par 100, on a le pourcentage en chaux.

**Dosage de la magnésie.** — Le filtratum qu'on a obtenu dans l'opération précédente ne contient plus que la magnésie et les divers sels ammoniacaux qu'on y a introduits

dans les opérations précédentes. On précipite la magnésie par le phosphate de soude et on laisse reposer. Il se forme un dépôt cristallin de phosphate ammoniac-magnésien.  $\text{PhO}^5_3 \text{MgO}$ .

On filtre ce précipité et on constate souvent que des cristaux restent adhérents à la fiole, et ne veulent pas tomber sur le filtre. On les dissout dans quelques gouttes d'acide chlorhydrique et on ajoute ensuite quelques gouttes d'ammoniaque. Les cristaux reparaisent immédiatement, mais cette fois ne sont plus adhérents. On les verse sur le filtre, on lave bien le précipité avec de l'eau ammoniacale, on sèche, on calcine et on pèse. Le poids obtenu multiplié par 0,36 donne le poids de la magnésie sur 1 gramme de l'échantillon. On obtient le pourcentage en multipliant ce dernier poids par 100.

**Dosage de l'acide sulfurique.** — Sur le filtratum du précipité de silice gélatineuse que nous avons étendu à 500 centimètres cubes, il nous reste encore 125 centimètres cubes inutilisés correspondant à 0<sup>gr</sup>,50 de l'échantillon primitif. On prend ces 125 centimètres cubes et on y verse du chlorure de baryum. On laisse reposer pendant 2 heures en chauffant toujours au bain-marie, on obtient un dépôt de sulfate de baryte qu'on recueille et qu'on pèse. On multiplie le résultat par 0,343 et on a l'acide sulfurique et, comme on a opéré seulement sur 0<sup>gr</sup>,5 en multipliant ce dernier chiffre par 200, on a le pourcentage de l'acide sulfurique dans l'échantillon.

**Dosage de l'eau non combinée.** — On reprend 2 grammes de l'échantillon dans une capsule de platine et qu'on met à l'étuve à 120° pendant deux heures, on pèse à plusieurs reprises différentes jusqu'à ce que les résultats de deux pesées successives soient identiques. La perte de poids constatée, divisée par 2 et multipliée par 100, donne le pourcentage en eau non combinée.

**Dosage de l'eau combinée.** — On porte la capsule de platine avec laquelle on vient d'opérer dans un moufle et on chauffe au rouge vif pendant une heure ou deux; la nouvelle perte de poids représente l'eau combinée et l'acide carbonique; nous allons doser cet acide carbonique à part et, en le retranchant, nous aurons le poids de l'eau combinée.

**Dosage de l'acide carbonique.** — Lorsqu'il s'agit d'une analyse de calcaire, on peut éviter ce dosage en opérant par le calcul. En effet, la chaux et la magnésie sont dans l'échantillon à l'état de carbonate et si l'échantillon contenait de l'acide sulfurique, ce sera à l'état de sulfate de chaux.

Supposons, pour fixer mieux les idées par un exemple numérique, qu'on ait trouvé par l'analyse que l'échantillon contenait :

Chaux. . . . .	41,10 %
Magnésie. . . . .	7,56 %
Acide sulfurique. . . . .	5,17 %
Eau combinée et acide carbonique. . . . .	42,25 %

Le calcaire contenant 5,17 p. 100 d'acide sulfurique, la quantité de sulfate de chaux que cet acide aura formé est

$$5,17 \times 1,7 = 8,80 \%$$

L'échantillon contiendra donc 8,80 % de sulfate de chaux; la quantité de chaux à l'état de sulfate sera par conséquent :

$$8,80 - 5,17 = 3,63 \%$$

La quantité de chaux à l'état de carbonate sera, par conséquent, de

$$41,10 - 3,63 = 37,47 \%$$

La quantité de magnésie à l'état de carbonate a été trouvée de 7,56 p. 100; pour avoir l'acide carbonique on multiplie les doses de chaux et de magnésie par le rapport des équi-

valents qui est de  $\frac{22}{28}$  pour la chaux et  $\frac{22}{20}$  pour la magnésie.

Le poids de l'acide carbonique pour l'exemple qui nous occupe sera donc :

$$\begin{aligned} 37,47 \times \frac{22}{28} + 7,56 \times \frac{22}{20} &= 37,47 \times 0,78 + 7,56 \times 1,1 \\ &= 29,226 + 8,316 = 37,542 \% \end{aligned}$$

Or, nous avons trouvé que l'acide carbonique et l'eau combinée représentaient 42,25 p. 100.

Le poids d'eau combinée sera

$$42,25 - 37,54 = 4,71 \%$$

**Dosage direct de l'acide carbonique.** — Lorsqu'il ne s'agit plus d'un calcaire, mais d'un produit dont on veut déterminer l'acide carbonique qui a pu se fixer par récarbonatation ou d'un produit dont on veut vérifier la cuisson complète, on opère de la manière suivante :

On dispose un appareil que nous représentons dans la figure suivante (fig. 43) :

Il se compose d'un ballon de 100 centimètres cubes *a*, d'un tube *t* pouvant contenir environ 25 centimètres cubes et d'un tube *d e* qu'on remplit de fragments de chlorure de calcium desséché.

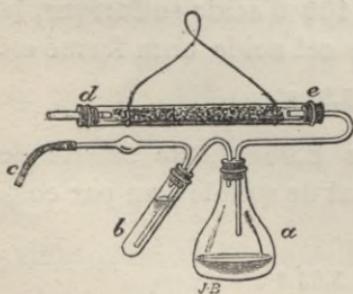


Fig. 43. — Appareil de dosage de l'acide carbonique.

On remplit le tube *t* d'acide chlorhydrique étendu et on met dans le ballon 1 gramme de la matière carbonatée et on y ajoute environ 25 centimètres cubes d'eau distillée.

On pèse l'appareil tout entier. On aspire en *g* après avoir fixé au tube à boule de *b* un tube desséchant au chlorure de calcium. L'acide chlorhydrique vient tomber dans le ballon *a* et attaque la matière carbonatée. L'acide carbonique produit s'échappe en *g*, après s'être desséché sur le

chlorure de calcium. Quand tout l'acide est tombé en *a*, on chauffe doucement le ballon pour achever le dégagement

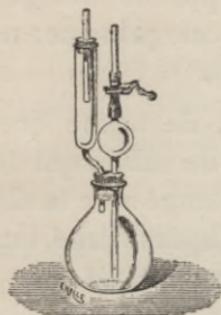


Fig. 44. — Appareil Mohr.

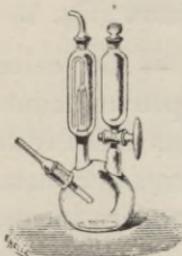


Fig. 45. — Appareil Geissler, à robinet.

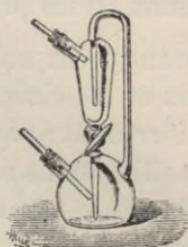


Fig. 46. — Appareil Hepp.

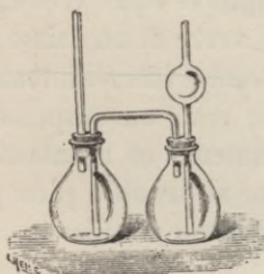


Fig. 47. — Appareil Frésenius et Will.

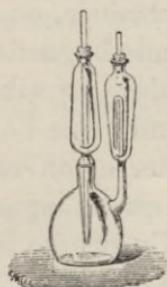


Fig. 48. — Appareil Geissler.

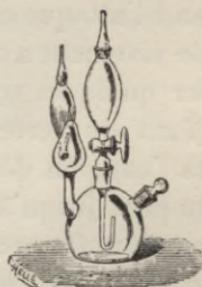


Fig. 49. — Appareil Geissler et Erdmann.

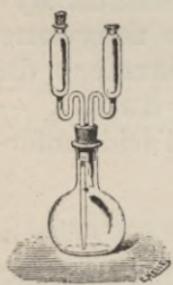


Fig. 50.



Fig. 51.

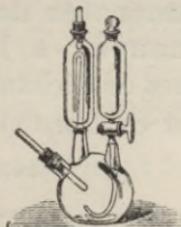


Fig. 52.

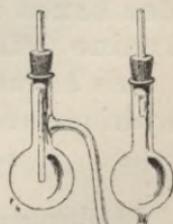


Fig. 53.

de l'acide carbonique. On laisse refroidir l'appareil et on y fait passer un courant d'air bien sec de façon à le débarasser entièrement de l'acide carbonique. On pèse de nou-

veau et la différence entre ce poids et le poids précédent est le poids de l'acide carbonique.

On a inventé une série d'appareils pour le dosage de l'acide carbonique, tous basés sur le même principe; nous donnons ici les principaux (fig. 43 à 53).

**Dosage du sable.** — Les calcaires, de même que la chaux et les ciments, peuvent contenir du sable, qui de la manière dont nous avons opéré reste mélangé avec la silice. Or la silice étant un élément important d'hydraulicité, tandis que le sable est une matière inerte, il y a intérêt à les séparer.

On pèse 10 grammes du calcaire qu'on jette au fond d'un verre et qu'on attaque par de l'acide chlorhydrique affaibli. Quand l'attaque est terminée, on remplit le verre d'eau, on agite vivement avec une baguette de verre et on laisse reposer quelques secondes. Le sable tombe immédiatement au fond du verre, tandis que l'argile reste en suspension dans l'eau, on décante, et on recommence en ajoutant de l'eau pure jusqu'à ce que la liqueur ne se trouble plus par l'agitation. On recueille ensuite le sable sur un filtre, on le lave, on le sèche et on le pèse.

On opérerait de façon identique pour la chaux.

**Exemple d'une analyse de calcaire à chaux hydraulique faite en avril 1899 sur une moyenne des bancs numérotés de 4 à 7 de la carrière de l'usine Villeneuve, à la Bédoule (B.-du-R.).** —

Pris 2 grammes de l'échantillon attaqué par l'acide chlorhydrique, résidu en silice et sable :

16,45 %

Le filtratum a été étendu à 500 centimètres cubes et séparé en 3 fioles : l'une de 250<sup>es</sup>, les deux autres de 125<sup>es</sup> chacun.

Les 250 centimètres cubes traités par l'ammoniaque donnent un précipité d'alumine et de fer qui est filtré, calciné et pesé et donne pour l'alumine et le fer mélangés :

2,55 %

Le filtratum traité par l'acide oxalique donne un précipité, qui, calciné au rouge, donne pour la chaux caustique :

$$42,05 \%$$

Le filtratum traité par le phosphate de soude donne un précipité de phosphate ammoniaco-magnésien, pesant 0<sup>gr</sup>,015; la magnésie de l'échantillon est donc

$$0,015 \times 0,36 \times 100 = 0,54 \%$$

On a pris une des fioles de 125 centimètres cubes provenant du filtratum de la silice, on y a ajouté 10 grammes de grenaille de zinc et de l'acide sulfurique. Il a fallu pour obtenir la coloration rose 0<sup>es</sup>,4 de permanganate, la solution avait été titrée et 1<sup>es</sup> correspondait à 0<sup>gr</sup>, 012 de fer. Le pourcentage en fer de l'échantillon sera, puisqu'on a opéré sur 0,5 d'échantillon :

$$2 \times 0,4 \times 0,012 \times 100 = 0,96 \%$$

La teneur en peroxyde est

$$0,96 \times 1,42 = 1,36 \%$$

La teneur en alumine est

$$2,53 - 1,36 = 1,19 \%$$

On a pris ensuite la 2<sup>e</sup> fiole de 125 centimètres cubes et on a précipité par le chlorure de baryum, on a obtenu 0<sup>gr</sup>,008. Comme on n'a opéré que sur 0<sup>gr</sup>,5 de matière, le pourcentage d'acide sulfurique est :

$$0,008 \times 0,42 \times 200 = 0,66 \%$$

L'analyse nous a donné par conséquent les résultats suivants :

Silice et sable. . . . .	46,45 %
Alumine. . . . .	1,19 %
Peroxyde de fer. . . . .	1,36 %
Chaux. . . . .	42,05 %
Magnésie. . . . .	0,54 %
Acide sulfurique. . . . .	0,66 %

L'acide sulfurique du calcaire était à l'état de sulfate de chaux dont le pourcentage est

$$066 \times 1,7 = 1,122 \text{ ‰}$$

La chaux caustique à l'état de carbonate dans le calcaire sera donc réduite de  $1,122 - 0,660 = 0,462$ .

$$42,05 - 0,462 = 41,588 \text{ ‰}$$

Il y a donc à l'état de carbonate de chaux

$$41,588 \times 1,78 = 74,026 \text{ ‰}$$

Il y aura à l'état de carbonate de magnésie

$$0,54 \times 2,1 = 1,134 \text{ ‰}$$

Nous avons pesé ensuite 2 grammes de l'échantillon et portés à l'étuve, nous avons constaté une perte de poids de

$$4,5 \text{ ‰}$$

En opérant sur 10 grammes de l'échantillon pour rechercher le sable par décantation nous avons trouvé

$$1,54 \text{ ‰}$$

La quantité de silice sera donc  $16,45 - 1,54 = 14,91$ .

L'analyse définitive est donc :

Sable siliceux. . . . .	1,54 ‰
Silice gélatineuse. . . . .	14,91 —
Alumine . . . . .	1,19 —
Peroxyde de fer. . . . .	1,36 —
Carbonate de chaux. . . . .	74,026 —
Magnésie . . . . .	1,134 —
Sulfate de chaux. . . . .	1,122 —
Eau. . . . .	4,50 —
Indosé. . . . .	0,218 —
	100,000 ‰

Cette composition correspond à un indice d'hydraulicité de

$$\frac{14,91 + 1,19 + 1,36}{42,05} = \frac{17,46}{42,05} = 0,41.$$

Cet indice correspond à un calcaire très hydraulique, susceptible de donner une excellente chaux.

ANALYSE D'UNE ARGILE, OU D'UN CALCAIRE TRÈS ARGILEUX.

**Attaque aux carbonates alcalins.** — Les sables, les argiles, les pouzzolanes, les briques, etc., ne sont pas complètement décomposés par l'acide chlorhydrique et le procédé d'analyse que nous avons indiqué ne peut leur être appliqué. D'autre part, il est intéressant au plus haut point, surtout pour la fabrication des produits artificiels Chaux hydraulique ou ciment Portland, d'être très bien renseigné sur la véritable teneur en alumine du calcaire employé. L'alumine peut être combinée en quantité importante à la silice et passer inaperçue avec le mode d'analyse précédent, sous cette combinaison. Or l'alumine pour la préparation des ciments artificiels sert de fondant et permet de diminuer sérieusement la température des fours. Les aluminates sont aussi très souvent dangereux, car s'ils augmentent la résistance des produits hydrauliques fraîchement fabriqués, ils se décomposent à la longue et il a y peu d'intérêt et souvent danger à avoir de grandes proportions d'alumine surtout pour la Chaux hydraulique.

Nous conseillons donc d'employer toujours l'attaque par les carbonates que nous allons décrire, lorsqu'on aura à analyser soit une argile, soit un calcaire contenant plus de 20 p. % d'argile.

Comme pour l'analyse ordinaire on prend 2 grammes de l'échantillon et on les met dans un petit creuset en platine après les avoir mélangés intimement avec 10 grammes d'un mélange de 5 parties de carbonate de potasse et 4 parties de carbonate de soude.

On couvre le creuset avec son couvercle en platine et on chauffe au rouge sombre, la silice attaque les carbonates et il se produit un vif dégagement d'acide carbonique qui peut faire des projections de matière et entraîner une sorte de mousse assez dense. Cette opération dure environ 10 minutes pendant lesquelles il faut apporter les plus grands soins à la conduite du feu.

Sur la fin, quand l'effervescence a cessé, on chauffe au rouge blanc pendant 3 minutes environ.

On saisit avec une pince le creuset alors qu'il est bien rouge et on plonge son fond dans l'eau froide pour obtenir un refroidissement aussi brusque que possible. En retournant le creuset sur une grande capsule en porcelaine, on voit se détacher un culot vitrifié, on met le creuset et son couvercle dans la capsule en porcelaine et on les noie dans l'eau de façon à bien recueillir les particules qui ont pu rester adhérentes, on laisse une heure pour permettre au tout de se réduire en bouillie, on lave à l'acide le creuset en platine et son couvercle et on verse les eaux acidées de lavage dans la capsule de porcelaine : une effervescence se produit, car les carbonates étaient en excès et la silice n'avait pu faire dégager tout l'acide carbonique. On ajoute encore un peu d'acide chlorhydrique et la masse ne tarde pas à se dissoudre. On porte alors la capsule au bain de sable et on évapore à sec, on reprend ensuite par 5 centimètres cubes d'acide chlorhydrique et 15 centimètres cubes d'eau, ce qui n'est pas dissous est la silice. A partir de ce moment, on continue l'analyse comme dans la méthode ordinaire, mais comme il y a des chlorures de sodium et de potassium dans les dissolutions, il faudra prendre les plus grands soins pour le lavage des précipités.

**Analyse d'un mortier de chaux.** — Il arrive souvent qu'à la suite d'un accident ou pour une expertise, on ait à faire l'analyse du mortier. Cette analyse se fait comme celle d'une chaux, mais lorsqu'on a obtenu la séparation des divers éléments, on ne sait pas ce qu'on a surtout recherché, c'est-à-dire la proportion dans laquelle la chaux et le sable ont été employés.

Il y a moyen de tourner la difficulté lorsqu'on a affaire à un mortier hydraulique, soit de chaux, soit de ciment. On se procure un échantillon de la chaux employée et on y dose la silice sur 1 gramme. On en fait autant pour le mortier en

opérant sur un poids de mortier tel que ce poids, si les dosages ont été bien observés, doit contenir 1 gramme de chaux. Dans ces conditions les deux poids de silice trouvés

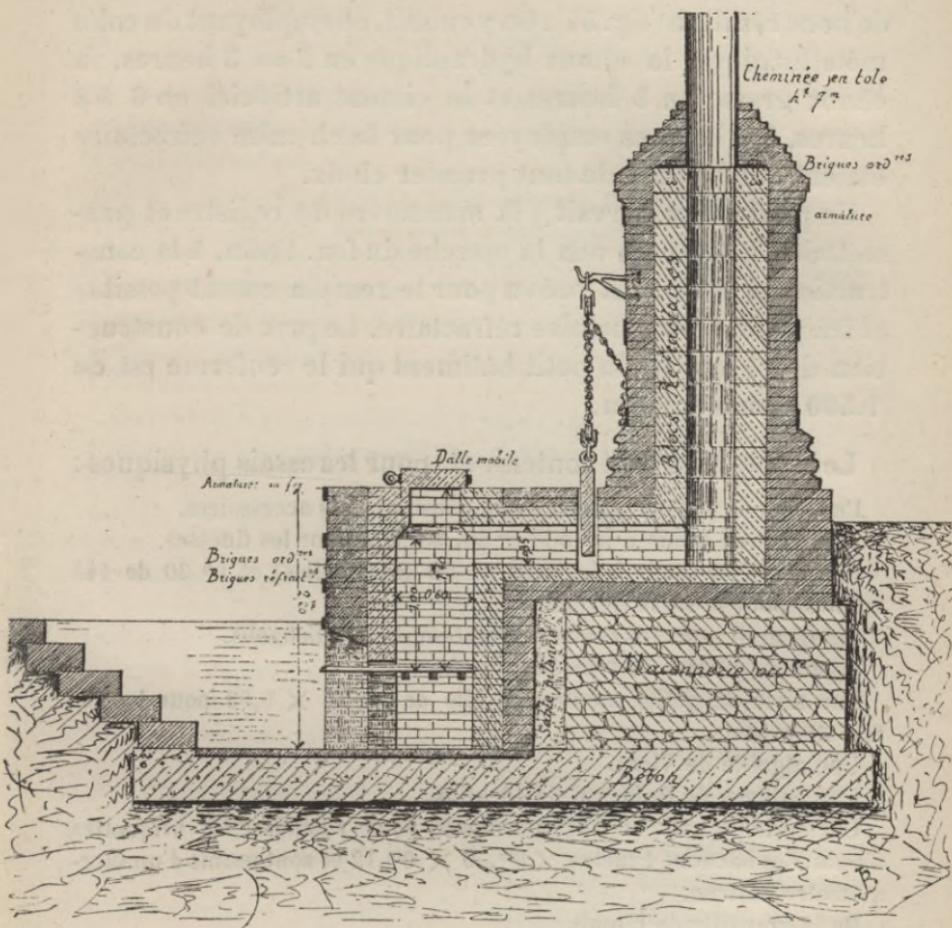


Fig. 54. — Four d'essai.

doivent être sensiblement identiques. S'ils ne l'étaient pas, on déduirait par le calcul la proportion de sable du mortier.

**Laboratoire pour essais de chaux et ciments.** — Nos lecteurs et surtout les directeurs d'usine nous sauront peut-être gré de leur donner quelques indications sur ce que doit être le laboratoire d'une usine à chaux et ciments.

Nous conseillons d'établir en premier lieu un petit four d'essai capable de donner de très hautes températures. Nous donnons ci-dessous le dessin d'un petit four que nous avons fait construire en 1899 à l'usine Villeneuve et qui a donné de bons résultats (fig. 54). On y cuisait, en employant du coke métallurgique, la chaux hydraulique en 2 ou 3 heures, la chaux grasse en 4 heures et le ciment artificiel en 6 à 8 heures. Les briques employées pour la chemise réfractaire étaient des briques de tout premier choix.

Un petit palan servait à la manœuvre du registre et permettait d'activer ou non la marche du feu. Enfin, à la construction on avait tout prévu pour le remplacement possible et fréquent de la chemise réfractaire. Le prix de construction de ce four et du petit bâtiment qui le renferme est de 1.500 francs environ.

Le laboratoire doit contenir : 1° pour les essais physiques :

Un appareil pour la mesure de la densité et ses accessoires.

Une série de tamis à la toile n° 50, 80, 200 pour les finesses.

Une série de tamis à la toile n° 20 (64 mailles) et n° 30 de 144 mailles) pour le sable normal.

Un appareil pour les essais de traction du Dr Michaelis.

3 jeux de moules de 6 briquettes chacun.

Une série de petits moules en tôle de 0<sup>m</sup>,03 × 0,03 pour les essais de prise.

Une aiguille de Vicat.

Une balance de Roberval de 10 kilos.

Une série de bacs en tôle galvanisée pour y déposer les briquettes d'essai. Ces bacs ont 1 mètre × 0<sup>m</sup>,70 × 0<sup>m</sup>,12 et sont munis d'un thermomètre flotteur.

De la grenaille de plomb.

Une série de petits moules pour essais à chaud.

Une pendule pour la mesure de la durée de prise.

Une table de marbre avec une gamatte et une truelle.

Une spatule en acier.

Un thermomètre à mercure.

2° Pour les essais chimiques :

Une balance de précision, force 200 grammes sensible au 1/2 milligramme.

- Une capsule et un creuset en platine, de 15 grammes chacun.  
 Un appareil Berzelius et Rose pour dosage d'acide carbonique.  
 Une burette de Mohr avec son support.  
 Une série de supports métalliques.  
 Une bobine de fil de clavecin.  
 2 supports en bois pour deux entonnoirs.  
 1 jeu de 12 pipettes avec leur support.  
 1 jeu de 12 tubes d'essai avec leur support.  
 1 série de pinces de chimiste (bois et fer).  
 1 petit microscope.  
 1 série d'agitateurs en verre, tubes de verre, tubes de caoutchouc.  
 1 pissette ordinaire, une pissette à eau chaude.  
 1 série de capsules en porcelaine de 0<sup>m</sup>, 027 à 0<sup>m</sup>, 150 de diamètre.  
 1 série de petits entonnoirs.  
 1 mortier en fonte et son pilon.  
 1 série de soucoupes.  
 1 fourneau à moufle.  
 1 éprouvette à pied graduée de 1 litre.  
 1 série de fioles jaugées de 0<sup>l</sup>,500, 0<sup>l</sup>,250, 0<sup>l</sup>,125.  
 1 série de fioles.  
 1 série de vases à précipités, verres de laboratoires, ballons ordinaires.  
 1 série de becs Bunsen avec support, ou, si on ne dispose pas de gaz d'éclairage, 2 ou 3 brûleurs Barthel.  
 Quelques cornues tubulées en verre.  
 1 flacon à double tubulure.  
 1 bain-marie  
 1 étuve à bain de sable.

*Produits chimiques.* — Eau distillée. Acide chlorhydrique, acide sulfurique, ammoniacque, phosphate d'ammoniacque, phosphate de soude, acide oxalique, oxalate d'ammoniacque, chlorure de baryum, chlorure de calcium, carbonate de soude, de potasse, sulfocyanure de potassium, permanganate de potasse, nitrate d'argent. Papier de tournesol, carbonate d'ammoniacque, grenaille de zinc.

## CHAPITRE VII

### Ciments de grappiers.

Grappiers. — Aspect. — 1<sup>er</sup> Blutage. — 2<sup>e</sup> Blutage. — Sablette. — Broyeur finisseur Dana. — Ciment blanc véritable de grappiers, sa densité, sa composition chimique. — Ciment gris de grappiers. — Silotage des chaux lourdes et des ciments de grappiers. — Composition des ciments de grappiers. — Résistances moyennes à la traction, à la compression.

**Grappiers.** — Nous avons vu, en faisant l'étude de l'effusement, ce qu'étaient les grappiers provenant de la fabrication de la chaux hydraulique, que nous appellerons dans cette étude spéciale grappiers-sable. Si régulier que soit un calcaire, la silice n'est pas répartie dans toutes ses molécules proportionnellement à la chaux, et quelque régulière que soit la cuisson, la chaleur n'atteint pas également toutes ces molécules; de plus, les cendres du combustible se trouveront en contact avec la surface des pierres et l'attaqueront, donnant ainsi des silicates multiples.

C'est l'explication du fait que certains bancs calcaires donnent une proportion de grappiers supérieure à celle d'autres bancs, qui, à l'analyse, ont donné la même composition chimique.

Pour toutes ces raisons, à l'effusement, certaines parties siliceuses s'éteindront plus lentement; d'autres, plus siliceuses et par suite plus dures, ne s'éteindront pas du tout, ce sont les grappiers.

Ces grappiers, provenant des parties surcuites et très siliceuses, sont séparés de la chaux par le blutage.

Ce n'est qu'en 1869, à l'usine de Lafarge du Teil, qu'on eut l'idée d'en faire une sorte de ciment très lent, intermédiaire comme produit entre le ciment à prise lente et la chaux.

Autrefois ces grappiers étaient considérés comme résidu de fabrication et rejetés; on les laissait quelques années et, pour s'en débarrasser, on les employait souvent comme sable dans les constructions. Dans ces conditions, le grappier peut donner d'excellents mortiers, mais les parties non éteintes sont toujours à craindre et la plupart du temps ces mortiers se gonflent. Nous conseillons d'en proscrire l'emploi.

**Aspect.** — Le grappier-sable, résidu de la fabrication des chaux hydrauliques, est un mélange de grains blancs, gris et noirs, mélangés quelquefois à un peu de charbon; ces grains ont une grosseur qui varie de celle du grain de millet à celle d'une lentille.

**Fabrication du ciment de grappiers.** — Les grappiers, tels qu'ils sortent des blutiers, sont envoyés dans de nouvelles salles d'extinction, sortes de grands hangars couverts, exposés à l'air libre. On les laisse s'effuser à nouveau pendant un temps qui varie d'usine à usine, et qui est de un mois à un an. Il est à remarquer que ce silotage est la continuation du dernier phénomène de l'extinction des chaux que nous avons décrit plus haut. C'est l'eau abandonnée par les silicates et les aluminates du grappier, qui servira encore à éteindre les particules de chaux qui ont été plus lentes à s'hydrater, mais, cette fois, l'abandon est d'autant plus lent que les phases de la fabrication vont s'avancer; en effet, on va décortiquer en quelque sorte ces grappiers, et par là on va enlever dès le début les parties tendres, c'est-à-dire les plus hydratées. Dans ces conditions, pour trouver l'eau nécessaire, il faudra l'emprunter à l'air et, pour cela, il faudra remuer fréquemment le tas de grappier pour ramener à l'intérieur les couches superficielles qui seront hydratées.

**1<sup>er</sup> Blutage.** — Lorsqu'on juge que le grappier-sable s'est suffisamment effusé, on le blute à la toile n° 50. On obtient ainsi une chaux hydraulique lourde qui, dans beaucoup

d'usines, est simplement mélangée à la chaux hydraulique ordinaire, en prenant toutefois les précautions que nous décrirons plus loin ; et qui dans d'autres usines est mise de côté et employée pour faire du ciment blanc factice par l'adjonction d'une proportion plus ou moins forte de ciment Portland artificiel.

La proportion de chaux lourde donnée par ce premier blutage est de  $1/10$  % environ du poids des grappiers.

2<sup>e</sup> *Blutage*. — Les grappiers ainsi débarrassés de leur chaux lourde sont triturés dans des moulins à meules serrées et blutés à la toile n° 100 ; la poudre ainsi obtenue est envoyée dans un silo spécial et le résidu du blutage, au lieu de faire retour au moulin précédent, est envoyé dans un 2<sup>e</sup> moulin à meules plus serrées. Le produit de cette trituration est bluté de nouveau à la toile n° 100 et le résidu du blutage est ce qu'on appelle la sablette.

Cette sablette, qui représente 10 à 20 % en poids du grappier, est broyée soit dans des meuletons spéciaux en fonte système Lubac, soit dans des appareils finisseurs spéciaux, et elle retourne à ces finisseurs jusqu'à ce qu'elle sorte sous forme de poussière impalpable, laissant un résidu insignifiant au tamis n° 150.

Nous avons ainsi obtenu 4 poudres :

- |                |                                 |   |                             |
|----------------|---------------------------------|---|-----------------------------|
| 1 <sup>o</sup> | La chaux lourde d'effusement.   |   |                             |
| 2 <sup>o</sup> | Premier blutage à la toile 100. |   |                             |
| 3 <sup>o</sup> | 2 <sup>e</sup>                  | — | —                           |
| 4 <sup>o</sup> | 3 <sup>e</sup>                  | — | de sablette à la toile 150. |

1<sup>o</sup> La chaux lourde peut, ou bien être vendue séparément, comme cela se fait notamment aux usines du bassin du Rhône, ou bien être mélangée à la chaux ordinaire pour en relever l'indice, ou encore, comme cela se fait dans certaines usines, on peut profiter de sa densité, souvent élevée, et de sa richesse en silice, pour la vendre sous le nom de ciment blanc après avoir toutefois corrigé l'extrême lenteur de sa prise par l'adjonction d'une certaine quantité,

variant de 5 à 10 % de ciment Portland artificiel, ou de bon ciment naturel à prise lente, de couleur claire.

Dans les trois cas, il ne faut jamais oublier que la chaux lourde est principalement composée d'éléments dont l'extinction a été paresseuse et qu'elle risque de contenir encore au moment de sa fabrication des éléments non éteints. Par conséquent, si on fabrique de la chaux lourde spéciale, il sera bon de la laisser siloter quelque temps avant de la mettre en sacs.

De même, si on doit mélanger la chaux lourde avec la

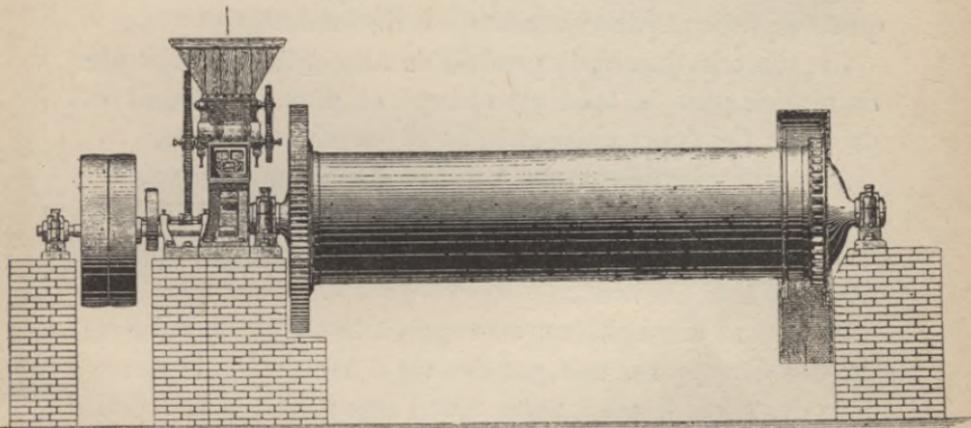


Fig. 55. — Tube finisseur Dana.

chaux hydraulique ordinaire, il sera bon de ne pas la mélanger aussitôt après sa fabrication en l'envoyant directement dans la trémie des bluteries, mais bien de l'envoyer dans des fosses spéciales où elle sera reprise après un repos de quelques jours.

Il va sans dire que cette précaution du silotage devra être prise et prolongée si on doit faire avec la chaux lourde du ciment blanc factice.

Pour faire ce ciment blanc factice, on se sert d'un appareil finisseur qui est en même temps un mélangeur excellent et dont le type est le tube broyeur Dana (fig. 55). C'est un

cylindre posé horizontalement sur des galets ou sur tourillons et pouvant tourner autour de son axe. La paroi interne du cylindre est pourvue d'une garniture de 10 centimètres d'épaisseur, en pavés de granit très exactement assemblés et à l'intérieur du cylindre on place environ 2.500 kilos de petits galets aussi ronds que possible, ayant environ 5 centimètres de diamètre. Ce sont ces petits galets qui effectuent le broyage pendant la rotation. La chaux lourde et le ciment sont versés dans le tube au moyen d'appareils d'alimentation automatique, la matière ainsi mélangée achève d'être broyée par le roulement des billes et quitte le tube par la circonférence du fond.

On règle la finesse du produit en alimentant le tube plus ou moins; plus le tube est chargé et plus le produit est grossier. Ces tubes doivent faire 20 tours par minute.

Alimenté régulièrement, un tube Dana peut rendre 3.000 kil. à l'heure et le ciment blanc ainsi obtenu donne un résidu insignifiant à la toile 200. La force prise par cet appareil est de 10 à 12 chevaux.

Le ciment ainsi obtenu est repris à la sortie du tube soit par des élévateurs, soit par des vis d'Archimède et envoyé dans des silos. Il est à noter que l'adjonction d'une petite quantité de ciment ordinaire généralement un peu hydraté favorise l'action du silotage.

**Ciment blanc véritable de grappiers.** — Le produit dont nous venons de parler, n'est fabriqué, en somme, que pour augmenter dans une notable proportion la fabrication du ciment blanc véritable de grappiers, qui est très demandé pour la fabrication des carreaux comprimés.

Nous avons vu dans les chapitres précédents que dans la fabrication de la chaux hydraulique, la production des grappiers-sable est d'environ 10 p. 100 en poids de la chaux fabriquée.

La production de chaux lourde, après l'extinction de ces grappiers, est d'environ 10 p. 100 du poids des grappiers

ou 1 p. 100 environ de la chaux hydraulique ordinaire.

Le ciment blanc véritable est le produit de la 1<sup>re</sup> et 2<sup>e</sup> mouture du grappier après qu'on en a extrait la chaux lourde. Les produits de ces deux moutures sont blutés au tamis n° 100 et sont mélangés puis envoyés ensemble dans des silos où on les laisse reposer environ 40 jours avant de les livrer au commerce.

C'est ce dernier produit, d'un gris blanchâtre, qui devra être exigé par les fabricants de carreaux comprimés.

Ce ciment fait son commencement de prise au bout de 4 à 5 heures. La prise doit être complète au bout de 20 heures.

Un bon ciment de cette nature doit résister à la traction :

à 7 jours . . . . .	de 20 à 25 kil.
à 28 — . . . . .	de 30 à 35 kil.
à 3 mois . . . . .	de 35 à 40 kil.

Sa densité est d'environ 1.00.

La composition chimique du ciment blanc est sensiblement comprise entre les proportions extrêmes suivantes :

Sable . . . . .	de 0 à 1 p. 100.
Silice . . . . .	» 25 à 30 p. 100.
Alumine et peroxyde de fer . . . . .	» 4 à 5 p. 100.
Chaux. . . . .	» 50 à 60 p. 100.
Magnésie . . . . .	» 0 à 1 p. 100.
Acide sulfurique . . . . .	» 0 à 0,5 p. 100.
Perte au feu . . . . .	» 5 à 10 p. 100.

L'indice d'hydraulicité est sensiblement 50 p. 100.

**Ciment gris de grappiers.** — Après les deux premiers broyages et les trois premiers blutages il reste sur les toiles des blutoirs un résidu sableux qu'on appelle la sablette.

Cette sablette est composée des grains les plus siliceux et les plus durs du grappier. Elle a un aspect grisâtre et parfois tire sur le noir, la quantité de sablette est d'environ 20 p. 100 du poids de grappier-sable provenant de la fabrication de la chaux.

Cette sablette peut être triturée soit au moyen de meuletons en fonte, soit simplement par un tube finisseur Dana. Elle donne par la trituration le ciment gris de grappiers dont la prise est sensiblement la même que celle du ciment blanc, mais dont la résistance est souvent plus considérable.

Dans certaines usines, ou encore lorsque, pour une cause quelconque, le produit des deux premières moutures et surtout de la 2<sup>e</sup> donne un ciment légèrement gris, on mélange les produits de ces moutures au ciment de sablette pour faire le grappier gris. Nous verrons plus loin, dans l'étude du silotage des grappiers, que l'adjonction d'un peu de chaux lourde au grappier gris est nécessaire si on ne peut faire subir à ces ciments un silotage prolongé.

Dans tous les cas, le ciment de grappiers est envoyé dans des silos où on le laisse séjourner plusieurs mois avant de le livrer.

La densité du ciment gris de grappiers est d'environ 1,10 à 1,20. Sa teneur en silice peut monter à 35 p. 100. Sa résistance à la compression est considérable, c'est ce qui le fait employer à la fabrication des carreaux.

**Silotage des chaux lourdes et des ciments de grappiers.** — Nous avons vu qu'au fur et à mesure de l'avancement du traitement des grappiers-sable, on se trouve en présence de produits dont l'extinction est de plus en plus paresseuse et qui par conséquent devront subir des silotages plus prolongés. Ce silotage devra être d'autant plus long, que dans le traitement des grappiers-sable on élimine progressivement les parties tendres, partant les plus hydratées. Dans le dernier traitement de la sablette pour la fabrication du grappier gris, ces parties hydratées n'existent plus. C'est pourquoi il est bon, pendant le broyage de la sablette, d'y joindre un peu de chaux lourde qui, étant hydratée et s'échauffant par le broyage, donnera au ciment une partie de l'eau dont il a besoin pour son extinction complète.

On obtiendrait le même résultat en ajoutant à la sablette

une petite quantité de ciment naturel fraîchement fabriqué encore imprégné de l'humidité que lui a abandonné l'air atmosphérique.

Dans tous les cas, une fois le ciment de grappier mis en silos, il sera bon de remuer le tas, de façon à ramener à l'intérieur les couches de surface qui ont pu s'hydrater par contact avec l'air atmosphérique.

Ces précautions doivent toujours être appliquées pour le ciment gris. Le ciment blanc, composé de parties plus hydratées, demande moins de soins au silotage et surtout exige un silotage beaucoup moins prolongé.

Pour apprécier le temps que doit durer l'ensilage de ces ciments, aucun essai ne donnera des résultats plus précis que les essais à chaud dont nous avons parlé; nous les recommandons vivement pour ce cas particulier soit aux laboratoires d'usine, soit à ceux qui emploient les ciments de grappier.

### Composition de quelques ciments de grappiers.

	SILICE	ALUMINE	PEROXYDE DE FER	CHAUX	MAGNÈSIE	AC. SULF.	PERTE AU FEU
Lafarge. . . . .	27.3	3.2	1.4	61.2	1.00	0.6	5.3
Valette Vialard.	27.60	3.70	1.80	59.10	0.90	0.30	6.60
Divers. . . . .	35.75	3.60	1.95	50.10	1.0	»	8.60
Lafarge. . . . .	27.5	3.65	1.45	55.00	0.70	»	3.50
Villeneuve. . . .	25.65	2.25	1.50	57.18	0.20	»	2.66
Id. . . . .	27.00	4.20	2.00	56.50	0.80	1.00	8.50
Id. . . . .	30.25	3.80	1.30	60.50	»	»	4.15

**Résistances moyennes.** — A la traction, le ciment de grappiers gâché en pâte pure résiste

à 7 jours . . . . . de 10 à 20 kil.

à 28 — . . . . . de 20 à 25 kil.

Mortier 1 : 3 :

à 7 jours . . . . . de 8 à 12 kil.

à 28 — . . . . . de 15 à 23 kil.

## A la compression, pâte pure :

à 7 jours . . . . . de 100 à 150 kil.

à 28 — . . . . . de 200 à 250 kil.

## Mortier 1 : 3 :

à 7 jours . . . . . de 100 à 130 kil.

à 28 — . . . . . de 150 à 200 kil.

## CHAPITRE VIII

### **Quelques chiffres sur les données d'une usine à chaux fabriquant 100 tonnes de chaux hydraulique par jour.**

Usine. — Appareils, force motrice. — Choix des machines. — Capital à mettre en œuvre. — Coupe d'une usine modèle.

**Usine.** — On choisira autant que possible un emplacement adossé à une colline, de façon à utiliser, dans la plus large mesure possible, la pesanteur comme moyen de transport. Nous nous supposerons placés dans les conditions les plus avantageuses, de manière à établir une usine théorique.

Nous établirons la plate-forme supérieure des fours au niveau du sol, des carrières. La montée des charbons, si aucune route n'aboutit à cette plate-forme, se fera au moyen d'un monte-charge.

Les fours seront du modèle que nous avons donné, et au nombre de huit avec un appareil à tirage forcé actionné par une dynamo. Le défournement se fera par trois wagons plats de la contenance de 1.000 kilos, et ces fours auront à la partie supérieure un réservoir de chasse de 100 litres alimenté avec de l'eau chaude provenant de la condensation des machines.

Les fosses seront au nombre de dix-huit, elles devront contenir 100 tonnes chacune, il y en aura toujours 3 en vidange et 3 en chargement. Ces fosses devront avoir 3 mètres de profondeur, 3 mètres de largeur et comme la chaux

éteinte pèse, avant le blutage, environ 700 kil., la longueur des fosses devra être de 25 mètres.

Un moulin à chaux peut passer en 10 heures 25 tonnes de chaux tout venant. Il faudra donc 4 moulins de premier décortiquage des grappiers et 2 moulins de 2<sup>e</sup> décortiquage à meules plus serrées. Les 4 premiers moulins devront être précédés d'un concasseur à mâchoires qui permettra d'envoyer à ces moulins les morceaux qui n'auraient pas passé à la quille et qui cependant ne seraient pas des incuits. Le concasseur Gates n<sup>o</sup> 0 convient parfaitement pour cette opération.

Tous ces moulins devront déverser leur chaux dans une série de blutoirs placés dans le même encaissement. Cette batterie de blutoirs sera ainsi composée :

4	blutoirs à grille protectrice ;
4	— de 1 <sup>er</sup> décortiquage ;
2	— de 2 <sup>e</sup> —

La chaux produite par cette batterie de 1 concasseur, 6 moulins et 10 blutoirs sera reçue dans des sacs et mise en magasins.

Les grappiers-sable seront mis en silos couverts, mais accessibles à l'air atmosphérique. Ils y séjourneront 2 mois et seront étalés par couches aussi peu épaisses que possible.

A leur reprise, ils seront envoyés dans une bluterie. La chaux lourde ainsi obtenue sera mise en silos et pourra être reprise soit pour la fabrication du ciment blanc, soit pour être mêlée à la chaux hydraulique ordinaire après silotage.

La quantité de grappiers à traiter ne sera que de 10 tonnes par jour. On les broiera dans un 1<sup>er</sup> moulin à meules serrées, suivi d'un blutoir à la toile n<sup>o</sup> 100. Le résidu du blutage ira dans un 2<sup>e</sup> moulin et sera rebluté une 2<sup>e</sup> fois à la toile n<sup>o</sup> 100. Ces deux derniers blutoirs seront dans le même encaissement.

Enfin viendra un tube broyeur Dana qui sera disposé de

façon à recevoir soit la chaux lourde additionnée de ciment et les produits des deux blutages suivants soit encore la sabblette résidu des derniers blutages, pour faire le grappier gris, soit tel mélange qu'on voudra de ces diverses poudres.

Ces mélanges seront reçus dans une série de silos capables de tenir chacun 600 tonnes, c'est-à-dire qu'ils auront environ 600 mètres cubes de capacité.

La force motrice nécessaire sera

8 moulins à 15 chevaux chacun...	120 chevaux.
1 concasseur.....	5 —
1 tube Dana.....	15 —
13 blutoirs, vis d'Archimède, élévateurs, etc.....	60 —
dynamos d'éclairage, etc.	

Nous conseillons d'employer deux machines à vapeur, l'une de 150 chevaux commandant plus particulièrement la fabrication de la chaux et une de 75 chevaux commandant plus particulièrement la fabrication du ciment, les dynamos d'éclairage électrique ou de transport de force, les pompes, etc... Nous conseillons de prendre des machines simples, de conduite facile : les machines de la maison Piguët, de Lyon, nous ont donné dans les installations que nous avons faites toute satisfaction.

Les chaudières devront être faciles à conduire et très stables, ce qui exclut au premier abord tous les types de chaudière à vaporisation rapide et multitubulaires; néanmoins, comme les chaudières à bouilleurs sont très encombrantes, on peut prendre des générateurs semi-multitubulaires; nous citons parmi les types de chaudières de ce genre la chaudière Lagosse. Dans le cas qui nous occupe nous prendrions 4 chaudières Lagosse à deux bouilleurs, type n° 10, produisant 1.200 kil. de vapeur par heure.

**Capital à mettre en œuvre.** — La mise de fonds pour la sacherie devra être d'environ 300.000 sacs représentant 150.000 francs.

Le fonds de roulement devra être de 100.000 francs au moins.

La construction de l'usine coûtera de 5 à 600.000 francs.

L'achat des terrains, des carrières, etc... de 100 à 150.000 francs.

On peut donc estimer que la création d'une usine nécessitera l'emploi d'un capital de 1 million.

*Rendement.* — En marche normale, l'usine fera par an 36.000 tonnes de chaux et 3.600 tonnes de ciment.

Nous avons vu que le prix de revient d'une usine bien comprise peut être obtenu de 8 francs à 8,50 pour la chaux. Le prix de revient du ciment qui n'a à subir qu'une série de triturations ne devra pas dépasser 10 à 12 francs. Dans ces évaluations sont compris les frais généraux d'entretien. Les prix de vente sont de 12 francs minimum pour la chaux et 30 francs pour le ciment. La tendance est à la hausse. Ces prix s'entendent « nu à l'usine ».

La recette brute de l'usine sera donc : 432.000 francs pour la chaux.  
108.000 — — le ciment

Total : 540.000 francs.

Les dépenses seront de : 306.000 francs pour la chaux en admettant  
le prix de revient 8 fr. 50  
43.200 francs pour le ciment 12 fr.

Total : 349.200 francs.

Le bénéfice brut de l'usine sera donc 190.800 francs.

Il faut déduire de cette somme.

Frais de direction, de bureau, de publicité, etc.	30.000 francs.
Amortissement spécial de la sacherie.....	7.500 —
— du capital social.....	50.000 —
Intérêt à 5 % — —	50.000 —
Total.....	137.500

Bénéfice net : 53.300.

Une remarque est nécessaire au sujet de l'amortissement de la sacherie : dans l'évaluation que nous faisons, on voit

qu'elle n'est amortie seulement que de 5 % par an, ce qui serait trop peu si on s'en tenait là. Mais la sacherie a ses ressources propres, en ce sens que le sac doit toujours être loué au client et non prêté. On le loue en général à raison de 0 fr. 05 à 0 fr. 075 par voyage, cela en vendant la chaux à 12 francs la tonne dans la sacherie du client et 13 francs ou 13 fr. 50 dans la sacherie de l'usine. D'autre part, tout sac perdu par les clients, et cela arrive souvent, est facturé 1 franc alors qu'en réalité il ne coûte que 0,40 à 0,50. Il faut que la sacherie d'une usine à chaux ait sa vie propre, et qu'elle ne coûte rien à l'exploitation.

Dans ces conditions, une industrie telle que nous en donnons un aperçu rapide est une affaire viable. Depuis quelques années, un mouvement industriel très accentué s'est porté vers les usines à chaux et à ciment de Portland artificiel. Presque toutes ces affaires ont donné de bons résultats.

Nous terminons ici cette étude sur les chaux et ciments de grappier, en donnant une coupe d'une usine où nous avons essayé de réaliser les desiderata d'une usine à chaux modèle. Les carrières sont situées au-dessus des fours (fig. 56).

Les fours sont munis d'une cheminée à tirage forcé (*c*). La chaux reçue dans les wagons est mouillée sur le wagon au moyen de la bêche dosée (*v*), puis versée dans les fosses d'extinction où elle restera quinze jours.

La chaux effusée, reprise par wagonnets, est passée à une grille (*g*). Les gros morceaux sont passés à un concasseur Gates (*f*). Les moulins  $M_1$   $M_2$  sont à meules écartées. La chaux légère ou fleur de chaux sera donnée par une série de blutoirs *B*. La chaux provenant du décorticage des grappiers sera donnée par les blutoirs  $B_2$   $B_3$ . Ces trois séries de blutoirs sont dans le même encaissement et aboutissent en (*i*) à une série de manches munis d'appareils peseurs. Les grappiers tombent dans un encaissement où une vis ( $V_1$ ) les emmène dans une série de salles spéciales situées en arrière de la salle (*i*) où ces grappiers resteront le temps nécessaire à leur effusement.

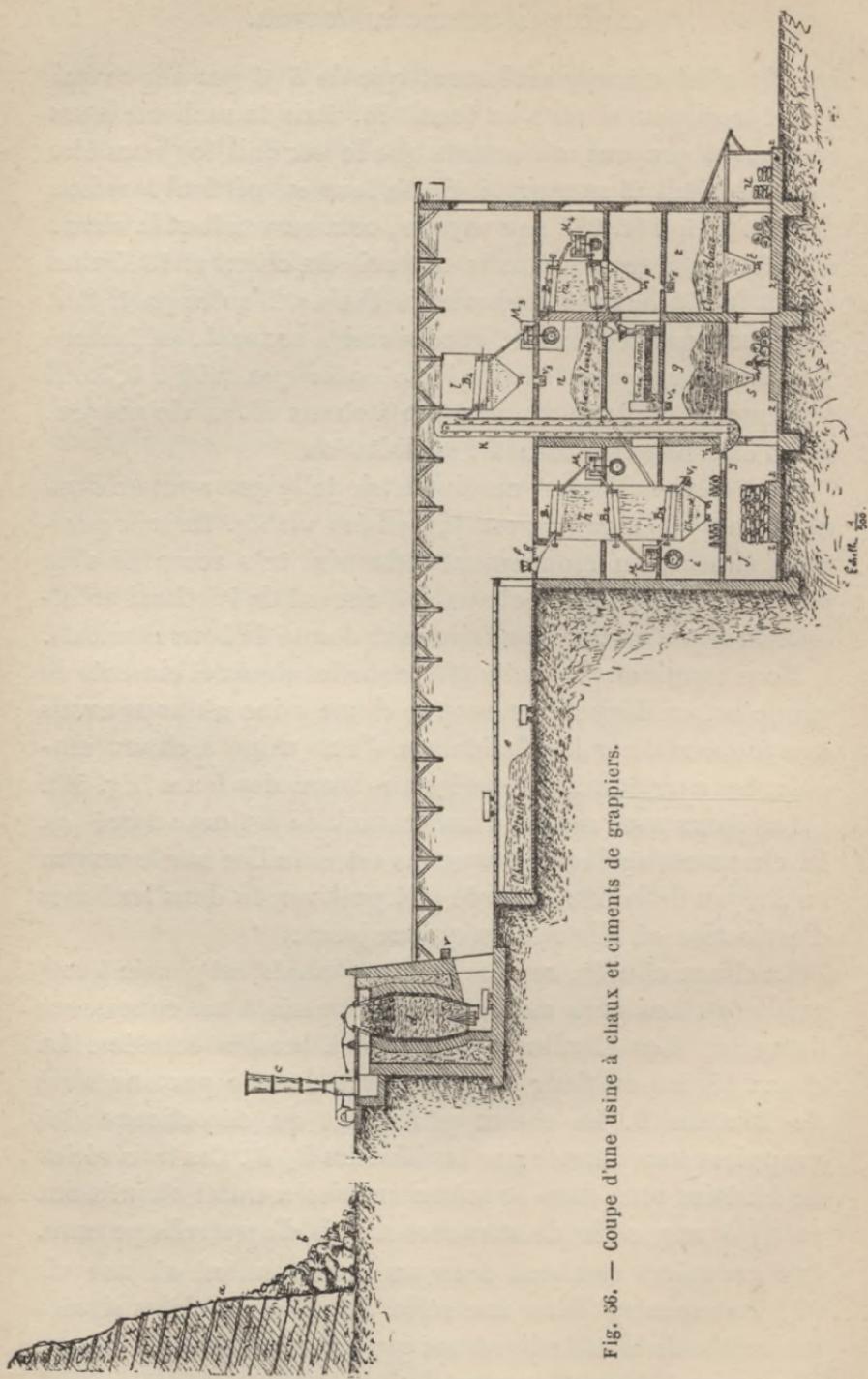


Fig. 56. — Coupe d'une usine à chaux et ciments de grappiers.

La chaux reçue dans le magasin *i* sera ensachée puis descendue dans le magasin *j* au moyen de plans inclinés mobiles et des trappes *x y*. Le chargement se fera soit sur charrettes, soit sur wagons par les quais *z*. Une bonne précaution prise dans certaines usines lors des chargements, consiste à faire passer l'homme chargé du sac de chaux par un compteur automatique analogue à celui des entrées d'exposition. On est ainsi certain du nombre de sacs chargés.

Le grappier effusé est repris par une vis ( $V_2$ ) et transporté à l'élévateur *K* qui le remonte au 4<sup>e</sup> étage de l'usine. Le blutoir  $B_4$  débarrasse ce grappier de la chaux lourde qui tombe dans l'encaissement (*l*). Cette chaux lourde pourra à volonté être reçue à la sortie du blutoir dans des sacs ou transportée par la vis  $V_3$  dans une série de silos *n* où elle restera quelque temps. Le grappier sable purgé de chaux lourde est décortiqué dans les moulins  $M_3$  et  $M_4$  et bluté en  $B_5$  et  $B_6$ . Ces deux blutoirs sont dans le même encaissement (*m*). Le ciment blanc ainsi obtenu est transporté par la vis  $V_5$  dans une série de silos *r* où, après un certain temps, il est pris par la manche *t*.

La sablette est broyée dans un tube Dana qui peut aussi recevoir la chaux lourde provenant des silos *n*. Cette chaux lourde, après silotage, pourra aussi être envoyée directement dans l'encaissement *h*.

Le grappier gris venant du tube est reçu dans une série de silos (*q*) d'où ils sont extraits après un long silotage en *S*.

Le tube Dana peut recevoir aussi directement le produit des bluteries  $B_5$  et  $B_6$ .

Le chargement des chaux et ciments se fait par les quais *z*.



## DEUXIÈME PARTIE

### CIMENTS NATURELS ET CIMENTS MIXTES. CIMENTS ADDITIONNÉS

---

#### CHAPITRE IX

##### **Fabrication des ciments, romain, prompt, roquefort.**

Historique. — Fabrication. — Choix des calcaires. — Cuisson. — Combustibles. — Frittes, mâchefers. — Prise. — Composition chimique. — Analyses. Essais des ciments prompts. — Résistance. — Densité. — Spécimen d'essai officiel. — Destruction des mortiers. — Prix de revient. — Emplois du ciment prompt. — Mode d'emploi. — Prix du ciment. — Remarque sur la rapidité de prise des mortiers de ciment prompt.

**Historique.** — C'est à la fin du siècle dernier que James Parker en 1796 fabriqua, pour la première fois, un ciment prompt auquel il donna le nom de ciment romain. Il cuisait à faible température des calcaires marneux contenant de 30 à 35 % d'argile, qu'il pulvérisait ensuite au lieu de les éteindre.

Actuellement, en France, les usines de Pouilly, de l'Isère et des Bouches-du-Rhône donnent les ciments prompts les plus renommés.

En Allemagne, en Suisse et en Russie, on fabrique des quantités importantes de ciment prompt que ces usines désignent sous le nom de ciment romain.

Dans le département des Bouches-du-Rhône, le ciment prompt a pris le nom de ciment de Roquefort, du nom de la

commune où se trouvent situées les carrières de calcaire argileux.

**Fabrication.** — L'exploitation des carrières de calcaire marneux est toujours facile, car ces calcaires sont tendres et l'abatage n'offre pas de difficultés; le point délicat de l'extraction est le triage. On ne doit en effet employer que des calcaires contenant de 30 à 35 % d'argile et le plus souvent ces bancs se trouvent encastrés entre des bancs calcaires moins riches en argile.

Dans les usines des Bouches-du-Rhône, à La Bédoule de Roquefort, les bancs susceptibles de donner des ciments prompts sont dans le terrain aptien, et alternés avec des bancs calcaires dits « à chaux bleue ». Ces derniers sont des calcaires bleuâtres où l'argile se trouve très inégalement répartie et qui de ce fait donnent une chaux d'un jaune sale s'éteignant très difficilement. Cette chaux, qui en réalité se trouve être un mélange de chaux et de ciment prompt, fait prise assez rapidement et peut acquérir dès les premiers temps une dureté assez grande, mais par le fait même de sa composition elle a une tendance à se désagréger et nous ne conseillons son emploi que si on a pu s'assurer que sa fabrication était particulièrement soignée, notamment au double point de vue de la durée de l'extinction et du silotage après sa fabrication.

Les couches de marnes argileuses à ciment, au moment de l'extraction, devront être soigneusement triées de façon que la matière première mise aux fours soit aussi homogène que possible et exempte de calcaires à chaux.

Dans les usines de l'Isère, les bancs exploités appartiennent à la base du terrain crétacé, à la limite du jurassique et du néocomien. Les carrières de Tenay sont dans l'oxfordien, celles du Valbonnais (Pelloux) dans le lias.

**Cuisson.** — Tous ces calcaires argileux doivent subir une cuisson peu intense, de façon à ne pas atteindre la température de vitrification.

Les fours employés sont en tous points identiques au four à chaux que nous avons décrit, à la seule différence de la marche, qui est beaucoup plus lente pour le ciment que pour la chaux. Un four tel que nous l'avons décrit peut donner de 12 à 15 tonnes de chaux par jour, tandis qu'il ne donnera pas plus de 6 tonnes de ciment prompt, si on veut lui conserver une marche normale et économique.

Comme règle empirique, on peut poser qu'il ne faut demander à un four à ciment prompt que 1 tonne de ciment pour 10 mètres cubes de capacité.

Nous avons vu que pour les fours à chaux il n'y avait pas intérêt à donner à ces fours une hauteur supérieure à 9 mètres. Cette hauteur peut être beaucoup augmentée pour les fours à ciment et poussée sans inconvénient jusqu'à 13 et 14 mètres, car nous n'avons plus ici besoin d'un assez grand courant d'air, et de plus, le produit cuit ne s'effritant pas sous l'influence de l'humidité atmosphérique, le tirage ne se ressent pas autant de l'épaisseur de la couche de calcaire à traverser.

Nous conseillons donc d'augmenter la hauteur des fours, la cuisson n'en sera que plus économique. Les cheminées d'appel activant le tirage peuvent être employées avec succès, mais il est inutile d'employer les appareils à tirage forcé.

Le séjour de la pierre dans le four doit être de 10 jours environ. En réduisant la durée de séjour et par suite en accélérant la marche du four, on s'expose à avoir des incuits et des parties frittées. On s'expose en outre au collage du four et à des accidents qui ne tardent pas à détériorer la chemise réfractaire.

**Combustibles.** — Les combustibles de qualité inférieure peuvent être employés pour la cuisson du ciment prompt. On emploie l'antracite en poudre, le fraisil de coke et plus simplement encore les résidus incomplètement brûlés de chaudières, de locomotives, de hauts fourneaux, etc.

La proportion de ces combustibles inférieurs est de 150 à 180 kilos par tonne de pierre.

Le chargement des fours se fait absolument comme pour la chaux par couches alternées de combustibles et de calcaire. Ce dernier a été préalablement cassé en morceaux plats facilitant la cuisson.

Le produit du four est un mélange de pierre jaunâtre, parfois rougeâtre, ayant conservé la forme primitive. Les frites ou parties ayant subi un commencement de fusion, doivent être mises de côté, et pourront donner un ciment à prise demi-lente. Quant aux mâchefers qui ont pu se produire, ils proviennent de parties très argileuses et on peut les considérer comme matière inerte.

Mélangés au ciment, ces mâchefers retarderont sa prise sans lui donner de qualités de résistance. Broyés seuls, ils donnent de très mauvais ciments. On doit les éviter et, si possible, les rejeter.

Certains fabricants sont dans l'erreur absolue, lorsqu'ils préconisent l'adjonction de ces mâchefers spéciaux à leurs ciments.

La masse cuite non frittée est disposée dans des fosses où elle est exposée quelque temps à l'air. Elle absorbe ainsi de l'humidité; souvent même on l'arrose légèrement, de façon à éteindre la chaux libre provenant de calcaires mal triés. On la laisse quelques jours en repos, puis on la passe aux concasseurs à mâchoires et aux meules.

Nous conseillons pour le ciment prompt d'employer le moulin ordinaire aux meules de 1<sup>m</sup>,50 de diamètre faisant 100 tours à la minute.

Avec une batterie de 3 moulins semblables dont un au rhabillage ou pour rechange on peut obtenir 30 tonnes de ciment par 10 heures de travail.

Le ciment sortant des moulins est bluté à la toile n° 60, les fragments qui n'ont pas traversé la toile sont ramenés au moulin. On a une tendance à exiger de ces ciments une finesse de plus en plus grande.

Le ciment fabriqué est versé dans une série de silos où il doit séjourner de 3 à 6 mois. La capacité des silos à ciment prompt dans une usine bien comprise devra donc être du quart à la moitié de la production annuelle.

**Prise.** — Fabriqué dans ces conditions, le ciment prompt fait prise dans un délai de 5 à 10 minutes. Malheureusement, on exige souvent des ciments dits « fulminants », dont la prise, pour satisfaire les désirs de la clientèle, doit être presque instantanée. Dans ces conditions le ciment ne doit pas être siloté, on arrive néanmoins à ce desideratum en soignant tout particulièrement le triage des calcaires mis au four, en choisissant des bancs bien définis aussi éloignés que possible des bancs de calcaire à chaux, en réglant la cuisson de façon qu'elle se fasse doucement sans frites ni incuits, enfin en les blutant à la toile n° 60 et très soigneusement.

Nous ne conseillons pas l'emploi de ces ciments extra-rapides et sans silotage.

### Composition chimique de calcaires à ciment prompt.

	PORTE DE FRANCE	ROQUEFORT	VASSY (GROS BANC)	VASSY (PETIT BANC)
Silice. . . . .	22.04	23.30	19.71	22.15
Alumine. . . . .	1.78	1.30	7.35	6.45
Peroxyde de fer. . . . .		0.90		
Chaux . . . . .	36.87	37.40	38.85	36.85
Magnésie . . . . .	2.48	0.82	0.45	0.30
Soufre . . . . .	1.04	traces	»	»
Perte au feu . . . . .	35.79	36.38	33.65	34.25
	100.00	100.00	100.00	100.00

D'une manière générale, les meilleurs bancs à ciment prompt sont ceux dont la composition correspond à 24 d'argile pour 76 de carbonate de chaux, sur cent de calcaire. En employant des calcaires plus argileux, le ciment obtenu

est plus lent, et la conduite des fours est des plus difficiles par suite des collages qui se produisent fréquemment.

PROVENANCE DES CIMENTS	RÉSIDU SABLEUX	SILICE	ALUMINE	OXIDE DE FER	CHAUX	MAGNÉSIE	ACIDE SULFURIQUE	PERTE AU FEU	MATIÈRES NON DOSÉES	INDICE D'HYDRAULICITÉ
*L'albarine (1). . . . .	2.40	25.45	9.25	3.85	47.85	1.45	0.70	8.95	»	0.72
*Argenteuil (1). . . . .	»	29.55	8.35	4.10	47.50	3.85	1.35	5.30	»	0.80
*Yonne (1). . . . .	»	23.40	12.90	3.30	47.70	1.05	3.30	8.35	»	0.76
*Yonne (1). . . . .	0.50	20.00	8.40	5.70	52.05	0.95	2.80	9.60	»	0.55
*Guéthary (1). . . . .	»	25.10	8.85	3.05	53.80	1.15	1.15	6.85	»	0.63
*La Valentine (1). . . . .	4.45	24.55	10.85	5.20	47.85	1.60	1.60	3.95	»	0.74
*Roquefort (1). . . . .	0.85	27.20	11.05	4.45	48.05	1.40	1.65	5.35	»	0.79
Vassy (1). . . . .	»	22.60	8.90	5.30	52.69	1.15	3.25	6.11	»	0.60
Vassy (1). . . . .	»	23.50	8.76	5.64	50.68	1.80	4.03	5.25	0.24	0.63
Vassy (1). . . . .	6.00	24.80	7.00	4.80	44.12	2.08	3.60	7.50	0.10	0.76
Vassy (1). . . . .	»	22.40	9.60	4.76	52.20	1.44	3.84	5.70	0.06	0.61
Isère (1). . . . .	»	21.70	8.29	3.71	52.68	3.52	3.56	6.20	0.34	0.56
Isère (1). . . . .	»	23.60	7.99	4.31	57.40	1.50	2.10	2.75	0.35	0.55
Isère (1). . . . .	»	21.80	10.03	3.77	55.00	2.80	2.74	3.75	0.11	0.57
Pouilly (1). . . . .	2.00	26.80	10.39	4.61	46.10	1.72	1.74	6.40	0.24	0.80
Zumaya (1). . . . .	10.70	30.80	7.82	5.13	33.04	0.93	2.90	8.20	0.48	1.17
Romain Boyer . . . . .	»	23.25	10.70	3.05	57.00	1.30	0.80	3.90	»	»
Roquefort-Villeneuve n°1. . . . .	0.65	22.00	9.50	3.50	57.40	2.35	1.30	3.30	»	»
Porte de France (2) . . . . .	»	21.30	9.50	4.00	55.90	4.00	3.20	2.10	»	»
Voreppe (2) . . . . .	1.25	23.00	13.80	4.35	54.35	0.75	2.50	»	»	»
Grande-Chartreuse (2) . . . . .	1.70	21.65	9.50	4.25	54.55	3.15	3.70	1.50	»	»
Villeneuve n° 2. . . . .	1.85	27.70	9.85	3.35	51.50	1.45	1.30	3.00	»	»
Roquefort . . . . .	1.00	21.80	8.60	3.30	58.70	1.00	1.00	4.60	»	»
Vassy . . . . .	»	21.10	16.55	»	53.80	0.35	4.25	3.95	»	»
CIMENTS RUSSES										POTASSE ET SOUDE
Schmidt (1). . . . .	»	14.72	8.56	2.70	36.74	22.26	»	10.70	»	1.27
Tscherkasoff (1) . . . . .	»	24.29	6.53	5.80	42.01	10.15	1.30	4.51	»	4.29
Podolsk (1). . . . .	»	12.57	2.76	1.16	48.20	15.40	»	»	»	»
Rosche (1). . . . .	»	17.00	2.07	8.69	45.00	3.81	0.10	21.00	»	1.20

(1) Les analyses marquées (1) sont extraites de l'ouvrage de M. Cándlot.  
(2) Celles marquées (2) sont tirées de l'ouvrage de M. Gobin sur les ciments de l'Isère.

**Essais des ciments prompts.** — La prise doit se faire avec peu de dégagement de chaleur (10° au plus), le volume doit être inaltérable. Le ciment prompt a une tendance au rétrécissement qu'on peut atténuer par l'emploi à l'état de mortier.

MINISTÈRE  
Des Travaux Publics

ÉCOLE NATIONALE  
Des Ponts-et-Chaussées

LABORATOIRE

CIMENT PROMPT THORRAND & C<sup>ie</sup>

Ciments Supérieurs

DE

A Voreppe

Près GRENOBLE (Isère)

Résidus....	}	Tamis de 324 mailles par c <sup>2</sup>	1.0 %	}	100
		— 900 —	13.3		
		— 5.000 —	7.9		
Total de la fine poussière.....			77.8		
Poids du litre sans tassement.....	}	Ciment tel quel.....	0.787		
		— fine poussière...	0.699		

Briquettes de 5 centimètres carrés de section conservés sous l'eau 24 heures après confection.

INDICATION  DES  DOSAGES	TRACTION					COMPRESSION				
	Résistances par centimètre carré									
	CIMENT PROMPT					CIMENT PROMPT				
	7 jours	28 jours	84 jours	6 mois	1 an	7 jours	28 jours	84 jours	6 mois	1 an
Ciment pur....	14.87	15.47	18.77	28.50	31.27	151.0	167.7	256.0	413.0	518.6
Mortier à 1,300 <sup>k</sup> de ciment par m <sup>3</sup> de sable..	17.90	20.83	29.73	38.93	43.03	190.3	207.7	324.7	431.0	535.3
Mortier à 650 <sup>k</sup> .	16.37	21.87	30.43	41.60	42.83	213.0	224.3	237.3	460.3	528.7
Mortier à 450 <sup>k</sup> .	10.60	14.23	22.00	31.07	35.10	135.7	164.0	244.3	338.3	388.0
Mortier à 1:3 <sup>k</sup> .	9.37	13.87	21.43	32.57	31.40	146.0	150.3	228.0	351.0	402.0
Mortier à 400 <sup>k</sup> .	8.83	11.87	18.93	31.30	33.70	132.0	133.7	177.0	308.7	371.3
Mortier à 350 <sup>k</sup> .	8.87	13.17	18.53	26.07	26.17	114.3	139.0	175.0	255.3	252.3
Mortier à 300 <sup>k</sup> .	6.30	9.67	16.90	23.27	26.43	85.3	99.0	128.0	193.3	249.0
Mortier à 250 <sup>k</sup> .	4.97	13.90	16.33	21.93	20.43	64.0	76.3	108.3	154.0	166.3

Vu par l'Inspecteur Général,  
Inspecteur de l'École,  
Signé: E. COLLIGNON.

Vu et vérifié par l'Ingénieur en Chef,  
Directeur du Laboratoire,  
Signé: DURAND-CLAYE.

L'Ingénieur des Ponts et Chaussées,  
Directeur-Adjoint du Laboratoire,  
Signé: DEBRAY.

Mai 1890.

Les mortiers de ciment prompt sont généralement 1 : 1. 1 : 2, 2 : 5 ; au delà de cette proportion le ciment prompt donne de mauvais résultats.

Lorsque le ciment a été mal fabriqué, il se fend après quelques mois d'exposition à l'air bien, qu'il ait présenté dans les premiers jours de prise une résistance assez grande.

Un bon ciment prompt doit résister au bout de 24 heures à 10 kilos à l'arrachement et à 50 kilos à la compression.

La résistance du mortier 1 : 3 doit être de 10 à 12 kilos à la traction et de 80 à 100 kilos à la compression après 28 jours.

Le mortier doit être gâché avec 13 % de son poids d'eau.

Nous donnons à la page précédente les résultats obtenus avec le ciment prompt de la maison Thorrand.

**Densité.** — Sa densité doit être de 700 à 1000. Nous donnons ici quelques densités :

Roquefort. . . . .	0,980
Porte de France. . . . .	1,450
Voreppe. . . . .	1,400
Ciment — Grenoble à prise prompte. . . . .	1,000
L'Albarine à prise prompte. . . . .	1,400
Rocher de Comboire. . . . .	1,450
Grande-Chartreuse. . . . .	1,000

**Finesse.** — Nous donnons ici les refus maximum d'un ciment de recette.

Toile n° 200. . . . .	33 %
— 80. . . . .	20 %
— 50. . . . .	1 à 2 %

**Destruction des mortiers.** — La destruction des mortiers du ciment prompt a été étudiée spécialement par M. Candlot auquel nous empruntons le passage suivant :

« Les mortiers de ciment à prise rapide, quand le dosage en ciment est suffisamment élevé, sont assez peu perméables bien qu'ils soient très poreux ; le gâchage de-

« mande en effet une quantité d'eau considérable, mais les  
 « vides sont très petits et très divisés. Quand le mortier est  
 « soumis à une pression d'eau constante, celle-ci finit par  
 « le traverser et comme l'aluminate de chaux, qui est l'é-  
 « lément essentiel dont le ciment est composé, est relative-  
 « ment soluble dans l'eau, il s'appauvrit et diminue peu à  
 « peu de résistance; il peut arriver ainsi à être détruit com-  
 « plètement. L'action de l'acide carbonique peut seule  
 « s'opposer à la destruction d'un mortier ainsi traversé par  
 « l'eau; si la vitesse de dissolution de l'aluminate est fai-  
 « ble, il se forme une quantité de carbonate de chaux  
 « assez grande pour boucher les vides et pour donner au  
 « mortier une solidité plus grande même que celle qu'il  
 « possédait auparavant. C'est peut-être à cette intervention  
 « de l'acide carbonique qu'il faut attribuer l'augmentation  
 « de résistance que présentent quelques ciments prompts  
 « après un temps très long d'immersion. »

**Prix de revient.** — Le ciment prompt est, de tous les produits hydrauliques, celui dont le prix de revient est le moins élevé, l'exploitation en carrière est facile, ces calcaires étant généralement tendres. La cuisson à feu doux peut se faire avec des combustibles de qualité très inférieure. Le broyage se fait aussi dans de bonnes conditions, car le ciment cuit est relativement tendre. Dans ces conditions, le prix de revient est d'environ :

Extraction en carrière et triage . . .	1 fr. 25	par tonne.
Cuisson. . . . .	1, 50	—
Manipulations diverses. . . . .	0, 75	—
Broyage (main-d'œuvre). . . . .	1, 25	—
Machinerie (force motrice et entretien)	2, 50	—

---

6 fr. 75 par tonne.

Ce prix de revient que nous donnons à titre de simple renseignement varie naturellement avec les conditions d'exploitation de l'usine, la distance de l'usine aux carrières, le prix du combustible employé. Dans l'exemple ci-dessus,

nous avons supposé l'emploi de 200 kilos d'un combustible inférieur revenant à 7 fr. 50 sur la plate-forme des fours. Il est bien évident que pour deux usines différentes le même combustible pourra revenir, suivant les transports, à des prix variant du simple au double. Il nous est arrivé, certains mois, lorsque nous étions dans de bonnes conditions d'exploitation de carrière, de marche d'usine et d'achat de combustible, d'obtenir le prix de revient de 5 fr. 50, et de voir, quelques mois après, ce prix porté à 9 et 10 francs, lorsque nous étions en mauvaise position pour l'achat des combustibles, l'exploitation des carrières, etc...

**Emplois du ciment prompt.** — On emploie de préférence le ciment prompt pour la fabrication des mortiers destinés à acquérir très rapidement une grande dureté, pour étancher des fuites et en général pour les travaux devant être faits rapidement sous l'eau. On les emploie aussi pour les tuyaux de conduite d'eau ou de gaz, les aqueducs et les égouts, etc... Depuis quelques années, ils sont employés avec succès dans certains travaux en ciment armé, notamment pour les conduites d'eau système Bordenave. On emploie aussi ces ciments dans les puits de mine lorsqu'on a à aveugler une voie d'eau. Gâché avec une solution de chlorure de calcium à 30° Baumé, le ciment prompt peut servir à la réparation rapide des meules à ciment et remplacer le soufre pour le scellement des boulons de fondation ou autres scellements, cela grâce à un léger gonflement qui se produit pendant la solidification.

*Mode d'emploi.* — On peut l'employer soit pur soit en mortier 1 : 1,1 : 2 ou 2 : 5. Pour les conduites d'eau on emploie :

1 de ciment. . . . .	en volume.
1 de sable. . . . .	—
1.5 de gravier. . . . .	—

Il faut avant tout gâcher serré et éviter un excès d'eau qui nuirait au durcissement ultérieur. Nous ne saurions

trop recommander d'éviter le regâchage, il faudra donc éviter d'agiter le mortier après le commencement de prise.

Le sable qui convient le mieux est le sable granitique ou siliceux de la grosseur d'une lentille, il faut éviter autant que possible le sable calcaire.

En cas de besoin, et faute de mieux, on peut utiliser les scories de fourneaux pulvérisées et lavées.

La quantité d'eau à employer pour le gâchage doit être égale à la moitié du volume du ciment, que celui-ci soit pur ou mélangé au sable.

*Mortier 1 : 1.* — Pour faire 1 mètre cube de mortier 1 : 1, il faut 0<sup>m</sup>3,900 de sable et 900 kilos de ciment. On l'emploie pour les rejointements.

*Mortier 1 : 2.* — Pour faire 1 mètre cube de mortier 1 : 2 il faut 500 kilos de ciment et 1 mètre cube de sable. On l'emploie pour les enduits.

*Mortier pur.* — Il faut 1.500 kilos de ciment pur à cause du tassement qui se produit lors du mélange du ciment avec l'eau. S'emploie pour le lissage des enduits.

Un enduit en ciment de 30 millimètres d'épaisseur utilise de 20 à 22 kilogrammes de ciment.

### *Prix du ciment prompt.*

Prix en sacs gare Grenoble :

Porte de France. . . . .	41 fr. la tonne.
Rocher de Comberre. . . . .	35 —
Prompt de Voreppe. . . . .	33 —
L'Albarine. . . . .	35 —
Grande-Chartreuse . . . . .	30 —
Prompt Grenoble. . . . .	25 —

En barils, 10 francs d'augmentation par tonne.

### *Ciments des Bouches-du-Rhône.*

Quai Marseille. — Roquefort en sacs, 48 fr.

— Prompt spécial des usines de La Bedoule, 20<sup>fr.</sup>

Ces derniers ciments sont livrés en barils de 300, 250, 200, 150 ou 100 kilos avec augmentation de 7 à 12 francs par tonne, brut pour net.

**Remarque sur la rapidité de prise des mortiers de ciment prompt.** — Dans la confection des mortiers de ciment, quel que soit le ciment employé, le sable et le ciment doivent être mélangés à sec ; mais si pour les ciments Portland à prise lente il est indifférent que le sable soit sec ou humide, pourvu toutefois qu'on tienne compte au gâchage de cette humidité ; il n'en est pas de même pour les ciments prompts. Ici, le sable doit toujours être très sec si on tient à ce que la prise soit rapide. En effet, si on mélange quelque temps avant l'emploi du sable humide avec du ciment prompt, l'eau du sable va hydrater tout d'abord l'aluminate de chaux qui est le facteur essentiel de la prise rapide. La prise du ciment n'aura plus lieu ensuite que par l'hydratation du silicate de chaux, et cette réaction est toujours lente. L'emploi du sable humide aura donc pour effet de retarder la prise, sans nuire toutefois à la résistance qu'obtiendront par la suite ces mortiers. Au contraire, la résistance des mortiers fabriqués avec du sable déjà humide, paraît être plus considérable qu'avec des sables secs.

Ce fait était intéressant à signaler, car il donne l'explication de bien des reproches formulés par les entrepreneurs qui n'ont pas trouvé en pratique les résultats de prise rapide qui leur étaient annoncés par les fabricants.

## CHAPITRE X

### **Ciment Valentine, Portland à prise demi-lente, ciments mixtes.**

Ciments naturels. — Fours. — Cuisson. — Fours intermittents. — Fabrication. — Propriétés. — Composition chimique. — Densité, finesse, résistance. — Analyse de quelques ciments connus. — Emploi du ciment demi-lent. — Portlands mixtes. — Ciments mixtes de Portland et de grappiers. — Composition de quelques ciments mixtes. — Ciments additionnés. — Fabrication. — Composition. — Moyen de reconnaître les fraudes.

Les ciments naturels demi-lents, appelés dans les Bouches-du-Rhône ciments Valentine, et ailleurs portlands naturels demi-lents, sont fabriqués avec les mêmes calcaires que le ciment prompt, et quelquefois avec des calcaires un peu moins riches en argile, qui sont soumis dans les fours à une cuisson poussée jusqu'au point de fusion, sans pourtant arriver à la vitrification.

On commence par trier, au défournement du ciment prompt, les frites ou pierres surcuites qui ont pu se produire. Ces frites sont mises en tas sous des hangars ou des fosses et exposées à l'air humide pendant quelques jours.

D'autre part, on conduit des fours spécialement en vue de cette fabrication. On choisit en général des calcaires un peu moins riches en argile que pour le ciment prompt, mais ce n'est que dans le but d'éviter les collages des fours; le même calcaire peut aussi bien convenir. La dose du combustible est d'environ 25 p. 100 plus forte que pour le ciment prompt, les mêmes combustibles de qualité inférieure peuvent être employés avantageusement, soit en

augmentant la dose comme nous venons de le dire, soit en les améliorant par l'adjonction d'une quantité déterminée de bon combustible, tels que le menu anthraciteux, le fraïsil de coke ou la houille maigre.

Les fours devront être conduits très lentement, le calcaire devra rester dans le four pendant 12 à 15 jours. Un four des dimensions que nous avons donné pour la chaux ne devrait donner que 4 à 5.000 kilos par jour pour marcher avec toute l'économie désirable.

Nous conseillons pour les fours coulants destinés au ciment demi-lent de donner 3 mètres de diamètre au ventre, au lieu de 3<sup>m</sup>,50 et de porter la hauteur à 12 mètres.

**Fours intermittents.** — Dans certaines usines on emploie, pour la cuisson, des fours intermittents, surmontés d'une cheminée de tirage, dans lesquels le calcaire est laissé pendant une vingtaine de jours. On ne les emploie que lorsque les calcaires à cuire ont une tendance à se coller et à produire l'accident connu dans les usines par ces mots : « le four est suspendu ». L'allumage de ces fours s'opère comme pour un four à chaux, le temps employé pour une fournée est de 3 jours pour le chargement, 15 jours de cuisson et 3 jours pour le déchargement. Leur forme est absolument la même que pour le four à chaux que nous avons décrit.

Le produit de la cuisson est mélangé aux frites obtenues accidentellement dans la cuisson du ciment prompt. S'il y avait des morceaux jaunâtres non frittés, ils seraient triés et versés à la fabrication de ce dernier ciment.

Après quelques jours d'exposition à l'air, la pierre cuite a subi un commencement de désagrégation par suite de l'hydratation des particules de chaux qu'elle contenait. Souvent on arrose même légèrement la pierre cuite. On diminue ainsi les chances de gonflement du ciment fabriqué, et on peut réduire d'autant la durée du silotage ; on facilite aussi les broyages ultérieurs.

La pierre cuite est reprise et broyée dans des concasseurs à mâchoires (nous étudierons dans la fabrication du ciment artificiel les principaux appareils de broyage), puis réduite en poudre dans des moulins à meules en pierre et blutée à la toile n° 60 et souvent n° 70. Les morceaux trop gros sont ramenés automatiquement aux moulins.

Le produit du blutage est repris par des vis d'Archimède et envoyé dans des silos où il doit rester environ 3 mois avant d'être livré au commerce.

**Propriétés.** — Le ciment demi-lent est en général de couleur claire gris jaunâtre; on vend beaucoup, sous le nom de Valentine et de Portland demi-lent, des ciments dont la couleur suit toutes les gammes du gris, jusqu'au noir. Quelques usines obtiennent naturellement ces teintes sans adjonction de colorant, mais, le plus souvent, la teinte grise s'obtient par l'adjonction de scories ou de mâchefers, quelquefois dans la proportion de 50 p. 100, formant ainsi de véritables ciments additionnés. D'autres fois, cette coloration s'obtient en ajoutant au ciment de 2 à 5 p. 100 d'une matière bitumeuse noire, connue dans le commerce sous le nom d'ampélite.

**Composition chimique.** — Lorsque le ciment est naturel, sans adjonction de laitiers, sa composition est sensiblement la même que celle du ciment prompt, ce qui est logique, puisqu'il ne diffère de ce premier ciment que par le degré de cuisson. Il fait prise le plus communément entre 15 et 20 minutes, quelquefois 30 minutes.

*Densité.* — Sa densité varie de 1 à 1.400.

*Finesse.* — Refus maximum

{	au tamis 200	30 p. 100
	— 80	15 p. 100
	— 50	nul.

*Résistance.* — Le ciment demi-lent gâché en pâte pure doit résister

à 7 jours. . . . .	15 à 20 kilos.
à 28 jours. . . . .	20 à 25 —
à 3 mois. . . . .	30 —

## 114 CIMENT VALENTINE, PORTLAND A PRISE DEMI-LENTE.

Il est à remarquer que les ciments demi-lents acquièrent, dès les premiers jours, une assez grande dureté, puis leur résistance reste stationnaire et relativement faible pendant de longs mois pour se relever ensuite d'une manière remarquable. Nous avons essayé des briquettes faites depuis un an qui ont donné des résistances comparables aux meilleurs Portland.

### Composition de quelques ciments naturels demi-lents.

	SABLE	SILICE	ALUMINE	PEROXIDE DE FER	CHAUX	MAGNÉSIE	ACIDE SULFURIQUE	PERTE AU FEU	DURÉE DE PRISE	DENSITÉ	PRIX
Porte de France	» 20.25	14.90	4.35	55.85	4.15	2.95	0.55	15 à 20'	1.44	48 <sup>f</sup> gare Grenoble.	
Voreppe . . . . .	1.25	23.00	13.80	4.35	54.35	0.75	2.50	» 20 à 30'	1.24	38 <sup>f</sup> »	
Uriage . . . . .	» 28.05	10.20	5.10	47.30	1.95	2.20	5.20	60'	0.94	23 <sup>f</sup> gare de Gieres.	
Valentine nat. . .	» 22.00	10.10	4.10	53.45	3.35	2.50	4.80	10 à 15'	1.10	25 <sup>f</sup> quai Marseille.	
id. . . . .	» 27.50	10.40	3.80	43.40	2.80	2.30	10.4	»	» <sup>2</sup>	»	
id. . . . .	» 22.00	9.50	3.40	56.20	4.00	2.80	2.40	»	» <sup>2</sup>	»	
Romain Boyer . .	1.40	24.50	10.40	4.05	55.25	1.30	0.80	2.30	»	»	»
Portland naturel	» 26.50	12.39	4.11	53.80	0.70	1.05	1.45	»	»	»	
Romain Boyer. . .	0.15	26.60	10.10	4.35	59.90	1.15	0.95	1.80	»	»	»

1 GOBIN, *Étude sur les ciments de l'Isère.*  
 2 DURAND-CLAYE, *Chimie appliquée.*

**Emplois du ciment demi-lent.** — On emploie ce ciment pour la construction des ponts et ponceaux, la fabrication des pierres factices moulées destinées à remplacer la pierre de taille, les aqueducs, les tuyaux de conduite d'eau, les égouts, les réservoirs, les gazomètres, les cuves, les citernes, fosses d'aisance, travaux d'assainissement et de tout à l'égout, voûtes de caves, travaux de mines, aires, dallages, trottoirs, etc. Il convient aussi parfaitement à la fabrication des briques en liège et pour certains travaux en ciment armé.

Comprimé par percussion d'une presse à balancier, ou par la presse à briques, on obtient immédiatement des blocs d'une résistance considérable.

Il est toujours utile, surtout en été, d'arroser les enduits ou maçonneries de ciment demi-lent pendant quelques jours après l'emploi.

**Portland mixte.** — On devrait appeler portland mixte, tout ciment obtenu par le mélange après cuisson de deux ou de plusieurs ciments naturels, ou encore par le mélange du ciment naturel avec des grappiers ou des laitiers, cela afin d'obtenir un produit dont la durée de prise, la couleur ou la densité auront pour but de satisfaire à un desideratum du commerce.

Dans beaucoup d'usines, ces ciments mixtes sont vendus sous le nom de ciment artificiel. Cette dénomination devrait être réservée au produit que nous étudierons dans le chapitre suivant. Certains ciments mixtes, bien fabriqués, peuvent rendre dans l'industrie de réels services et être livrés à des prix bien inférieurs à celui du ciment artificiel, dont la fabrication complexe mène à un prix de revient élevé.

La fabrication des ciments mixtes n'est un secret pour personne et leurs qualités pour certains emplois ne font pas de doute. Nous ne voyons pas pourquoi ils ne seraient pas vendus dans le commerce sous leur véritable dénomination.

**Ciment mixte de Portland demi-lent et de grappier.** — On prend du grappier provenant de la fabrication de la chaux et préalablement bien siloté, on le fait passer au blutoir habillé à la toile n° 50 pour en extirper la chaux lourde provenant de l'extinction tardive, et on le mélange aux frites déjà concassées, analogues à celles destinées à la fabrication du ciment naturel demi-lent, dans la proportion de 33 à 40 p. 100. Le tout est réduit en poudre dans des moulins ordinaires à meules serrées, bluté à la toile n° 70, puis envoyé dans des silos où la durée minimum de séjour devra être de trois mois.

On obtient un résultat meilleur en envoyant le mélange de frites et de grappier nettoyé dans un moulin à meules

écartées dont le produit passe sensiblement à la toile n° 16 et en envoyant le produit de cette 1<sup>re</sup> mouture soit dans un tube finisseur Dana, soit dans un moulin à boulets de Jenisch, que nous étudierons dans la fabrication de l'artificiel. L'avantage de ces finisseurs consiste dans le mélange plus intime des particules des deux ciments différents.

C'est par ce moyen qu'on livre au commerce des contre-façons de ciment artificiel, dans les usines qui n'ont pu faire les frais considérables de la fabrication de ce ciment, et qui veulent néanmoins profiter de la vogue dont jouit ce ciment. De même, les usines de ciment artificiel peuvent remédier par ce moyen à l'insuffisance de leur production.

Ce ciment mixte de grappier peut être employé pour les dallages, les trottoirs, etc. ; sa prise a lieu en 3 heures.

#### Composition de quelques ciments mixtes.

	PORTE	TENAY	DIVERS		
	DE FRANCE				
Sable siliceux . . . . .	0.40	»	»	»	»
Silice . . . . .	25.45	20.50	22.30	23.25	25.90
Alumine . . . . .	6.10	9.09	10.02	8.59	9.07
Peroxyde de fer . . . . .	3.30	3.50	3.65	3.31	2.93
Chaux . . . . .	57.00	50.37	55.83	55.40	55.00
Magnésie . . . . .	2.40	3.15	1.80	0.80	1.72
Acide sulfurique . . . . .	1.80	2.44	2.57	1.50	2.20
Perte au feu . . . . .	3.55	5.75	3.75	5.75	3.00
Carbonate de chaux . . . . .	»	4.61	0.08	0.15	0.18
Divers . . . . .	»	»	»	»	»
	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

**Ciments additionnés.** — On devrait appeler ainsi les ciments fabriqués avec un mélange de ciment naturel à prise prompte ou demi-lente avec des matières plus ou moins pouzzolaniques, telles que les scories, les mâchefers de chaudières, les laitiers ordinaires, ou encore avec du sulfate de chaux.

Nous avons signalé que l'on pouvait retarder la prise des ciments demi-lents, en y mélangeant les mâchefers qui ont pu se produire dans les fours et qui sont presque matière inerte. Or, surtout pour l'exportation, la clientèle a une tendance fâcheuse à imposer aux producteurs une teinte gris foncé que n'ont pas la plupart des ciments naturels. Ces derniers sont plutôt gris clair, quelquefois légèrement jaunâtres. En Grèce et en Égypte notamment, les ciments noirs sont les plus cotés. Certains ouvriers gâchant le ciment et y voyant des points noirs, vont jusqu'à dire que c'est l'indice d'un bon ciment. Quoi qu'il en soit, on a dû, dans certaines usines, pour satisfaire ces exigences, additionner la pierre cuite de  $\frac{1}{3}$ ,  $\frac{2}{5}$  et parfois la moitié de son poids en mâchefer, qui donne économiquement une coloration noire au ciment obtenu.

On commence par laisser les mâchefers séjourner quelque temps à l'air, de façon à éteindre le peu de chaux qu'ils contiennent toujours, et de façon à les laisser sécher. Le mélange de pierre cuite de ciment et de mâchefer se fait au moment du versement au concasseur. Il conviendrait d'employer ensuite les moulins ordinaires comme préparateurs et les moulins à boulets ou les tubes broyeur comme finisseurs.

Ces ciments doivent reposer au moins 3 mois en silo avant l'emploi.

Ces ciments ne peuvent donner de bons résultats qu'à la condition d'avoir une très grande finesse et d'être passés par des appareils donnant un mélange intime. En général, ces conditions ne sont pas réalisées et nous ne conseillons pas l'emploi des ciments additionnés.

La vente de pareils ciments sous le nom de ciments naturels, est une tromperie sur le mode de fabrication, qui peut souvent amener des mécomptes pour ceux qui les emploient. Il vaudrait mieux, à notre avis, que les fabricants s'entendent entre eux pour donner à ces ciments une désignation empêchant toute fraude.

Il est du reste facile de se rendre compte, par l'analyse, si un ciment est additionné de mâchefer dans de fortes

118 CIMENT VALENTINE, PORTLAND A PRISE DEMI-LENTE.

proportions. En effet, la composition des mâchefers est en général approximativement la suivante :

Silice.....	40 %	environ
Alumine.....	35 %	—
Oxyde de fer.....	10 %	—
Magnésie.....	2 %	—
Acide sulfurique.....	3 %	—

Nous avons analysé des ciments additionnés dont la composition chimique se trouvait être :

Sable siliceux.....	4.15
Silice.....	27.20
Alumine.....	22.57
Oxyde de fer.....	6.75
Chaux.....	31.80
Magnésie.....	1.53
Acide sulfurique.....	3.56
Eau.....	2.44
	100.00

Ce ciment étant vendu sous le nom de ciment portland naturel, il est évident qu'une simple analyse eût démontré la fraude.

On reconnaît facilement qu'un ciment peut être considéré comme suspect, et cela de la manière suivante :

On met dans un verre à expériences une pincée de ciment et on verse un peu d'acide chlorhydrique : si le ciment est additionné de mâchefer en grande quantité, une vive odeur caractéristique d'hydrogène sulfuré se répand, par suite de la quantité de soufre relativement considérable que contiennent les mâchefers.

## TROISIÈME PARTIE

### CIMENT PORTLAND ARTIFICIEL

---

#### CHAPITRE XI

##### **Historique.**

Historique. — Différents procédés. — Procédé par voie sèche. — Choix des matières premières. — Tourelle séchoir. — Poudre rectificatrice. — Mélanges. — Renseignements pratiques. — Analyse rapide de ciment cru. — Broyage. Concasseur Blake. — Concasseur Gates. — Moulin à boulets frappeurs. — Moulin de Jenisch. — Moulin Gruson. — Broyeur Moustier. — Blutage. — Plan incliné à secousses. — Séparateur Stag. — Presse Dorsten. — Presse Biatrix. — Presse Boulet. — Procédé par voie humide. — Installation d'une usine. — Délayeurs spéciaux. — Four séchoir anglais. — Séchoirs à cylindre Moller et Pfeiffer. — Procédé par double cuisson.

C'est en suivant les indications données par Vicat qu'en 1821, Joseph Apsdin fabriqua un ciment à prise lente auquel il donna le nom de portland, parce que le mortier, une fois solidifié, avait l'aspect grisâtre et la dureté de la pierre de Portland.

Ce fut vers 1850 que les usines de Boulogne-sur-Mer commencèrent à livrer du portland artificiel. Les résultats obtenus par l'emploi de ces ciments, leur ont donné une vogue telle que des usines similaires se sont créées un peu partout. Depuis quelques années surtout, le mouvement industriel s'est porté d'une manière toute particulière vers la fabrication du ciment portland. Notamment en Allemagne, en Russie et dans le midi de la France.

**Différents procédés.** — Les procédés de fabrication sont au nombre de deux, qu'on peut appeler le pro-

cédé par simple cuisson et le procédé par double cuisson.

Le procédé par double cuisson est peu employé. Quant au procédé par simple cuisson, il se subdivise en deux : procédé par voie sèche et procédé par voie humide.

Nous étudierons successivement ces divers modes de fabrication.

### PROCÉDÉ PAR VOIE SÈCHE

**Généralités.** — Le ciment portland est obtenu par la cuisson jusqu'au commencement de vitrification d'un mélange de calcaire et d'argile se rapprochant le plus possible, comme composition chimique, des proportions types 79 de carbonate de chaux et 21 d'argile, sans toutefois descendre pour l'argile au-dessous de cette proportion minimum.

Il n'y a, en effet, pas d'inconvénient sérieux à ce que l'argile soit en léger excès. Il y aurait au contraire chance de désagrégation pour les mortiers si des particules de chaux non combinée se trouvaient dans le ciment.

**Choix des matières premières.** — Le procédé par voie sèche est surtout appliqué lorsque les matières premières employées sont très dures. C'est du reste le procédé qui, dans les installations nouvelles, est le plus souvent appliqué; il est moins coûteux comme installation que le procédé par voie humide, et, si les matières premières employées ne contiennent pas de sable ou d'autres impuretés, il donne d'excellents résultats.

On commence par choisir des calcaires dont la composition chimique se rapproche le plus possible de la proportion 79 de carbonate de chaux et 21 d'argile, le carbonate étant en excès, de façon qu'on ait toujours à ajouter une certaine quantité d'argile ou de marne argileuse pour compléter le mélange.

Les calcaires ainsi choisis donneront ce que nous appellerons la « poudre crue » et la marne argileuse ou l'argile donneront la poudre rectificatrice.

On commence par déposer en tas, sous des hangars ouverts, les calcaires tels qu'ils viennent de la carrière; chaque tas correspond à un banc de la carrière dont la composition chimique est connue. Le calcaire se sèche et abandonne au bout de quelques jours une partie de son eau de carrière.

On le reprend et on le fait passer soit dans des fours séchoirs, soit dans des tunnels traversés par des courants d'air chaud. La maison Schmidt, de Copenhague, a imaginé pour le séchage des pierres crues, telles qu'elles viennent de la carrière, des tourelles-séchoirs dont nous donnons le dessin (fig. 57).

Les matières à sécher sont amenées par un transporteur E

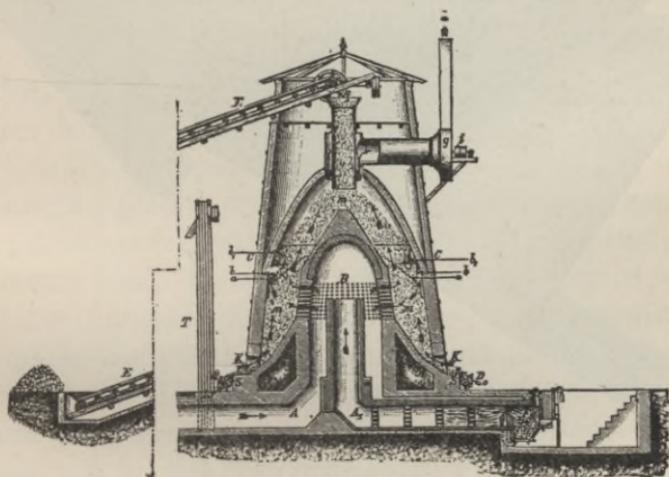


Fig. 57. — Tourelle-séchoir.

au sommet de la tourelle et versées en *f* dans une sorte de cheminée. En *g* se trouve un aspirateur qui active la combustion d'un foyer *F* et fait passer à travers la matière à sécher un mélange d'air chaud et de gaz de combustion.

Ces tourelles donnent d'excellents résultats et peuvent sécher les pierres crues venant des carrières sans concassage préalable.

Le calcaire ainsi desséché est envoyé dans un concasseur à mâchoires, de Blake ou mieux de Gates, puis dans des moulins ordinaires de 1<sup>m</sup>,50 de diamètre faisant 100 tours à la minute. La poudre ainsi obtenue est blutée sur un plan incliné à secousses ou dans un blutoir à tôle perforée (fig. 58) habillé à la toile n° 50 et tombe dans un silo, où le chimiste prélève des échantillons et fait des ana-

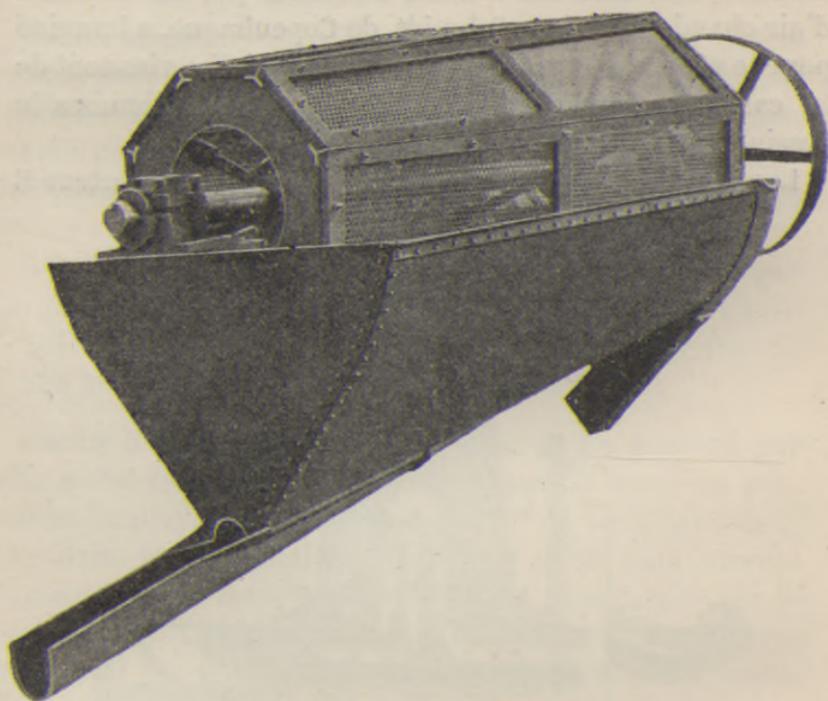


Fig. 58. — Blutoir à tôles perforées.

lyses rapides. Ce qui n'a pas passé fait retour au moulin.

Il est bon d'opérer par cycles d'opérations fermés, c'est-à-dire, d'avoir une série de fours séchoirs intermittents, chacun d'eux chargé avec la même pierre qui, mise en poudre, sera suivie jusqu'au moment de sa mise en briquettes. On pourra obtenir des dosages rigoureux, et éviter ce qui se passe dans la plupart des usines à fabrication continue, où on « court après le dosage » sans savoir si, au moment où

le chimiste donne le résultat de l'analyse du produit qui a passé une heure avant et indique la rectification à faire, cette rectification ne s'est pas déjà faite d'elle-même.

Supposons une usine où l'on se propose de faire 50 tonnes par jour de ciment artificiel.

Nous emploierons 4 fours séchoirs intermittents, capables de contenir chacun 75 tonnes de pierre crue. Un four sera en chargement, deux en fonctionnement et un en défournement.

A ces 4 fours correspondront deux silos à poudre crue capables de contenir chacun la production nécessaire à la fabrication d'une journée, soit 75 tonnes environ. Tous les jours, un des deux silos sera en chargement, l'autre en déchargement.

C'est à ce moment qu'intervient la poudre rectificatrice.

**Poudre rectificatrice.** — On a pris des marnes argileuses ou des argiles du Gault et on les a séchées puis mises en poudre et déposées dans un 3<sup>e</sup> silo attenant aux deux premiers à poudre crue. La composition de ce rectificateur est parfaitement connue d'avance, car on emploie toujours le même banc de marne argileuse ou d'argile et on en fait des analyses fréquentes. Lorsque le chimiste aura donné la composition chimique de la poudre crue contenue dans le silo que l'on va vider, un simple calcul indiquera dans quelles proportions le rectificateur devra être ajouté à la poudre crue pour obtenir le mélange dosé.

**Mélange de la poudre et du rectificateur.** — Le mélange de poudre crue et du rectificateur devra être le plus intime possible. La poudre crue et le rectificateur viennent tomber sur des soles distributrices dont on règle le débit, de façon à obtenir le mélange voulu suivant les indications du chimiste. Ces soles distributrices versent leurs poudres respectives dans une même « mélangeuse » (fig. 59) composée d'une auge à fond circulaire de 5 mètres de longueur, 0<sup>m</sup>,80 de largeur et de 1 mètre de profondeur dans

l'axe de laquelle se trouve un arbre muni d'une série de palettes en forme d'hélice qui, tout en brassant le mélange, le font avancer. Ces palettes font 30 à 40 tours par minute et prennent 4 à 5 chevaux de force. A l'extrémité de cette mélangeuse, le cru définitivement constitué vient tomber dans un moulin finisseur à boulets ou dans un tube Dana qui achève la pulvérisation et le mélange intime. A la sortie du finisseur, la poudre crue vient tomber dans une malaxeuse où elle est additionnée de la quantité d'eau strictement nécessaire pour permettre son agglomération : généralement 7 à 8 p. 100 d'eau sont suffisants.



Fig. 59. — Mélangeuse.

La malaxeuse est constituée exactement comme la mélangeuse que nous avons décrit plus haut (fig. 59).

La pâte ainsi constituée vient tomber dans la trémie d'une presse Dorsten ou d'une presse à briques quelconque, à la sortie de laquelle les briques de ciment cru sont empilées sur des wagonnets spéciaux.

La préparation de la brique de ciment cru est terminée ; il ne reste plus qu'à l'envoyer dans des séchoirs, et de là aux fours.

### RENSEIGNEMENTS PRATIQUES

**Analyse rapide de ciment cru.** — Il est utile de se rendre compte souvent et rapidement de la composition des diverses poudres crues. Nous donnons ici un moyen rapide de dosage pouvant s'effectuer en une heure.

On pèse 2 grammes de la poudre bien desséchée et on la

traite dans une capsule en porcelaine de 10 centimètres de diamètre, par 10 centimètres cubes d'acide chlorhydrique et 10 centimètres cubes d'eau. On chauffe au bain de sable et on évapore à siccité. On reprend par quelques gouttes d'acide chlorhydrique et quelques centimètres cubes d'eau, on chauffe doucement et on neutralise l'acide par un excès d'ammoniaque. On a ainsi un précipité qui contient tous les éléments de l'argile. On filtre, on calcine.

On peut aussi doser l'acide carbonique et en déduire le carbonate de chaux, mais nous conseillons d'employer le premier procédé.

**Broyage.** — Nous donnerons ici une description som-

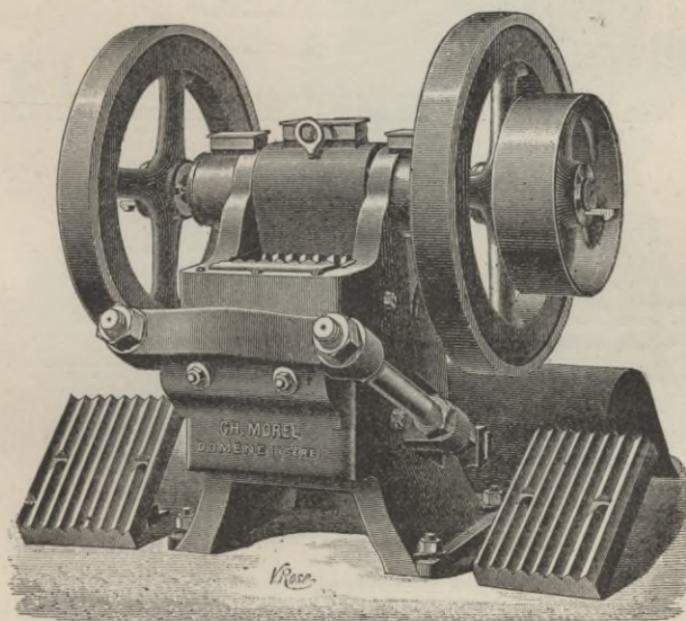


Fig. 60. — Concasseur à mâchoires.

maire des appareils de broyage que nous avons cités et que nous recommandons.

Concasseur Blake à mâchoires (fig. 60 et 61).

Ce concasseur porte le nom de son inventeur. Il se com-

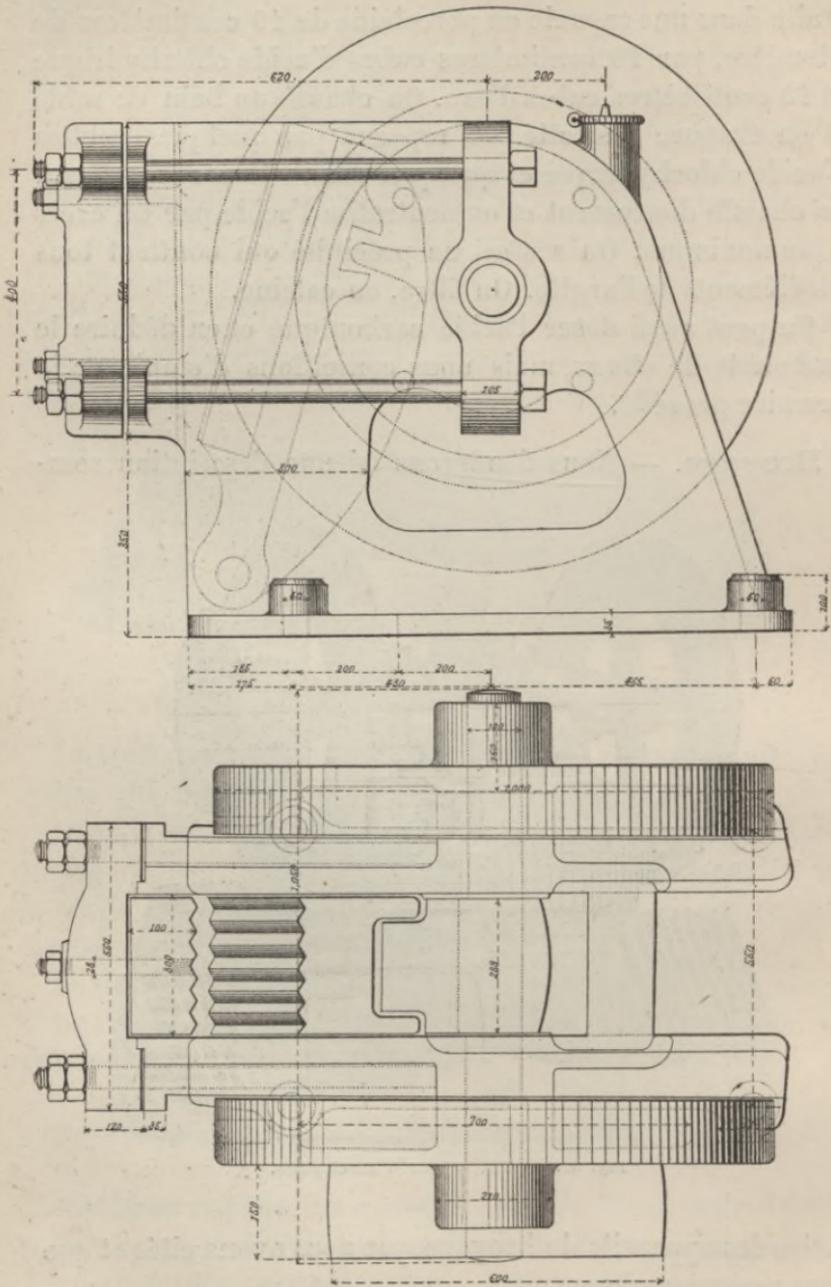


Fig. 61. — Concasseur à mâchoires.

pose d'une mâchoire fixe et d'une mâchoire mobile animée

d'un mouvement rapide d'oscillation (250 par minute). La mâchoire mobile reçoit le mouvement par une bielle et un levier articulé qui sont mus eux-mêmes par un arbre coudé, ou plus simplement par un excentrique.

Les mâchoires sont cannelées, on les fait maintenant en acier spécial.

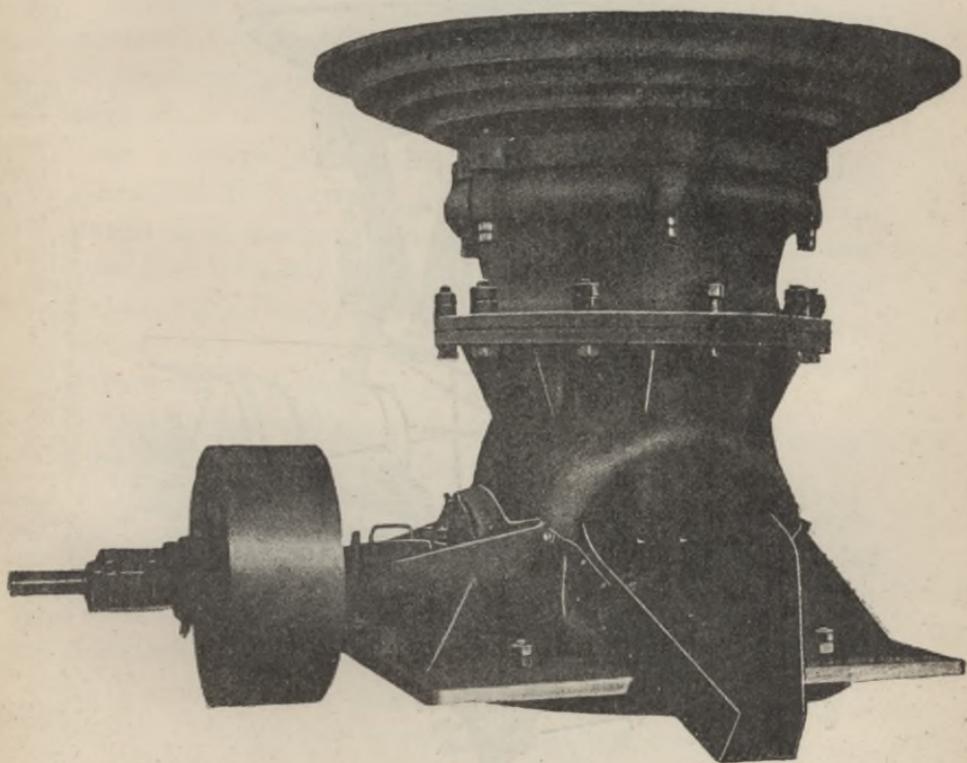


Fig. 62. — Concasseur de Gates (élévation).

L'écartement entre les mâchoires est réglé au moyen de fourrures qu'on place derrière les mâchoires. L'écartement normal est de 4 centimètres.

Cet appareil peut concasser 50.000 kilos de calcaire sec en 10 heures de travail.

Son prix est de 2.500 francs environ.

**Concasseur de Gates.** — Cet appareil (fig. 62 et 63)

est un perfectionnement du précédent; il se compose d'une enveloppe cannelée jouant le rôle de la mâchoire fixe, et d'un cône cannelé monté sur un axe articulé qui ne tourne pas, mais qui « girate », s'approchant continuellement et s'é-

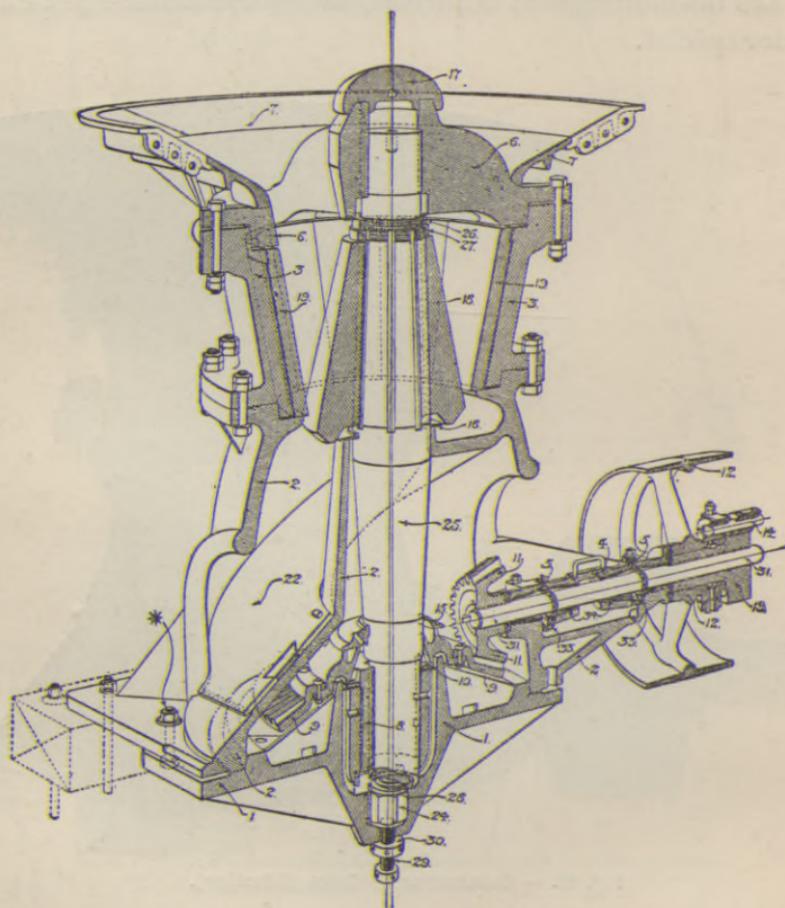


Fig. 63. — Concasseur de Gates (coupe).

loignant ensuite de l'enveloppe fixe en broyant entre les cannelures les pierres tombant entre les mâchoires et le cône.

Ce système évite les vibrations et les secousses, se règle facilement et les cannelures s'usent moins que dans le concasseur Blake. Grâce à sa forme circulaire, il ne laisse pas passer de pièces plates.

Un appareil de Gates modèle n° 1 peut donner 5 à 8 tonnes par heure de calcaire concassé en fragments de 2 centimètres de côté au maximum. Il faut donner à la poulie une vitesse de 475 tours par minute. Il prend en moyenne 1 cheval-vapeur par tonne concassée et par heure. Son prix est de 3.000 francs.

**Moulin finisseur-mélangeur dit à boulets frappeurs.** — Ces moulins sont fabriqués par Schmidt et C<sup>ie</sup> de Copenhague, par la maison Lobin à Aix, par Gates à Chicago, etc .

Le mélange de ciments crus est jeté par une trémie à l'intérieur de l'appareil; la seule partie tournante de l'appareil est le tambour contenant les boulets sur lequel sont aussi fixés les tamis. L'appareil fait 20 à 30 tours par minute. Les boulets en acier roulent lentement les uns sur les autres, ils achèvent de broyer les matières versées dans le broyeur et forment un mélangeur excellent (fig. 63-64).

A l'intérieur de l'appareil on trouve un arbre qui repose à ses deux extrémités sur des paliers.

Le tambour du moulin est formé par deux fonds rigides, *c*, entre lesquels sont fixées les plaques cintrées, *d*. Ces plaques ne forment pas exactement un cylindre continu, mais l'extrémité de chaque plaque est rapprochée de plusieurs centimètres du centre, de manière à former, pour ainsi dire, les marches d'un escalier. Quand le tambour tourne, les boulets et la matière tombent et roulent continuellement sur l'escalier, et le travail est ainsi augmenté en même temps que la distance laissée libre entre les marches de l'escalier permet au refus des tamis de réintégrer le tambour. Les marches sont garnies intérieurement d'un blindage, *e*, en acier spécial extra-résistant; ce blindage est divisé en plusieurs plaques fixées par des boulons, de manière à pouvoir être partiellement et facilement renouvelé. Les fonds, *c*, sont également blindés par des plaques épaisses, *c* 1.

Les marches, ainsi que leur blindage, comportent des

trous, *f*, par lesquels la matière broyée tombe sur les plaques, *g*. Ces plaques sont des tamis formés de tôles d'acier

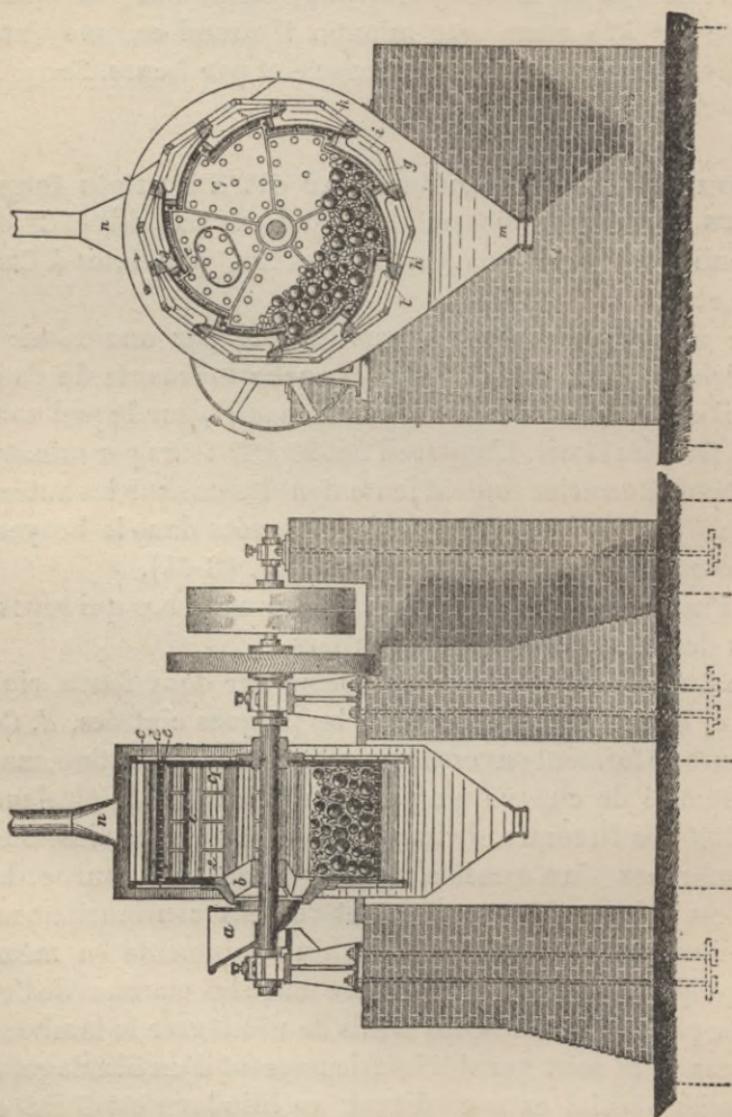


Fig. 64. — Broyeurs à boulets frappeurs (coupes).

perforées, et la matière assez fine pour passer à travers les trous, *f*, tombe sur un rang de tamis, *i*, en très forte toile métallique; la matière qui peut passer à travers les ouver-

tures de cette maille tombe enfin sur les tamis finisseurs, *k*, qui correspondent à la finesse désirée de la matière. La matière qui a traversé les tamis finisseurs tombe dans le dessous de l'enveloppe, *m*, et de là soit dans un transporteur quelconque, soit dans l'emballage ou dans les wagonnets, la sortie de l'enveloppe étant dans ce but munie d'un tiroir.

Le refus des différents tamis suit le mouvement de rota-

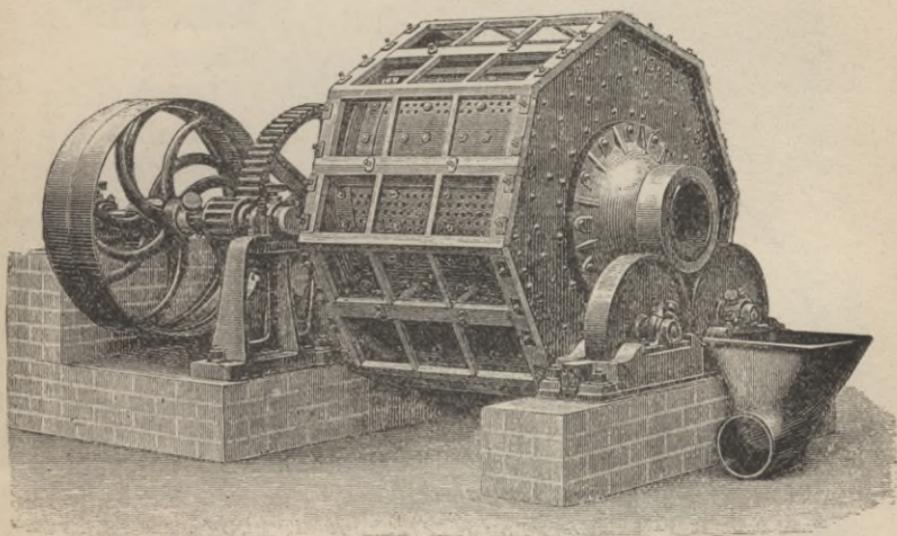


Fig. 63. — Broyeur à boulets frappeurs. Vue l'enveloppe enlevée.

tion du moulin jusqu'à ce qu'il soit arrivé assez haut pour retomber par son propre poids dans l'intérieur du tambour où il est à nouveau exposé au travail des boulets.

Dans l'un des fonds, se trouve un trou d'homme et dans l'enveloppe une porte correspondant au trou d'homme; de cette manière l'intérieur du moulin est facilement accessible. L'enveloppe elle-même est en tôle d'acier, et formée de trois parties très faciles à sortir pour le brossage des tamis; la partie supérieure peut aussi s'enlever pour la réparation du tambour.

Un moulin n° 7, de la série A de la maison Schmidt, convient parfaitement, comme mélangeur et finisseur de poudre crue, pour une production de 5.000 kil. à 8.000 kil. à l'heure.

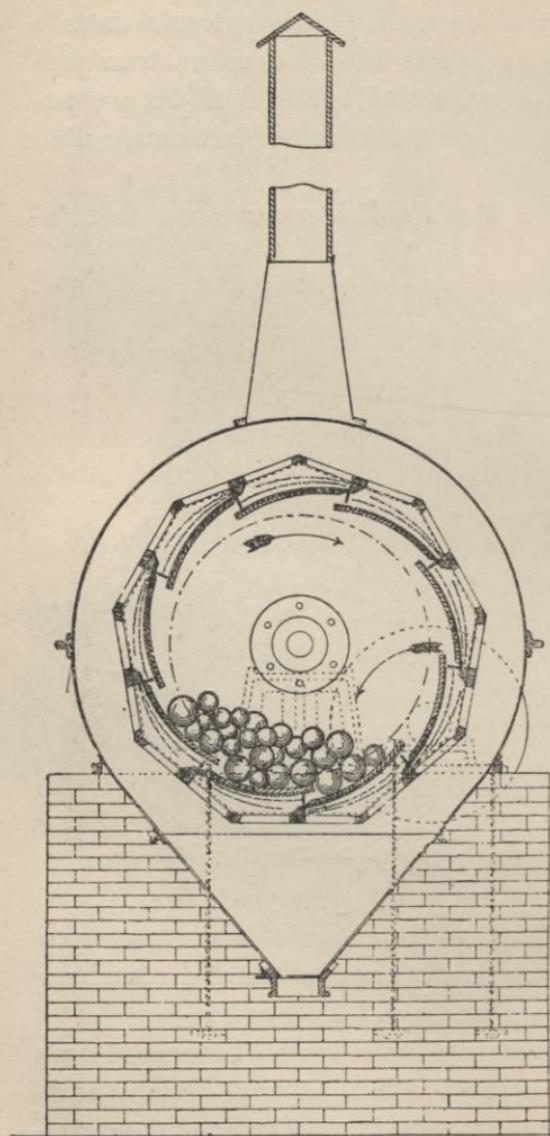


Fig. 66. — Moulin de Jenisch.

Le poids d'un semblable appareil est de 12.000 kil. environ, le tambour fait 22 tours par minute (comme le tube Dana), la force exigée est de 12 à 15 chevaux dans le cas d'un finissage. La poulie de commande fait 160 tours.

Le même appareil peut servir de préparateur pour un tube Dana; nous verrons son emploi dans la tri-

turation des pierres cuites de ciment artificiel. Dans la série C qui est construite spécialement pour la préparation au

tube broyeur, on peut mettre dans cet appareil les roches

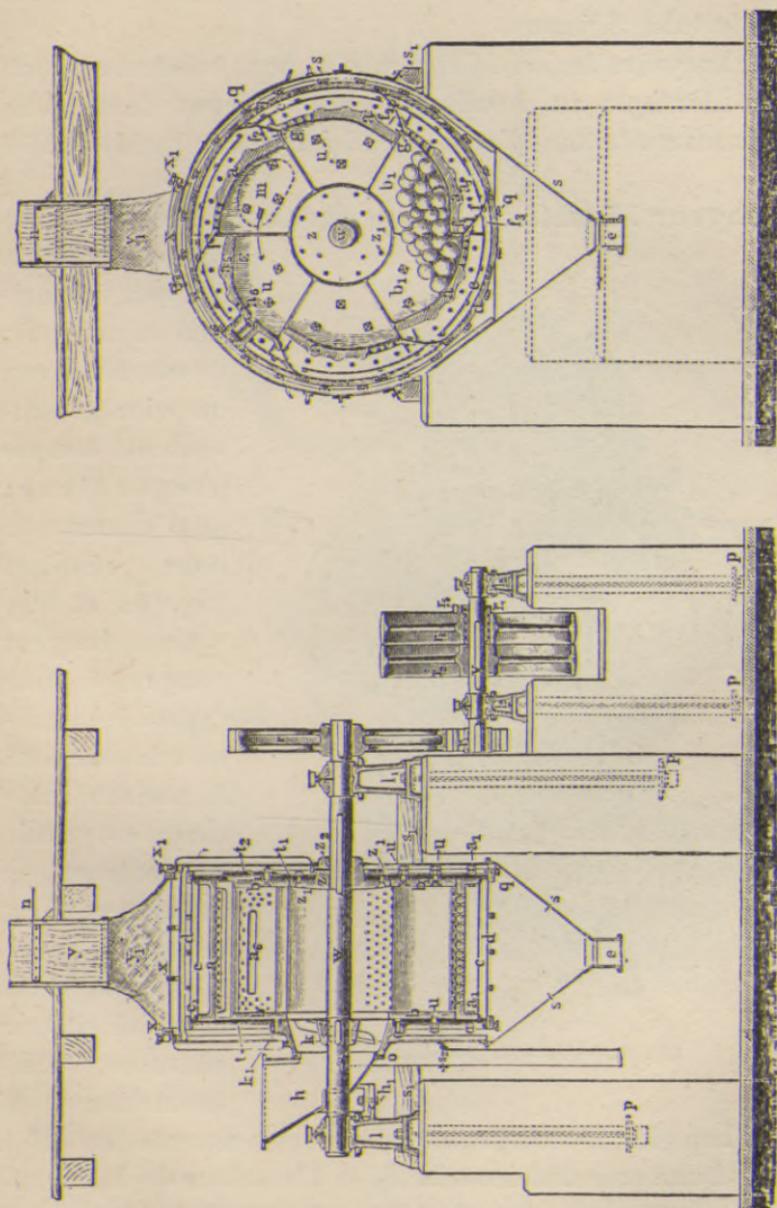


Fig. 67. — Moulin Gruson.

telles qu'elles sortent du four sans concassage préalable. Dans ces conditions, l'appareil peut rendre 3.000 kilos par

heure de ciment artificiel bluté à la toile n° 18 qui donne la grosseur convenant le mieux aux matières préparées pour le tube finisseur.

Les broyeurs Jenisch, Gruson, etc., sont construits d'une façon identique au moulin que nous venons de décrire; nous nous contentons d'en donner ici le dessin (fig. 66 et 67).

**Broyeur Moustier.** — Nous signalons ici un nouveau

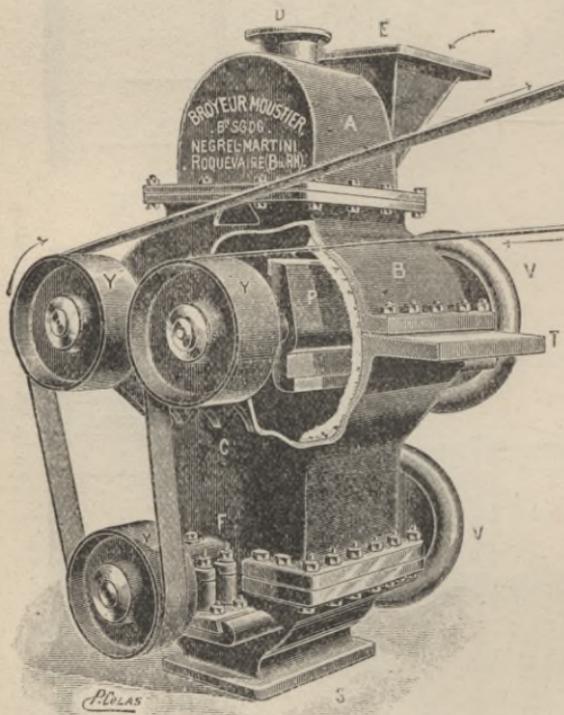


Fig. 68. — Broyeur Moustier.

broyeur qui a fait son apparition depuis peu; il est basé sur un principe nouveau et, comme préparateur, peut donner de bons résultats (fig. 68 et 69).

Ce broyeur comprend une capacité en métal très dur dont la surface intérieure est garnie de dents ou de cannelures C. A la partie supérieure de cette capacité est une chambre d'introduction A'

dans laquelle les corps à broyer sont amenés en A'' à l'aide d'une sole distributrice S. A l'intérieur de la chambre A, sont disposées 3 palettes P P' P'' montées sur des arbres commandés de l'extérieur de la boîte A, à l'aide d'une seule courroie C' passant sur des poulies Y,

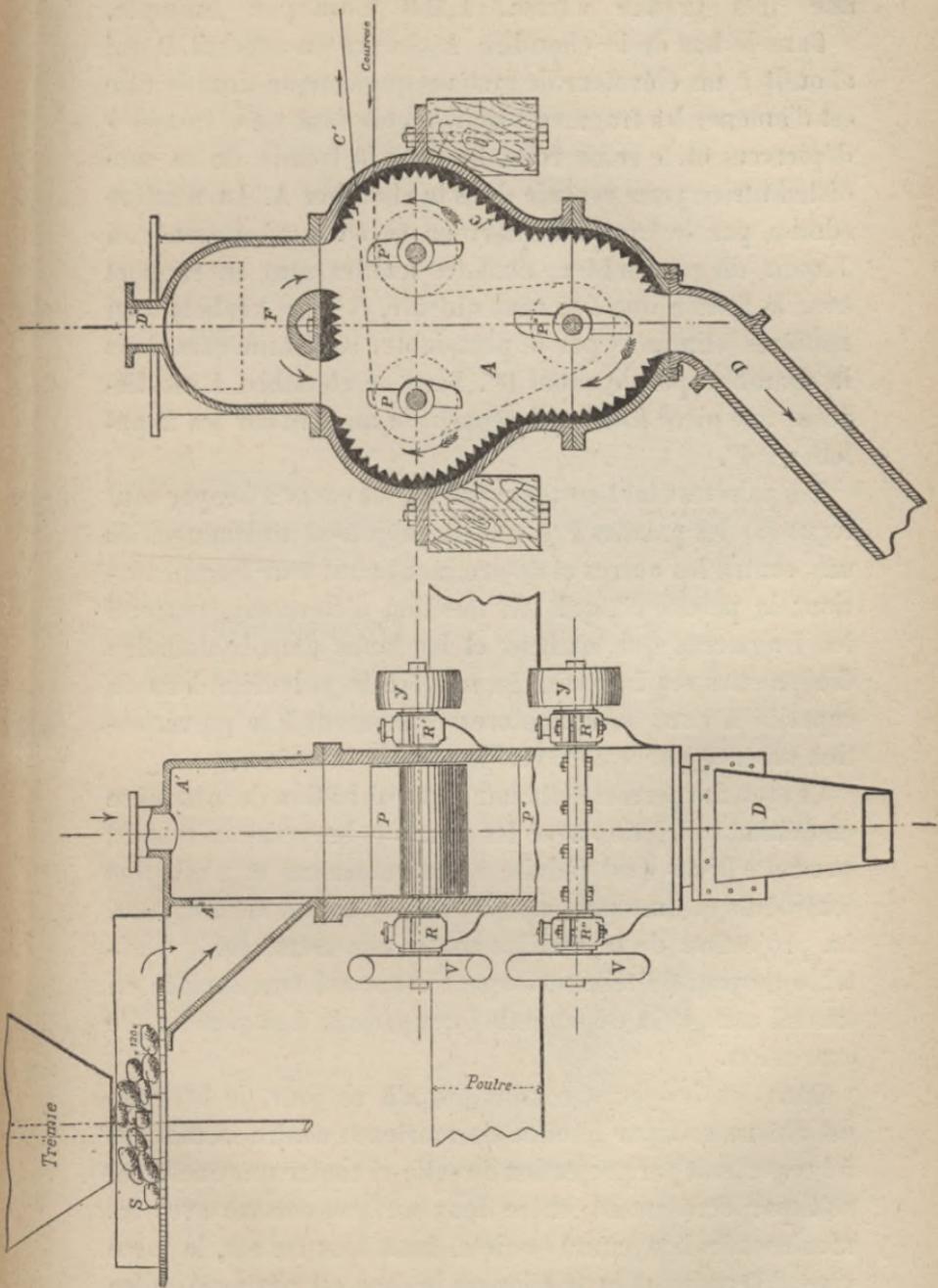


Fig. 69. — Broyeur Moustier.

calées sur ces axes. On imprime ainsi à ces derniers

une très grande vitesse, 1.500 tours par exemple.

Dans le bas de la chambre A s'ouvre un conduit D qui aboutit à un élévateur de système quelconque dont le rôle est d'amener les fragments qu'il reçoit dans un « tromel » dépierreur et le refus retombe dans la trémie de la sole distributrice pour revenir dans la chambre A. La matière admise par le tromel dépierreur va se tamiser dans un blutoir dit plansichter, dont les mailles sont en rapport avec la finesse que l'on veut obtenir, et les « grabots » ou matières éliminées par le plansichter sont ramenées dans la chambre par le canal D'. Dans la chambre A est disposée une pièce fixe F qui répartit la matière sur les 2 palettes P P'.

Les palettes étant en mouvement, les corps à broyer sont reçus sur les palettes P P' qui les projettent violemment les uns contre les autres et déterminent ainsi leur fragmentation; la palette P'', qui fait fonction d'élévateur, reprend les fragments qui tombent et les lance dans le domaine des palettes supérieures. La matière se pulvérise dans la capacité A dont les cannelures concourent à la pulvérisation obtenue par le choc réciproque des matières.

Ce système permet d'obtenir la pulvérisation de la matière en évitant sa friction avec les éléments broyeurs en ce sens que cette friction est réduite à son minimum et n'est plus considérée comme part essentielle de l'action de broyage. La projection de la matière contre elle-même est le véritable moyen, de telle sorte que l'usure est transformée en travail utile et la dépense de force réduite à sa plus simple expression.

Dans les broyeurs connus jusqu'à ce jour, le broyage est obtenu soit par le choc de marteaux contre la matière à broyer, soit par projection de celle-ci contre une enclume, soit par écrasement entre deux surfaces comme avec les meules et les broyeurs à boulets. Dans tous ces cas, la force vive déterminant la friction ou le choc est partagée entre les organes de la machine et le corps à broyer. Dans ce



système, au contraire, la majeure partie de la force s'exerce sur la matière à pulvériser.

Dimensions de l'appareil :  $1^m,90 \times 1^m,50 \times 1^m,50$ .

Poids approximatif : 3.500 à 4.000 kil.

Force dépensée : 15 chevaux environ.

Ce préparateur n'a pas encore fait ses preuves et est d'une installation difficile et onéreuse.

**Broyeur Robert.** — Nous donnons ici les dessins d'un broyeur spécial pour argiles, très employé dans le midi de la France (fig. 69 *bis*). Ce broyeur convient particulièrement pour la trituration des marnes argileuses sèches ou pâteuses employées pour la préparation des poudres dites rectificatrices dans le procédé par voie sèche. Il tourne à 1.200 tours et emploie environ 15 chevaux de force pour réduire facilement 2.000 kil. d'argile sèche par heure à une finesse suffisante pour être envoyée au tube finisseur.

Ce broyeur, qui ne demande pas de grands soins d'entretien, a l'avantage de broyer indifféremment aussi bien des argiles sèches que des argiles plastiques ou vertes. Il coûte 1.600 francs à Marseille.

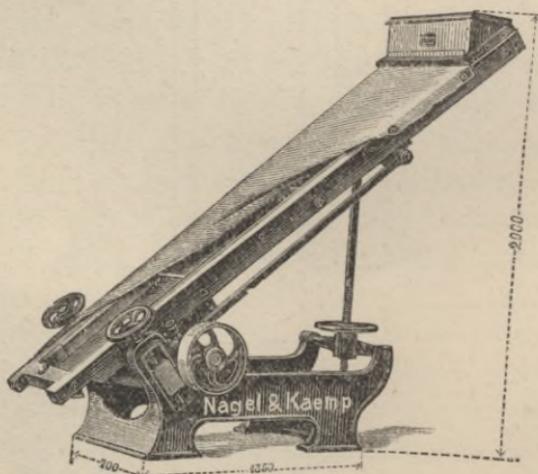


Fig. 70. — Plan incliné à secousses.

**Plans inclinés à secousses.** — Les plans inclinés à

secousses tendent de plus en plus, surtout pour la préparation des matières crues, à se substituer aux blutoirs cylindriques. Ils sont composés d'une tôle perforée inclinée à laquelle on imprime une série de secousses. Le tout est enfermé dans une caisse fermée, de façon à éviter les poussières. En inclinant plus ou moins la tôle perforée, on donne à la matière blutée une finesse plus ou moins grande. La matière à bluter arrive par la partie supérieure

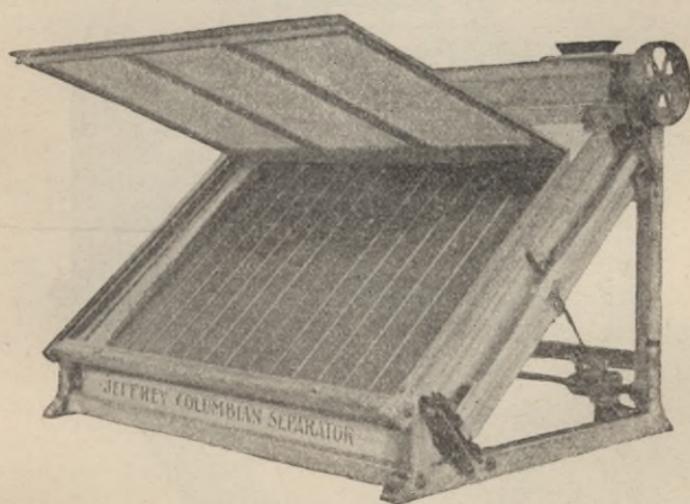


Fig. 71. — Plans inclinés à secousses.

du plan incliné. Nous donnons ici deux modèles de ces plans inclinés (fig. 70 et 71).

**Séparateur Stag** (fig. 71). — Ce séparateur a pour but de supprimer les bluteries et les tamis, en opérant la séparation des matières au moyen d'un courant d'air.

L'aspiration est produite par un ventilateur tournant autour d'un axe vertical sur lequel se trouve fixé aussi un plateau circulaire placé en dessous du ventilateur.

Le ciment ou la matière à tamiser est répandu sur ce

plateau et s'en échappe sous l'action de la force centrifuge

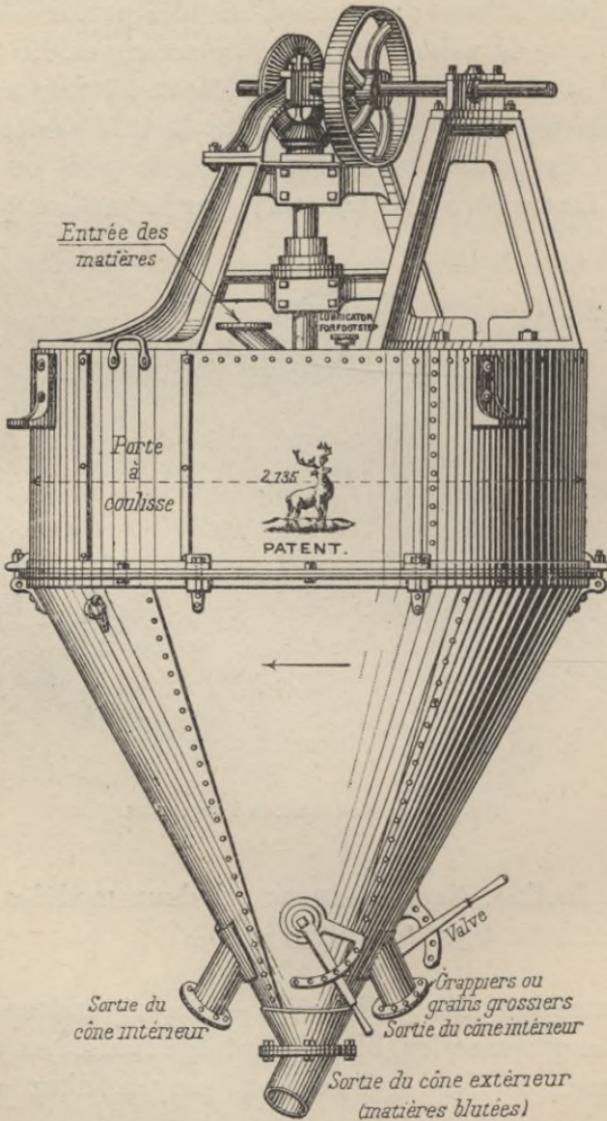


Fig. 72. — Séparateur Stag.

en une nappe mince que l'air traverse de bas en haut. Les parties les plus fines sont entraînées à travers le ventilateur

dans un entonnoir extérieur et les grains plus gros et plus denses tombent naturellement dans un entonnoir qui est à l'intérieur du précédent. En variant la vitesse du ventilateur, on peut régler la finesse du produit entraîné dans l'entonnoir extérieur.

Ces appareils ont été perfectionnés par MM. Askham, Wilson et C<sup>ie</sup>, de Sheffield, qui les ont munis d'un secoueur séparant les parties fines des sablettes.

Un appareil de 2<sup>m</sup>,35 de diamètre peut donner 5 tonnes par heure de produit bluté; la force employée est 3 à 4 chevaux.

**Presse Dorsten.** — Une presse Dorsten telle que nous

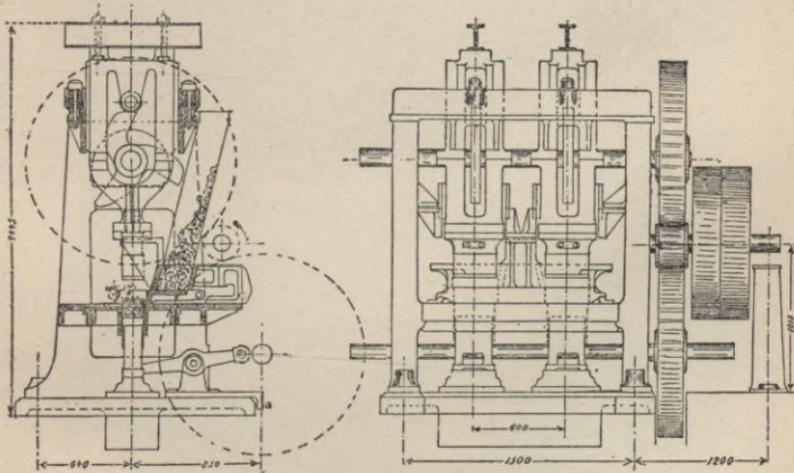


Fig. 73. — Presse Dorsten.

en donnons la vue et les coupes, avec 4 pistons, peut faire 3.000 briques à l'heure pesant environ 2<sup>k</sup>,800 chacune. Le prix d'une pareille presse est de 15.000 francs environ, transport et droits en plus. Elle emploie au maximum deux chevaux par pilon. La poulie motrice fait 70 tours par minute. Une presse se compose de 4 pilons très lourds qui retombent plusieurs fois sur la même brique et

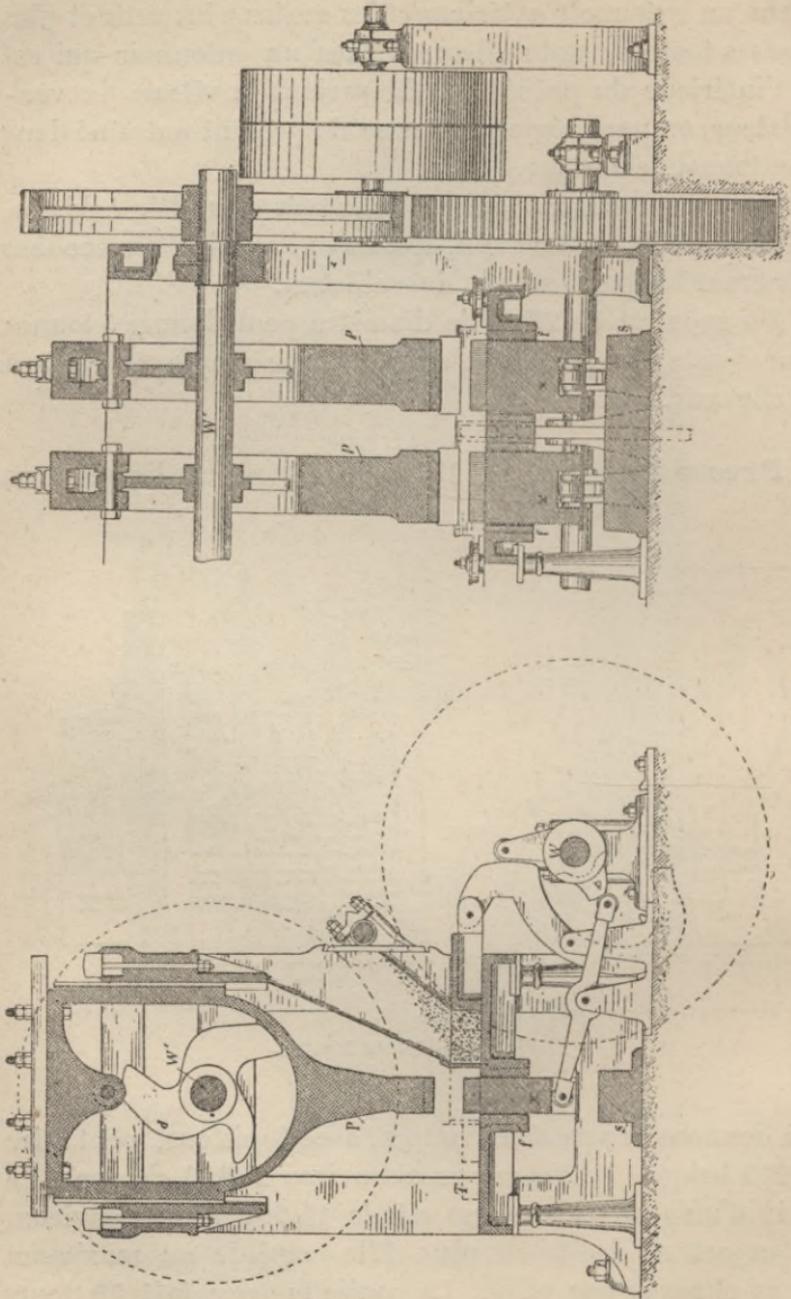


Fig. 74. — Presse Dorsten.

chaque fois d'une hauteur plus grande (fig. 73, 74, 75).

Ces presses peuvent mouler de la poudre contenant 8 p. 100 d'eau.

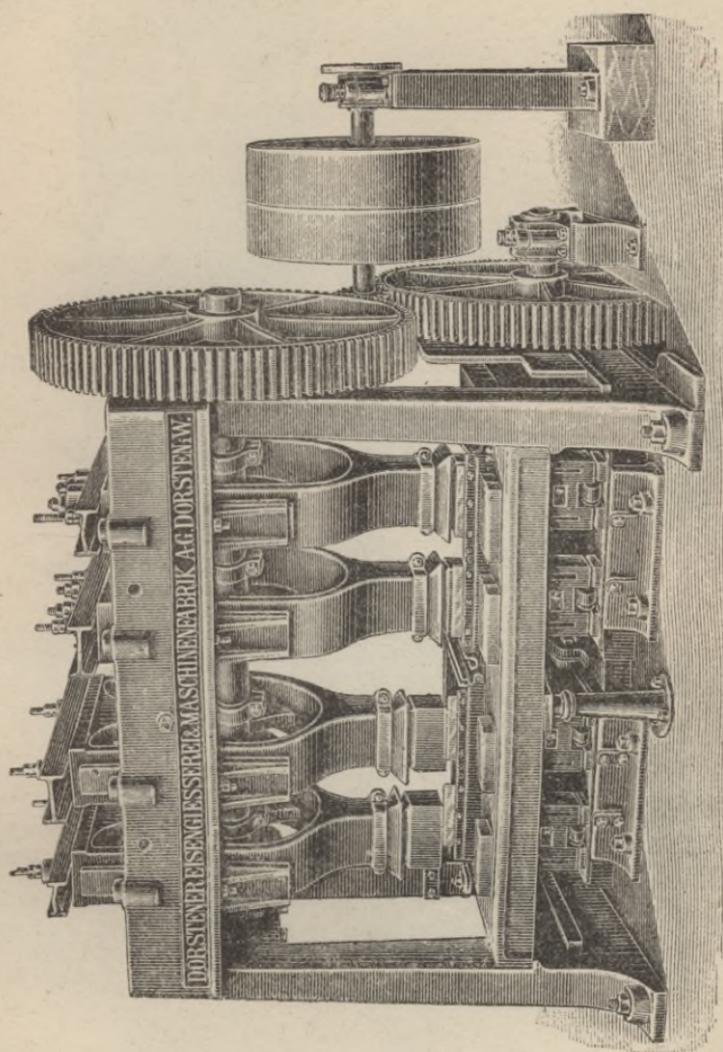


Fig. 75. — Presse Dorsten.

**Presse Bietrix.** — Cette presse qui est plus spécialement destinée à l'agglomération des briquettes de charbon convient parfaitement pour les briques de ciment cru (planches 76 et 77).

Elle se compose d'un arbre commandant par un pignon

des roues d'engrenage calées au bout de deux arbres symé-

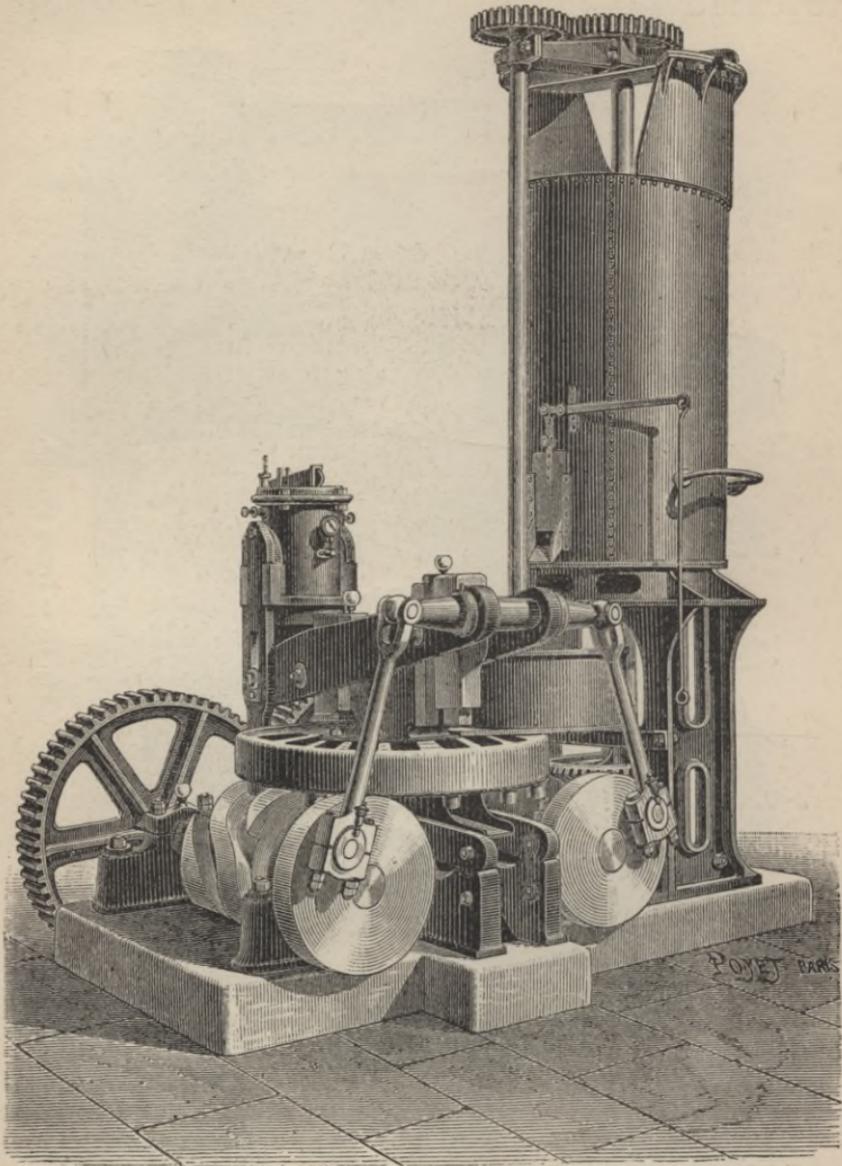


Fig. 76. — Presse Biétrix.

triquement placés par rapport à l'axe principal de la machine.

Ces arbres sont munis de manivelles actionnant deux bielles verticales qui attaquent un joug horizontal.

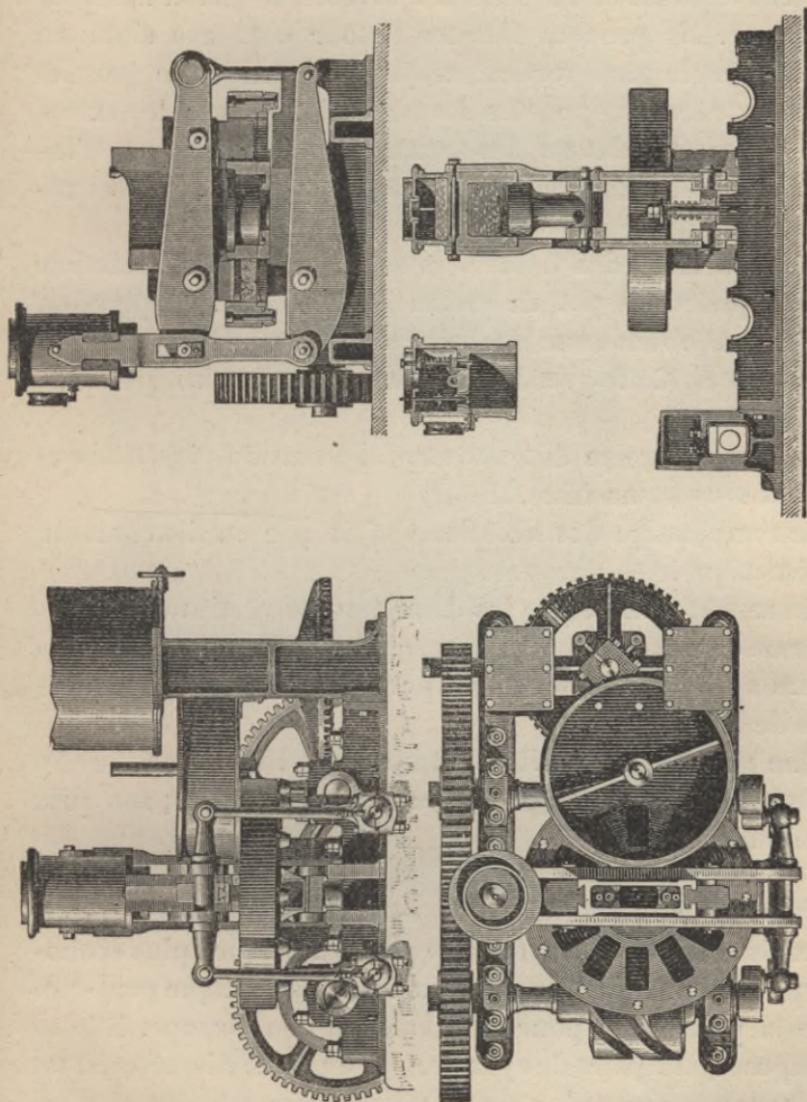


Fig. 77. — Presse Biatrix. Détails.

Ce joug transmet son mouvement alternatif de montée et de descente à deux balanciers placés au-dessus du plateau à alvéoles. Ce sont ces deux balanciers qui portent les pistons mouleur et démouleur.

Ces pistons sont guidés par une pièce centrale fixée au bâtis. Une paire de balanciers semblables aux précédents portent en dessous du plateau à alvéoles le piston mouleur inférieur. Ils peuvent tourner autour d'un axe situé en avant dans le plan vertical moyen passant par le joug et leurs extrémités opposées sont en relation avec les extrémités correspondantes des premiers balanciers par l'intermédiaire de deux flasques portant le pot de presse régulateur.

L'axe arrière des balanciers supérieurs est en relation avec le piston du pot de presse hydraulique. La pression qu'on veut obtenir sur les briquettes est réglée au moyen d'un ressort. Cette pression peut atteindre 300 kil. par centimètre carré.

Le démoulage se fait sur une toile sans fin placée directement sous la machine.

Le remplissage des alvéoles se fait par un distributeur automatique.

Un ressort placé entre les deux flasques verticaux permet de ramener à leur position normale les balanciers supérieurs après leur soulèvement pour la compression du dessous de la briquette.

Une presse Bietrix dite de 3 kil. peut livrer par jour 40 tonnes de briques pesant chacune environ 3 kil.; son prix est de 25.000 francs.

**Presse Boulet** (fig. 78). — La maison Boulet frères, Lacroix et C<sup>ie</sup>, de Paris, fait une presse à briques plus économique comme prix de revient, mais moins pratique peut-être que la précédente pour le travail qui nous occupe. Elle se compose d'une paire de cylindres de 0<sup>m</sup>,30 de diamètre, d'un malaxeur horizontal à deux hélices, d'une filière et d'un chariot coupeur. Elle donne 1.000 briques pleines à l'heure, la poulie motrice faisant 150 tours à la minute. Elle prend 5 chevaux-vapeur et ne coûte que 3.000 francs.

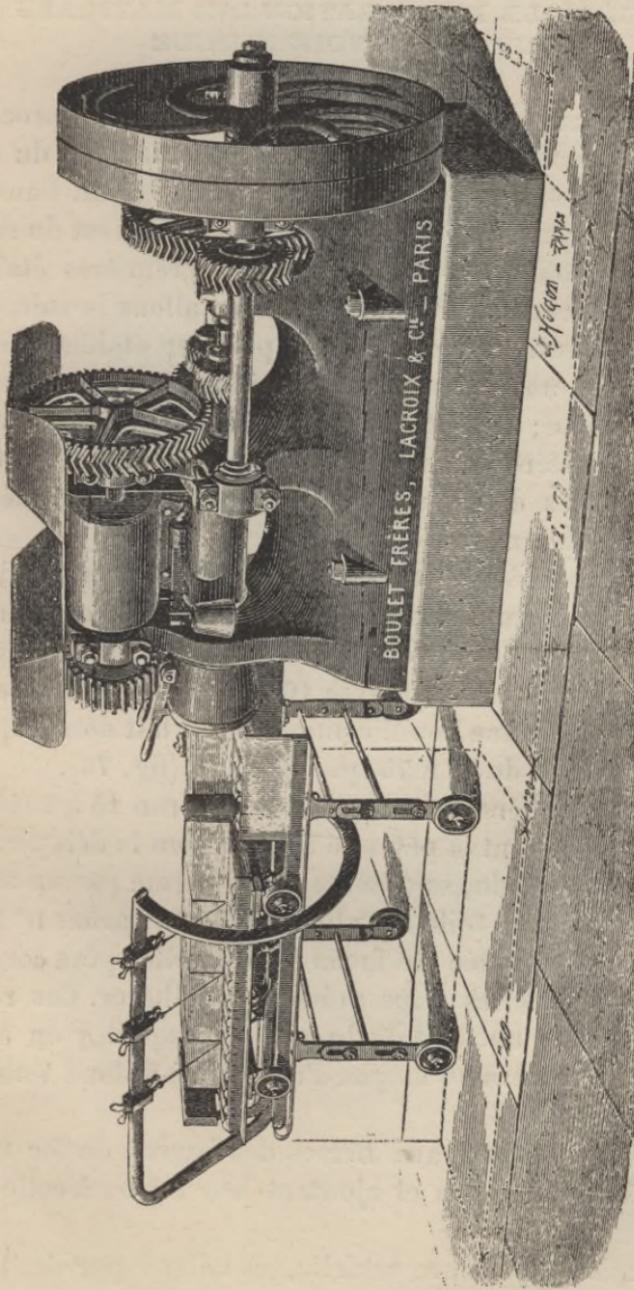


Fig. 78. — Presse Boullet.

**PROCÉDÉ DE PRÉPARATION DES MATIÈRES  
CRUES PAR VOIE HUMIDE**

**Description.** — Ainsi que nous l'avons dit, le procédé par voie sèche n'est applicable que si les matières du cru sont très pures et exemptes de sable et de silex. Dans ce dernier cas, il faut employer la voie humide qui est du reste la plus parfaite, même si les matières premières étaient pures. Malheureusement, ainsi que nous allons le voir, elle est plus coûteuse comme frais de premier établissement, elle demande un emplacement considérable et consomme beaucoup d'eau; cette dernière considération fait souvent donner la préférence au procédé par voie sèche, surtout dans les usines des Bouches-du-Rhône qui, en général, n'ont pas d'eau en abondance.

Dans le procédé par voie humide, les calcaires argileux sont jetés bien régulièrement dans de grands bassins circulaires de 5 mètres de rayon et de 1 mètre à 1<sup>m</sup>,50 de profondeur où on les mélange avec 100 p. 100 en poids d'eau, de façon à obtenir une bouillie ou plutôt un lait dont la proportion d'eau est de 50 à 75 p. 100 d'eau (fig. 79).

Deux grandes herse en acier faisant environ 15 à 20 tours par minute brassent la pâte, de façon à bien la délayer. Le bassin, une fois plein, se décante de lui-même par un trop-plein P garni d'une toile métallique n° 80 et parfois n° 100. Cette toile est disposée de façon à ce qu'elle opère comme un filtre sans que les refus puissent y adhérer. Ces refus tomberont donc au fond du bassin et lorsqu'il y en aura trop, on les évacuera au moyen d'une vanne de fond V aboutissant à un égout E.

Il est bon d'ajouter aux herse des barres de fer traînant au fond du bassin et ajoutant leur action à celle des herse.

On remplace, à l'heure actuelle, les toiles P par des tôles perforées en métal déployé.

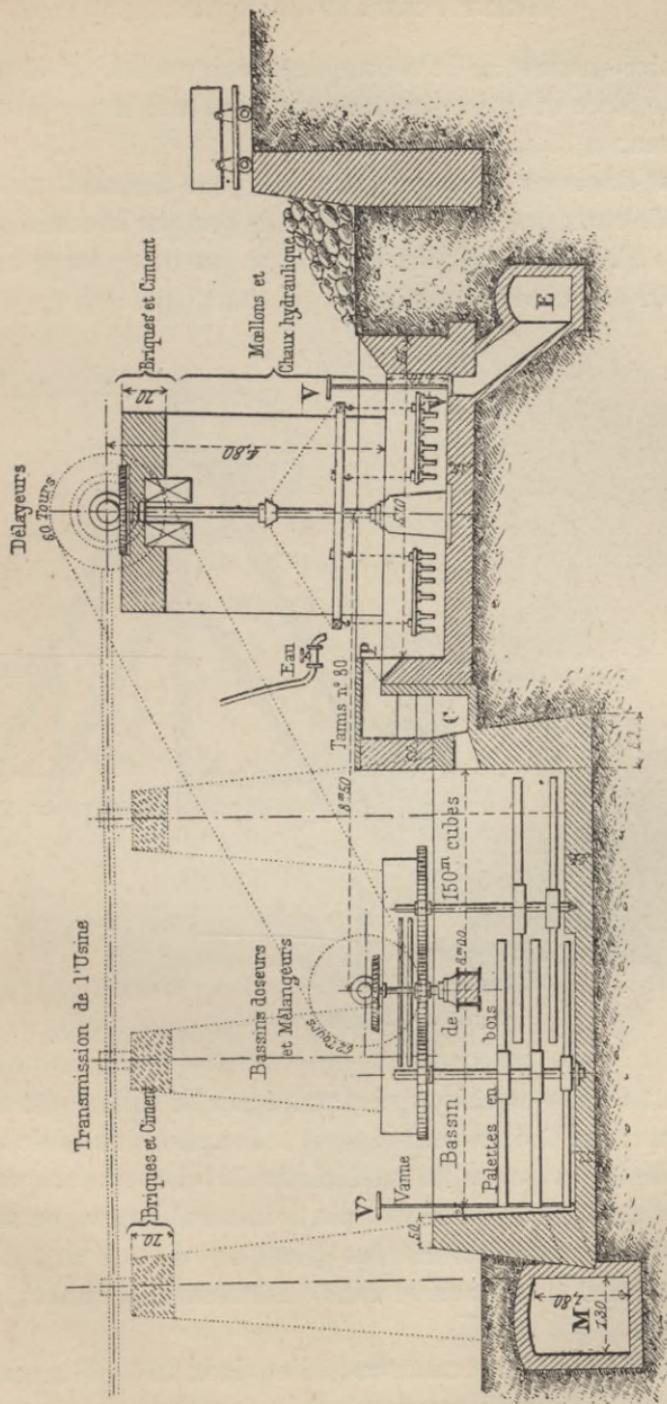


Fig. 79. — Préparation du ciment artificiel par voie humide.

La mise en marche de cet appareil exige environ 10 chevaux de force et un bassin délayeur peut traiter par journée de 10 heures 35 tonnes de matière.

Nous donnons la coupe d'un délayeur Schmidt ne différant de ceux que nous avons donnés que par la commande et que le lait argilo-calcaire est pompé par une pompe rotative pour être envoyé aux bassins doseurs (fig. 80).

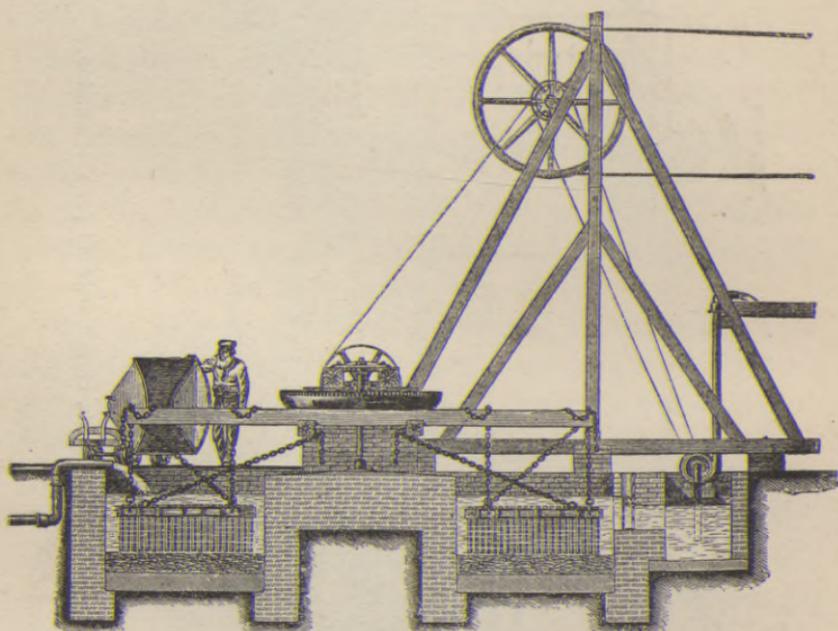


Fig. 80. — Délayeur Schmidt.

Le lait argilo-calcaire qui a passé par la toile P est reçu dans un canal C dans lequel sont ménagées une série d'écluses, de façon que le lait se décante de lui-même et que si, par accident, il a passé des particules sableuses, ce sable soit arrêté et reste derrière les écluses.

Du canal C le lait arrive dans les bassins doseurs et mélangeurs.

Ces bassins ont une contenance d'environ 150 mètres cubes et ont la forme de deux cercles de 5 mètres de diamètre

se coupant du fait que leurs centres ne sont qu'à 3 mètres d'écartement. Ils ont par conséquent 8 mètres de long et on leur donne 2<sup>m</sup>,35 de profondeur.

Le lait est maintenu en agitation constante au moyen de deux arbres verticaux munis de palettes en bois ou de herse semblables à celles des délayeurs faisant 10 à 15 tours par minute. Lorsque le bassin doseur est à peu près plein, on prélève une série d'échantillons en des points différents, on les mélange et on les analyse rapidement. On corrige la pâte en y ajoutant soit une pâte plus calcaire, soit une pâte plus argileuse, on fait fonctionner à nouveau les agitateurs, on prélève ensuite de nouveaux échantillons qu'on analyse et on corrige la composition s'il y a lieu.

On ne vide le bassin que lorsque la composition de la pâte a bien la teneur voulue.

On comprend qu'un pareil système, lorsque les prescriptions sont bien observées, donne des ciments dont la régularité de composition et d'homogénéité soient plus parfaites que le procédé par voie sèche. On arrive avec le procédé par voie humide à fabriquer des ciments dont le dosage est invariable à moins de 0,5 p. 100 près.

Des bassins doseurs, la pâte est envoyée par la vanne V et le conduit M à une série d'immenses réservoirs ayant 30 mètres de longueur, 20 mètres de largeur et 1<sup>m</sup>,25 de profondeur. Le fond de ces bassins est laissé perméable et ils sont munis d'une vanne pour l'écoulement des eaux que la pâte abandonne lorsqu'elle se dépose au fond du bassin. La pâte se desséchera donc par évaporation, infiltration et décantation. Lorsque ces bassins sont pleins, on les abandonne pendant environ 3 mois, jusqu'à ce que la pâte ne contienne plus que 30 p. 100 d'eau et qu'elle puisse être enlevée à la pelle ou mieux au louchet. On a soin de faire la reprise de cette pâte par tranches verticales de façon à remélanger les parties non homogènes qui ont pu se superposer par ordre de densité. Si l'usine opère la cuisson du ciment par un four Hoffmann, la pâte est alors moulée sous forme de briquettes

et nous sommes arrivés au même point que dans la fabrication par voie sèche.

A partir de ce moment, la fabrication du ciment artificiel sera la même par les deux procédés.

Toutefois, avant de continuer à décrire le traitement des briques de ciment cru obtenues soit par voie sèche, soit par voie humide, nous devons signaler les modifications qui ont été apportées depuis quelques années à la fabrication par voie humide et notamment la suppression des bassins de repos.

On conçoit qu'il est fort désagréable dans une industrie d'être obligé de disposer d'une place considérable pour ces bassins de repos, et on a cherché à les supprimer en évaporant par la chaleur l'eau que contient la pâte à la sortie des bassins doseurs.

**Four séchoir anglais.** — On utilise souvent pour ce séchage la chaleur perdue des fours à cuire. Les gaz chauds sont pris au gueulard des fours, et sont conduits par une sorte de tunnel jusqu'au carneau d'une cheminée ou d'un appareil Prat à tirage forcé qui sert pour plusieurs fours à la fois (généralement 10 fours).

On obtient une meilleure utilisation des gaz chauds en faisant revenir les gaz par un deuxième carneau sous le radier du tunnel séchoir 81 (fig. 81).

La cheminée, au lieu d'être à droite du dessin, aurait son carneau collecteur contre le massif du four.

Ces fours sont intermittents; lorsqu'un four est chargé, avant de procéder à l'allumage, on verse sur le radier du tunnel une certaine quantité de pâte venant des bassins doseurs et le tunnel est calculé de façon à recevoir une quantité de pâte telle qu'une fois sèche, elle pourra servir au remplissage à nouveau du four.

On allume le four. La chaleur dégagée pendant la cuisson sèche la pâte. On défourne et on remplit le four à nouveau avec du combustible et la pâte séchée dans le tunnel pendant la fournée précédente.

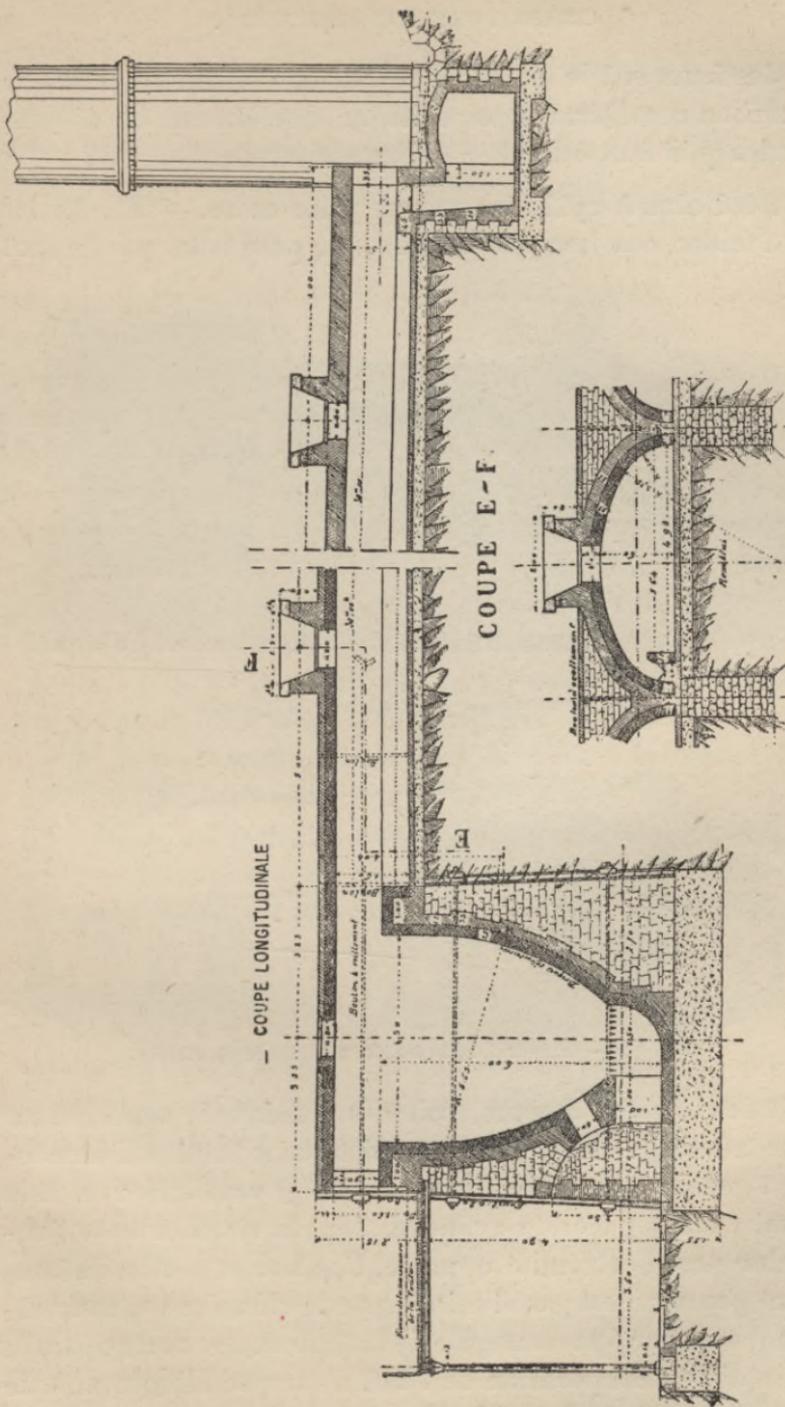
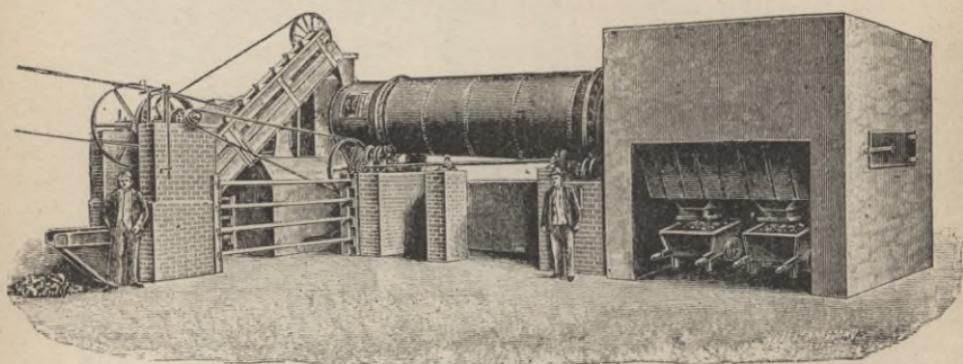


Fig. 81. — Four séchoir anglais.

Ces fours ont le défaut d'exiger une consommation de charbon considérable par suite du cube énorme de maçonneries qu'il faut échauffer à chaque fournée.

**Séchoirs à cylindres pour pâte crue.** — MM. Moller et Pfeiffer, ont imaginé de verser la pâte telle qu'elle sort



Coupe verticale d'un séchoir à cylindre

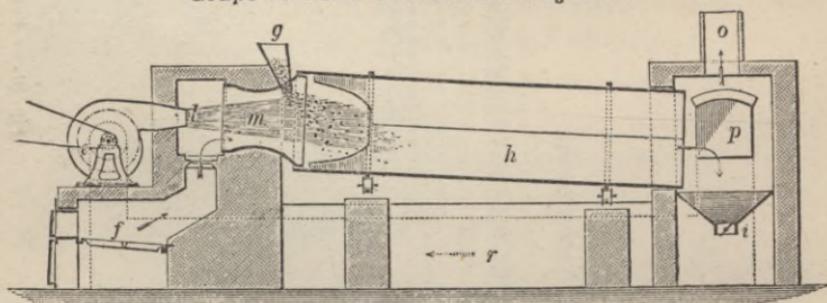


Fig. 82. — Séchoir à cylindre de MM. Moller et Pfeiffer.

soit des bassins doseurs, soit des bassins de repos, dans une trémie *g*. Elle reçoit immédiatement l'action d'un courant gazeux venant du foyer *f* et d'un ventilateur *e*. Elle tombe sur la paroi du cylindre, dont la rotation lente l'entraîne vers l'extrémité opposée. Une bonne partie du courant gazeux n'est pas éliminée par la cheminée *o*, mais revient au foyer *f* par une galerie latérale *r*. Avec cet appareil, on obtient l'évaporation de 7 kil. d'eau par kilogramme de houille brûlé sur la grille (fig. 82).

On peut régler facilement l'appareil de façon que le produit séché n'ait plus que la teneur en eau voulue pour qu'il puisse être moulé sous forme de briquettes. Il suffit pour cela de régler l'admission de la pâte dans l'appareil.

### PROCÉDÉ PAR DOUBLE CUISSON

La description de ce procédé a été faite par M. Gobin dans son étude sur les ciments de l'Isère, à laquelle nous empruntons les pages suivantes :

« Cette fabrication se fait à l'usine du Genevray, à 5 kilomètres au delà de la station de Vif, près de Grenoble (Isère). Elle a été créée par Vicat fils, en 1857, et, l'année dernière, on voyait encore au centre de l'usine un vieux bâtiment qu'on conservait religieusement parce qu'on y avait fait les préparations primitives. On a dû le démolir pour faire place à de nouveaux silos.

« Le procédé appliqué est celui dit à double cuisson (1); voici en quoi il consiste.

« On cuit un calcaire ordinaire à chaux grasse; la chaux vive obtenue est éteinte en poudre et blutée; on ajoute à cette chaux un calcaire très argileux, contenant 40 p. 100 d'argile, qu'on a séché au four, puis broyé et bluté. Ce mélange des deux poudres de chaux et de calcaire argileux, fait dans les proportions voulues (2), est réduit en pâte ferme, puis moulé en briquettes qu'on cuit jusqu'à fusion pâteuse; les frites obtenues, pulvérisées et blutées, donnent le ciment Vicat.

« Nous allons décrire en détail cette fabrication qui

(1) Ce procédé a été employé pour la première fois par L. Vicat, ingénieur des ponts et chaussées, pour fabriquer la chaux hydraulique employée à la construction du pont de Souillac.

(2) Ces proportions sont établies de façon à obtenir pour le ciment artificiel la composition des chaux limites, soit environ 23 parties d'argile pour 77 parties de carbonate de chaux.

Pour le Portland anglais fabriqué avec la craie et la bourbe de Medway, on emploie 75 à 76 parties de carbonate de chaux et 25 à 24 de bourbe.

« comprend trois établissements distincts : deux usines  
« secondaires où l'on prépare : dans l'une, la chaux,  
« dans l'autre, le calcaire argileux, et enfin l'usine cen-  
« trale.

« *Préparation des matières.* — Le calcaire à chaux et  
« le calcaire argileux sont extraits de deux carrières diffé-  
« rentes ouvertes dans le flanc de la montagne, sur la rive  
« gauche de la petite rivière la Gresse. Ils sont cuits sur  
« place, dans des fours à chaux ordinaires établis dans le  
« voisinage des carrières. La chaux vive obtenue est trans-  
« portée en fragments à l'usine centrale où on l'éteint; le  
« calcaire argileux, cuit modérément, est transporté dans  
« une usine spéciale qui dispose d'une force motrice fournie  
« par une dérivation de la Gresse. Là, ce calcaire est con-  
« cassé, trituré et bluté, et la poudre obtenue est trans-  
« portée à l'usine centrale. Nous donnons ci-après quelques  
« détails sur ces manipulations.

« *1° Calcaire argileux.* — Ce calcaire est cuit à une  
« température très modérée, insuffisante pour chasser  
« l'acide carbonique; c'est donc plutôt une forte dessicca-  
« tion qu'une cuisson qu'on lui fait subir. Les fours sont  
« au nombre de dix et sont à cuisson continue.

« La pierre cuite est de couleur jaunâtre; elle a conservé  
« sa forme primitive sans présenter de parties frittées.  
« Elle est immédiatement transportée aux moulins dans  
« des tombereaux. La société étudie l'installation d'un  
« câble transporteur pour remplacer les tombereaux.

« Arrivée à l'usine, la pierre est d'abord broyée au  
« moyen de concasseurs à mâchoires, puis pulvérisée dans  
« des moulins ordinaires à meules en pierre, actionnés  
« chacun par une force de vingt chevaux; l'usine comprend  
« huit moulins. Le produit de cette trituration est bluté  
« dans des blutoirs à toile métallique n° 55 et la poudre  
« obtenue, mise dans des sacs de 50 kilogrammes environ,  
« est transportée à l'usine centrale où on la vide dans un  
« silo-doseur. Ce silo est ainsi nommé parce que, lorsqu'on

« y vide un sac de poudre, un petit appareil (1) en prend  
« automatiquement une quantité déterminée (environ une  
« cuillerée à bouche) et l'envoie, au moyen d'un conduit  
« spécial, dans une petite caisse dont le contenu, bien  
« mélangé, représente exactement la composition moyenne  
« de la poudre mise dans le silo. Une fois le silo rempli,  
« on porte la caisse au laboratoire où l'on en fait une  
« analyse exacte dont les résultats servent à fixer les pro-  
« portions du mélange.

« 2° *Chaux*. — La chaux cuite, débarrassée des incuits,  
« est transportée en pierres à l'usine centrale au moyen  
« de tombereaux. Là, on l'éteint en plaçant les fragments  
« dans des caisses en fer demi-cylindriques percées de  
« trous; ces caisses, suspendues à de petites grues mobiles,  
« sont plongées dans un bassin plein d'eau et retirées  
« immédiatement après l'immersion complète; le contenu  
« est vidé sur une grille où la chaux s'échauffe et s'éteint  
« rapidement en poudre. Les gros incuits et les frites  
« restent sur la grille et la poudre tombe dans une fosse  
« où l'extinction s'achève. Au bout de six ou sept jours,  
« on vide la fosse au moyen d'une vis hélicoïdale sans  
« fin, à axe horizontal, tournant dans un conduit demi-  
« cylindrique placé au bas de la fosse (2). La chaux est  
« ainsi conduite dans la bluterie.

« Les blutoirs, semblables à ceux dont on se sert dans  
« les usines de chaux hydraulique, sont à toile métallique  
« n° 60; la grille protectrice intérieure destinée à retenir  
« les incuits et les parties non éteintes qui pourraient  
« percer la toile est formée ici d'une enveloppe en toile  
« métallique n° 6. Les grappiers recueillis sont soumis,  
« avant d'être jetés, à une extinction spontanée de quinze

(1) Pour vider un sac, on le pose sur une espèce de trappe formant pédale dont le mouvement met en jeu le petit appareil qui prélève l'échantillon et le vide dans la caisse.

(2) Cette vis est appelée *hélice* dans les usines, nom que nous lui conserverons par abréviation.

« jours qui donne, au moyen d'un second blutage, une  
« nouvelle quantité de poudre de chaux. Les résidus de  
« cette seconde opération sont définitivement rejetés.

« La chaux en poudre provenant des blutoirs est con-  
« duite directement par des *hélices* dans les silos-doseurs  
« donnant, dans une caisse spéciale, un échantillon de la  
« composition moyenne du contenu. Cet échantillon est  
« analysé au laboratoire de l'usine.

« *Dosage du mélange.* — Les proportions du mélange  
« de calcaire argileux et de chaux sont établies d'après  
« les résultats de l'analyse des échantillons des silos où doi-  
« vent être prises les poudres à mélanger. Le dosage se  
« fait au poids au moyen de bascules. On pèse dans une  
« caisse 100 kilogrammes de calcaire argileux (cette poudre  
« de calcaire argileux est appelée ciment par les ouvriers)  
« et, d'après la composition du silo où elle a été prise et  
« celle du silo de chaux à mélanger, on calcule le poids  
« de la chaux à ajouter à 100 kilogrammes de calcaire  
« pour obtenir la composition exacte du ciment à fabriquer.  
« Le jour de notre visite, pour 100 kilogrammes de cal-  
« caire (dit ciment), on ajoutait 34<sup>k</sup>,40 de chaux. La poudre  
« est vidée dans de petits wagons tarés; le poids mobile  
« de la romaine est fixé au point voulu, par le chef d'ate-  
« lier, et l'ouvrier chargé de faire les pesées sur la bascule  
« n'a plus à se préoccuper que de l'équilibre à obtenir en  
« vidant la poudre dans la caisse, sans avoir aucun chiffre  
« à lire ni aucun poids à déplacer sur la branche de la  
« romaine. On pèse simultanément, sur deux bascules sem-  
« blables placées à côté l'une de l'autre, 100 kilogrammes  
« de calcaire et la quantité correspondante de chaux; on  
« vide ces poudres en même temps dans un appareil spé-  
« cial où elles se mélangent intimement et où elles sont  
« prises par une hélice pour être conduites dans un silo  
« dit *silo de fabrication*; on a ainsi la matière définitive  
« dont se compose le ciment artificiel.

« *Moulage.* — La poudre contenue dans le silo de fabri-

« cation est amenée dans un demi-cylindre où se meut  
« une vis hélicoïdale sans fin à axe horizontal; un filet  
« d'eau arrive dans ce récipient et la poudre est transfor-  
« mée en une pâte molle qu'on fait tomber dans des moules  
« rectangulaires de 0<sup>m</sup>,50 de largeur, 0<sup>m</sup>,07 d'épaisseur  
« et 0<sup>m</sup>,30 de hauteur, montés par groupe de trente sur  
« de petites voitures à bras. Ces moules, dressés verticale-  
« ment sur leur base, présentent leur ouverture à la  
« partie supérieure pour recevoir la pâte qui doit les rem-  
« plir; on pousse peu à peu la voiture sous le jet de pâte  
« pour faire tomber celle-ci successivement dans chaque  
« moule, on enlève le trop-plein à la pelle. La voiture  
« est ensuite amenée dans la cour où on démoule immé-  
« diatement; les briquettes sont ensuite empilées à l'air où  
« elles se dessèchent.

« *Cuisson.* — Les fours, au nombre de 42, sont à cuisson  
« intermittente. Leur forme est celle d'un cylindre légè-  
« rement ovoïde de 2<sup>m</sup>,50 à 3 mètres de diamètre et de  
« 8 mètres de hauteur jusqu'à la plate-forme; le four est  
« prolongé verticalement, sur 2<sup>m</sup>,50 de hauteur au-dessus  
« de la plate-forme, par une partie cylindrique terminée  
« en coupole et supportant la cheminée; une large ouver-  
« ture, fermée par une porte en fer, y est pratiquée pour  
« servir au chargement du four.

« Ce chargement se fait à la main; on casse préalable-  
« ment les briquettes en petits fragments qu'on range par  
« couches alternatives avec de l'anthracite de La mure;  
« on a soin de briser encore les gros fragments du premier  
« cassage afin d'obtenir une grande régularité de cuisson.  
« On mélange dans la masse enfournée deux événements ou  
« conduits verticaux au moyen de deux tubes qu'on  
« remonte à mesure qu'on fait le remplissage et qui laissent  
« à leur emplacement deux vides cylindriques.

« La proportion du combustible est en moyenne de 1/6  
« du poids des briquettes; mais elle varie dans chaque  
« partie du four. Dans le bas, on règle le dosage à 1/4;

« plus haut on le règle à  $\frac{1}{5}$ , puis à  $\frac{1}{6}$ , ainsi de suite; à  
« partir du milieu de la hauteur, on règle le dosage dans  
« l'ordre inverse de manière à finir le chargement de la  
« partie supérieure avec  $\frac{1}{4}$  de charbon. Ces variations  
« s'expliquent par ce fait que la combustion est moins  
« active aux extrémités du four qu'au milieu.

« Le dosage se fait au poids transformé en volume au  
« moyen de corbeilles ou paniers en osier dont la conte-  
« nance a été déterminée préalablement, de manière à  
« correspondre au poids voulu des matières à employer.

« L'enfournement, la cuisson et le défournement durent  
« huit jours en moyenne; les matières s'affaissent et n'occu-  
« pent plus, à la fin, que le tiers du volume primitif; le  
« dessus n'est jamais suffisamment cuit; on l'enlève directe-  
« ment par le haut pour le mettre dans une autre fournée.

« *Défournement.* — On procède ensuite au défourne-  
« ment par la partie inférieure du four. La matière cuite  
« comprend : 1° les fragments qui ont subi la fusion pâ-  
« teuse et qui forment des frites noires, dures, très denses,  
« ayant l'aspect cristallin quand on les examine attentive-  
« ment; 2° des fragments insuffisamment cuits, légers, de  
« couleur plus claire, qui ont conservé leur forme primi-  
« tive; 3° des fragments formés d'une partie frittée et  
« d'une partie non frittée insuffisamment cuite. On trie à  
« la main les incuits faciles à reconnaître et on les recuit  
« dans une nouvelle fournée. Les fragments en partie  
« seulement transformés en frites sont également triés à  
« la main et on en détache, au moyen d'un marteau, les  
« parties frittées qu'on utilise. Les parties incuites restantes  
« sont en trop petits fragments pour pouvoir être mises  
« de nouveau dans le four; on les utilise en les soumet-  
« tant à une extinction spontanée par l'exposition à l'air;  
« la poudre triée au râteau, pour la séparer des parties  
« non éteintes, est portée dans un silo spécial où on la prend  
« pour l'utiliser aux constructions et réparations des bâti-  
« ments de l'usine; elle n'est pas livrée au commerce.

## CHAPITRE XII

### **Traitement des briques de ciment artificiel cru, obtenues par voie sèche ou par voie humide.**

Wagonnets porteurs. — Séchoirs. — Séchoirs tunnel. — Fours à ciment. —  
— Fours ordinaires. — Four anglais, four allemand, four français. — Chargement des fours. — Fours séchoirs. — Étude d'un four Hoffmann. — Fonctionnement. — Fours coulants. — Four Dietzsch. — Four Schoffer ou de Aalboorg. — Four R. — Four Hauenschild. — Four Du Pasquier. — Four de l'usine Villeneuve. — Four rotatif.

Les briques crues ont en général comme dimensions  $65 \times 105 \times 220$ ; elles pèsent environ 3 kilos. On les empile sur des wagonnets spéciaux, ayant  $1^m,80$  de hauteur dont nous donnons ici un modèle (fig. 83), et on les envoie dans des séchoirs.

**Séchoirs.** — Les séchoirs à briques crues sont le plus souvent constitués par une sorte de tunnel chauffé par la chaleur perdue des fours.

Nous indiquerons ici les dispositions d'un séchoir-tunnel que nous avons installé et qui a donné de bons résultats :

Les fours à ciment étaient munis d'un carneau collecteur à l'extrémité duquel on avait disposé un appareil Prat à tirage forcé. Au-dessus de ce carneau se trouve un tunnel où venait se sécher un train complet de wagonnets chargés de briquettes; 2 trappes, à chaque extrémité du tunnel, permettaient de faire passer les gaz chauds pris au gueulard des fours soit dans le tunnel, soit de les envoyer directement dans la cheminée par le carneau situé sous le tunnel. Les parois du tunnel étaient constituées par deux cloisons

en briques de champ espacées de 7 centimètres et dans cet espace libre on avait bourré de la poudre de liège isolante. Le plafond du tunnel était recouvert d'un hourdis de même matière. Le sol au contraire, devant être très conducteur, était fait avec des voûtelettes en béton de ciment. Les trains étaient amenés à l'intérieur du séchoir et en étaient sortis au moyen d'un treuil.

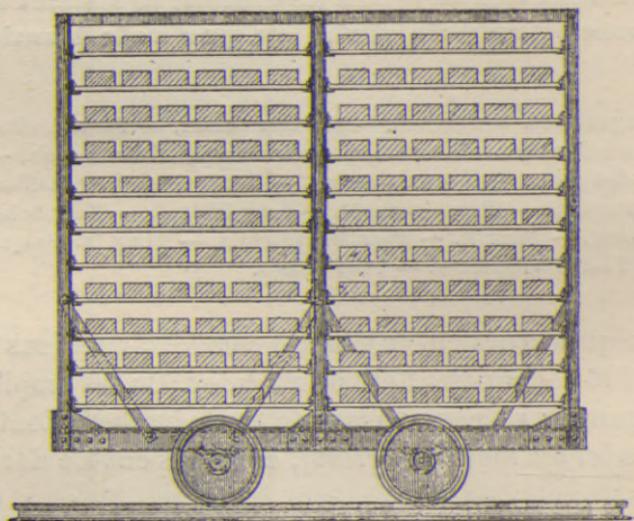


Fig. 83. — Wagonnet pour briques de ciment cru.

Les séchoirs-tunnel du système Möller et Pfeiffer se composent d'un tunnel en maçonnerie que traversent, d'une façon régulière et automatique, les produits à sécher placés au préalable sur des wagonnets en fer d'une construction spéciale.

L'entrée du séchoir doit être placée aussi près que possible des presses, et la sortie à proximité de l'entrée des fours pour éviter toute manutention inutile.

Le séchoir-tunnel (fig. 84 et 85) est toujours en activité et rempli de wagonnets chargés de produits à sécher. Sa sortie est fermée par des portes en bois que l'on manœuvre pour retirer l'un après l'autre les wagonnets. L'avance-

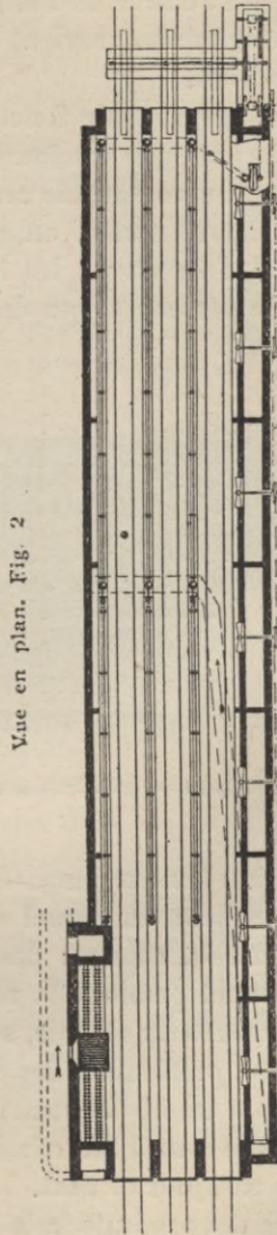
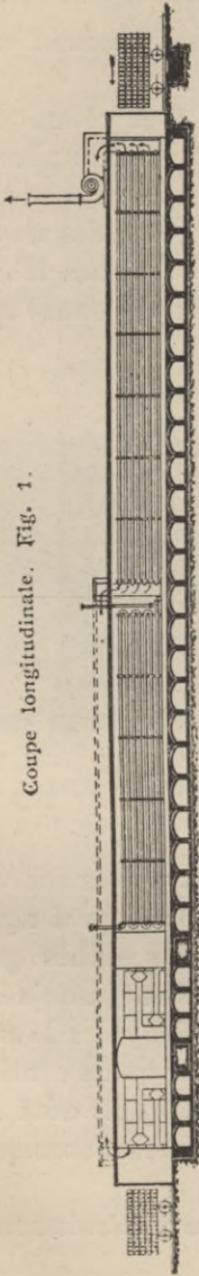


Fig. 84 et 85. — Séchoir Moller et Pfeiffer.

ment de ces wagonnets s'obtient à l'aide d'un treuil méca-

nique installé à l'entrée du tunnel et qui, après le refoulement des wagonnets, revient automatiquement dans sa première position.

En général, le séchoir fonctionne jour et nuit avec la même production que les fours à feu continu; comme la presse ne fonctionne, sauf de rares exceptions, que pendant la journée, il faut mettre en réserve, sur des wagonnets placés à côté du séchoir, les briques fraîches fabriquées pendant cette période et qui doivent entrer dans l'appareil pendant la nuit.

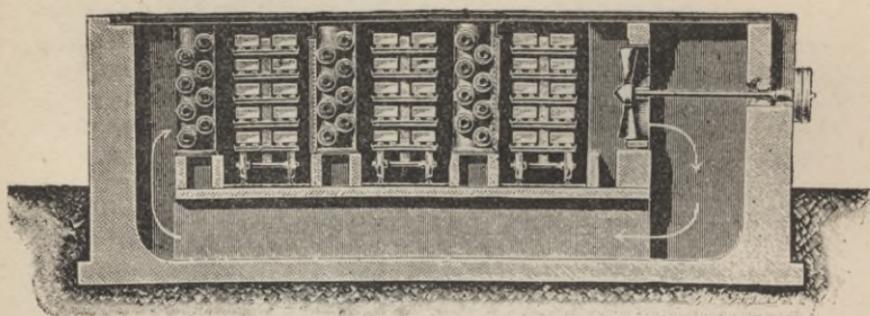


Fig. 86. — Séchoir Moller et Pfeiffer.

Les voies ferrées sur lesquelles sont placés ces wagonnets sont parallèles au tunnel ou dans son prolongement.

Les wagonnets, chargés des produits séchés qui sont retirés du tunnel pendant la nuit, restent jusqu'au matin soit devant l'entrée du séchoir, soit sur les voies de réserve; ou, ce qui est préférable, les produits qu'ils contiennent sont introduits immédiatement, alors qu'ils sont encore chauds, dans le four à feu continu dont l'enfournement se fait, dans ce cas, jour et nuit.

Le séchage des produits frais s'opère généralement dans ces séchoirs en 24 heures.

Il est un fait que la fragilité des briques est surtout à craindre au commencement du séchage, après l'évaporation

d'une première partie de l'eau qu'ils contiennent, après ce que l'on appelle, en terme de métier, « le ressuyage », ils peuvent supporter une plus haute température pour l'évaporation de l'eau hygroscopique qu'ils renferment encore.

La température de l'air enveloppant la matière à sécher est portée régulièrement de 20° ou 30° centigrades à l'entrée du séchoir jusqu'à 110°, 120° et même 140°, s'il le faut, à la sortie du tunnel; néanmoins, la température à l'origine du séchage peut être réglée selon les besoins et suivant la qualité et la nature des produits qui doivent être séchés.

Par suite de son échauffement graduel, l'air est de plus en plus capable d'absorber l'eau au fur et à mesure qu'il avance dans le tunnel, en se dirigeant de l'entrée vers la sortie du séchoir, c'est-à-dire de l'extrémité froide jusqu'à l'extrémité chaude.

Les séchoirs sont munis dans toute leur longueur de tuyaux destinés au chauffage, qui sont placés de chaque côté des voies ferrées.

Dans la plus grande longueur du tunnel, c'est-à-dire dans la partie la plus froide, se trouvent des tuyaux à ailettes que traverse l'air chaud déjà chargé d'humidité en raison de son passage sur les produits à sécher. A la suite de ce premier chauffage, et en se dirigeant vers la sortie du séchoir, règnent également des tuyaux à ailettes régulièrement disposés que traverse la vapeur d'échappement d'une machine motrice qui fonctionne presque toujours dans chaque usine; et, enfin, au fond du tunnel et près de la porte de sortie, se trouvent des calorifères formés d'un foyer et de tuyaux à ailettes spécialement étudiés pour cet usage.

Les gaz chauds qui sont produits par la combustion du charbon placé sur une grille ordinaire circulent dans les tuyaux qui, en raison de leurs ailettes, ont une grande surface de chauffe et distribuent également la chaleur dans le tunnel.

Par suite de leur circulation dans les tuyaux, les gaz chauds ne sont nullement en contact direct avec les wagonnets, ni avec les produits à sécher, et dès qu'ils ont traversé les tuyaux, ils s'échappent par la cheminée.

L'air chaud qui est dans le séchoir est mis constamment en mouvement par des ventilateurs qui le forcent à circuler entre les tuyaux à ailettes et les produits à sécher. Ces ventilateurs, comme l'indique la figure 3, sont placés d'un même côté et sur toute la longueur du tunnel, à une distance de 5 mètres environ les uns des autres. Ils sont en outre disposés de telle sorte que l'air chaud circule dans le séchoir perpendiculairement à l'axe du tunnel, afin de lui permettre de traverser d'abord la première file de tuyaux où il se réchauffe, puis les produits placés sur le premier wagonnet, pour aller ensuite se réchauffer à nouveau à la seconde file de tuyaux avant que de traverser les produits placés sur le chariot voisin, et ainsi de suite suivant le nombre de voies ferrées placées dans le séchoir.

Après avoir traversé successivement les produits placés sur chacun des wagonnets et les tuyaux de chauffage qui sont voisins, l'air est appelé par le ventilateur qui le force à circuler dans un caniveau situé au-dessous du sol avant que de retourner se mettre en contact avec les produits, et répéter plus en avant un trajet semblable au précédent.

En outre de ce mouvement transversal, l'air se meut dans le sens longitudinal en passant de l'extrémité froide du tunnel jusqu'à l'extrémité de sortie qui est chaude.

Ce mouvement de l'air dans le sens longitudinal est obtenu par un aspirateur qui enlève l'air saturé d'humidité en le forçant à se rendre, par les tuyaux condenseurs, de l'extrémité la plus chaude du tunnel où la porte est toujours fermée pendant le fonctionnement du séchoir vers l'extrémité la plus froide. Cet air saturé est continuellement remplacé par de l'air frais puisque l'entrée du tunnel n'est jamais fermée pendant le fonctionnement du séchoir.

Cet air frais se meut lentement dans le tunnel en passant

de l'extrémité froide à l'extrémité chaude, tandis que l'air saturé mis en mouvement par l'aspirateur passe dans un caniveau placé au-dessus du séchoir pour entrer ensuite dans le tunnel et abandonner sa chaleur à des tuyaux à ailettes placés dans la partie froide du tunnel et à la sortie desquels la vapeur d'eau dont il était chargé se trouve condensée.

### FOURS A CIMENT

Il y a quatre sortes de fours à ciment :

- 1° Les fours ordinaires à cuisson intermittente ;
- 2° Les fours séchoirs ;
- 3° Le four Hoffmann ;
- 4° Les fours continus.

**1° Fours ordinaires.** — Ces fours peuvent se diviser en

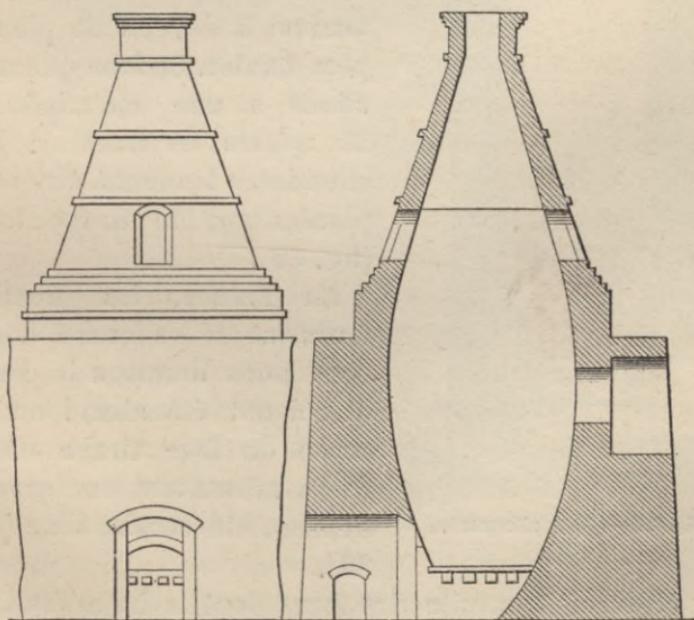


Fig. 87. — Four anglais.

trois catégories : les fours anglais, les fours allemands et

les fours français. Les dernières modifications apportées aux fours français tendent à les rapprocher des fours allemands.

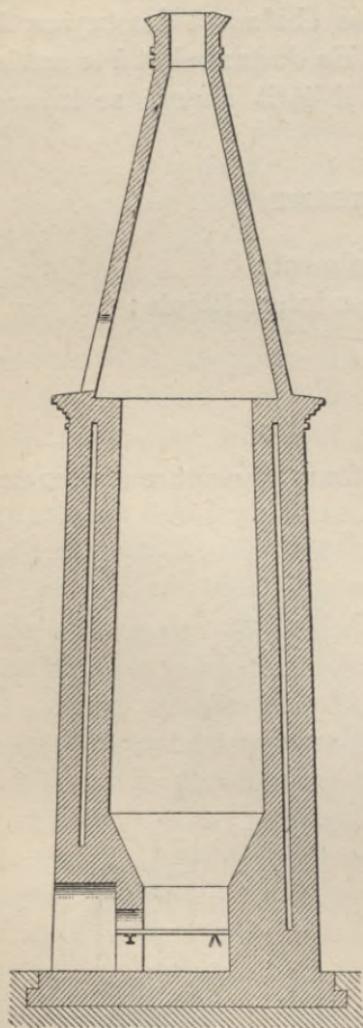


Fig. 88. — Four allemand.

Les fours anglais affectent la forme ovoïde, le chargement se fait par deux portes pratiquées dans la cheminée qui surmonte le four et par une porte située à mi-hauteur du four (fig. 87).

En Allemagne, les derniers fours à ciment ont jusqu'à 1 mètre de hauteur, et 7 mètres de diamètre. Ils affectent la forme de deux troncs de cône accolés par la base. Les cheminées qui les surmontent tendent à devenir de plus en plus hautes. Le four que nous citons a une cheminée de 20 mètres de hauteur. Ces cheminées tendent à être remplacées par le tirage forcé (fig. 88).

En France, les premiers fours ont été les fours à dôme, dont nous donnons le dessin et qui ont été abandonnés à cause de leur tirage défec-tueux nécessitant une grande dépense de combustible (fig. 89).

On construit ensuite des fours dont la base était un tronc de cône surmonté d'un fût cylindrique sans raccord curviligne. A l'heure actuelle, les plus nouveaux fours sont constitués d'un fût cylindrique élevé, surmontant un tronc

de cône avec raccord curviligne, le tout surmonté de très hautes cheminées (fig. 90).

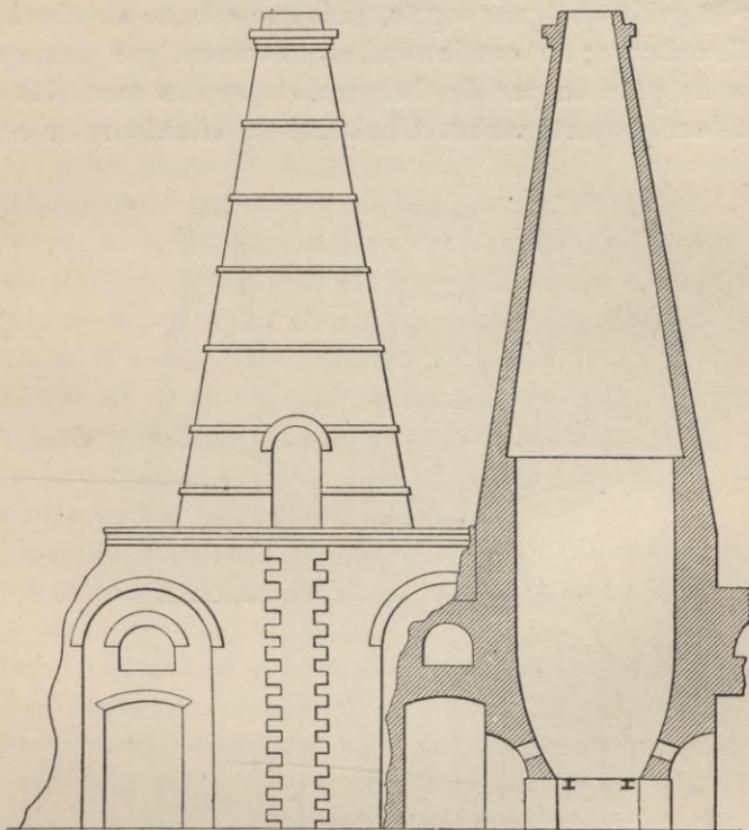


Fig. 89. — Four français.

*Choix des matériaux.* — La chemise réfractaire des fours à ciment portland artificiel doit être en matériaux de toute première qualité, car la température à atteindre varie de 1,600 à 2,000°. A la construction du four, les surfaces des briques réfractaires devront être parfaitement planes, de façon à être absolument jointives.

On recouvre parfois les briques d'un enduit réfractaire de composition analogue à celle du ciment à cuire.

Les portes pratiquées dans les cheminées pour le char-

gement, sont fermées avec des plaques en tôle et soigneusement lutées lors de la mise en feu.

*Chargement des fours.* — On commence par disposer sur la grille quelques fagots, puis une couche de charbon anthraciteux; on continue alternativement par des couches de pâte ou par des briques, et par des quantités de charbon proportionnées. L'habileté du chauffournier con-

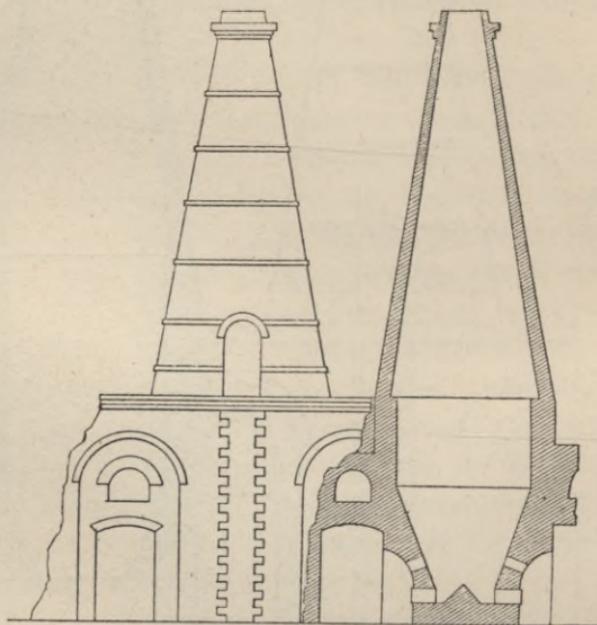


Fig. 90. — Four français modifié.

siste à bien répartir son combustible suivant la hauteur du four. Il est évident que, s'il faut une grande quantité de charbon au bas du four, il en faut moins à la partie supérieure. On peut opérer économiquement en employant pour les premières charges du coke métallurgique et pour les charges allant du ventre au gueulard des charbons anthraciteux. Toutes précautions devront être prises pour ne pas empêcher le parfait tirage en tous les points de la masse. L'enfournement est fait non seulement dans toute la

hauteur de la cuve, mais encore aussi haut que le permettent les portes de la cheminée. Une fois terminé, on ferme les portes, et on allume le four par le bas, au moyen de quelques fagots. Un affaissement général de la masse ne tarde pas à se produire, et bien souvent on en profite pour recharger le four jusqu'à ce qu'il soit plein. Ce rechargement n'est intéressant que pour les très grands fours.

Au moment de la pleine marche, le four a une allure collante provenant du commencement de vitrification. La désagrégation de ces masses se produit naturellement au refroidissement et on peut l'activer par des ouvertures ménagées « ad hoc » par où on fait passer des ringards. Ces ouvertures sont murées pendant la cuisson.

La durée de la cuisson va de 4 jours pour les petits fours, jusqu'à 15 pour les grands que nous avons cités.

La production en ciment cuit est en moyenne de 800 kil. par mètre cube de capacité du four.

La quantité de charbon est de 250 kil. de coke métallurgique ou de 300 kil. de charbon anthraciteux par tonne de ciment fabriqué.

Les avantages de ces fours sont d'être peu coûteux d'installation et d'une conduite relativement facile. Leurs inconvénients sont d'exiger des pâtes absolument sèches, d'avoir une enveloppe réfractaire souvent détériorée, par suite des alternatives de chauffe et de refroidissement; et enfin de donner un produit final dont une partie n'a pas atteint le degré de cuisson voulu. Ici, nous ferons une remarque qui pourra intéresser et guider nombre de fabricants pour le choix d'un four à établir.

Dans une industrie fabricant le ciment artificiel seul, il est sans inconvénient d'avoir deux marques, l'une de ciment artificiel véritable et bien cuit, à grande résistance, dit « ciment administratif » pour la raison qu'il est livré aux services des ponts et chaussées ou aux grandes administrations. L'autre dit « ciment commercial », qui est livré aux particuliers, et dont la composition chimique est identique

à celle du ciment précédent dont il ne diffère que par le degré de cuisson. Pour ces industries à ciment portland artificiel, les fours intermittents les plus grands possibles sont ceux qui, à notre avis, conviennent le mieux. Les roches dures obtenues sont versées à la fabrication du « portland administratif », les parties dont la cuisson est un peu insuffisante sont additionnées d'une certaine quantité de roches et versées à la fabrication du « portland commercial ».

Au contraire, dans d'autres industries où on fait déjà des ciments naturels et où le portland artificiel est fabriqué pour les besoins toujours croissants des services publics, on

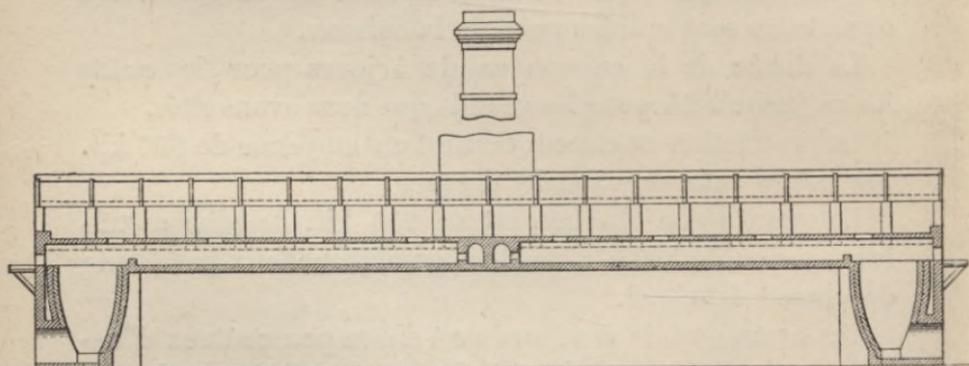


Fig. 90 bis. — Four séchoir.

n'a pas d'intérêt, bien au contraire, à fabriquer des ciments de deuxième marque, puisqu'on a déjà les ciments naturels pour jouer le rôle de ciment commercial à bon marché. Dans ces industries, toute partie mal cuite est une perte sèche, et, dans ce cas, c'est le four Hoffmann qui conviendra le mieux.

**2° Fours séchoirs.** — Nous avons étudié les particularités de ces fours au sujet du séchage des pâtes du procédé par voie humide. Le four lui-même est semblable aux fours intermittents étudiés dans le paragraphe précédent, la cheminée est seulement remplacée par la prise de gaz au gueulard. Généralement ces fours sont construits par bat-

terie de 10 à 12 avec un seul carneau collecteur et une cheminée (fig. 90 bis).

**3° Four Hoffmann.** — Le four Hoffmann est le four qui peut le mieux s'appliquer à la fabrication par voie sèche, vu que dans ce procédé la pâte est obtenue sous forme de briquettes peu humides.

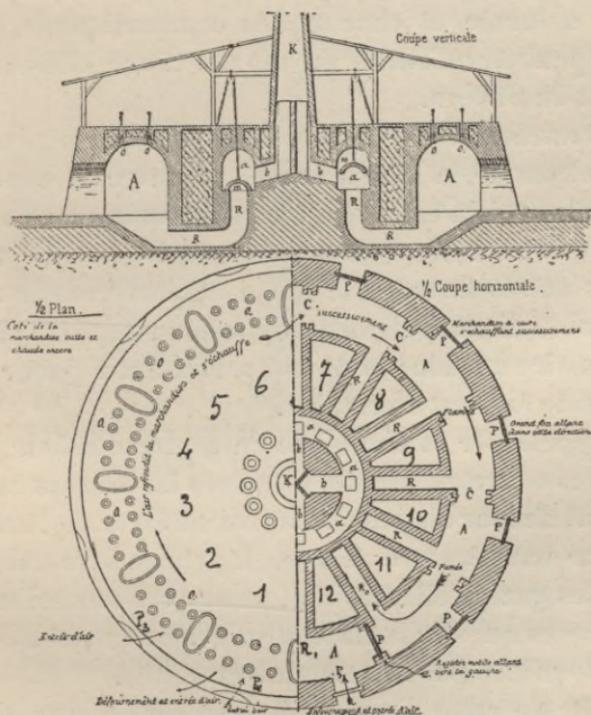


Fig. 91. — Four Hoffmann circulaire.

Les fours Hoffmann sont, ou bien circulaires, ou formés de deux galeries réunies par un demi-cercle. Cette dernière forme est la plus adoptée. Les dimensions de ces galeries sont de 2 mètres de hauteur et 3 mètres de largeur. On divise les fours circulaires en 12 compartiments et les fours allongés en 18 et souvent jusqu'à 22 compartiments (fig. 91 et 92).

On pénètre à l'intérieur du four par autant de portes qu'il y a de compartiments, chaque compartiment est lui-même relié à la cheminée par un rampant R, débouchant lui-même dans un carneau collecteur. Dans chaque compartiment se trouve une coulisse C qui peut recevoir un registre qu'on introduit par une fente ménagée au plafond de la voûte.

Afin de pouvoir interrompre la communication entre la chambre à fumée et chacun des compartiments, chaque rampant peut être obstrué au moyen d'une cloche se manœuvrant du dehors.

*Fonctionnement.* — Supposons le registre  $p$  placé à un point quelconque, la cloche  $m$  qui recouvre le conduit de fumée le plus voisin est levée, toutes les autres sont baissées. Les deux portes  $P_1$   $P_2$  à gauche du registre sont ouvertes, toutes les autres fermées, le feu a sa plus grande activité vers le point diamétralement opposé au registre dans un four circulaire ou dans le 6<sup>e</sup> compartiment à partir du registre et si le four est annulaire.

L'air appelé par la cheminée entre dans le four par les deux portes ouvertes, circule à travers les briques cuites en s'emparant de leur chaleur, et arrive au foyer de la combustion à une température élevée. Il achève la combustion, entraîne les gaz qu'elle produit, passe avec ceux-ci entre les briques crues qui s'échauffent graduellement, et s'échappe dans la cheminée par le rampant ouvert  $R_0$ .

Il résulte de cette circulation, que les briques cuites se refroidissent pendant que les briques crues placées dans les derniers compartiments atteignent petit à petit la température de cuisson.

Lorsque le compartiment n° 12 sera complètement chargé, on déplacera le registre pour le mettre à la rainure suivante. Souvent, au lieu d'un registre en tôle, on met une feuille de papier fort qu'il suffit de déchirer pour mettre le compartiment suivant à la cuisson.

On ferme la porte  $P_1$  de ce nouveau compartiment, on

Moitié supérieure de la figure : Four vu du dessus après enlèvement de la charpente.

Moitié inférieure de la figure : Coupe horizontale au ras du sol.

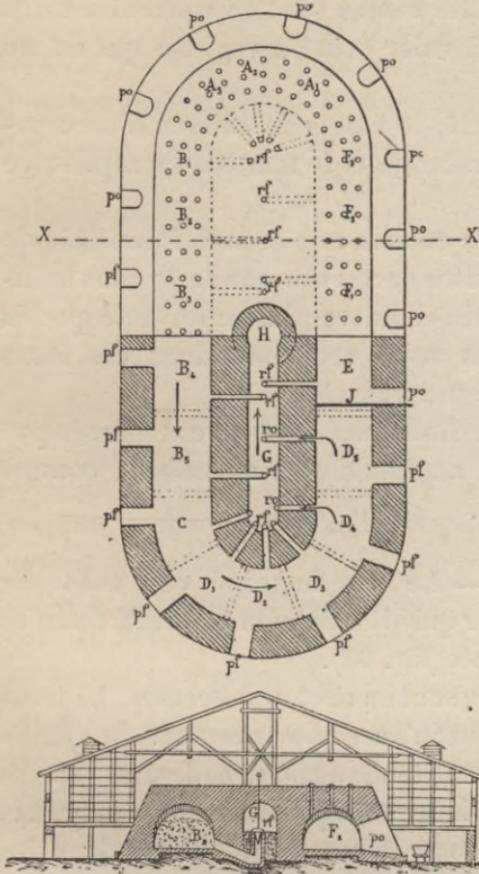


Fig. 92. — Four Hoffmann annulaire.

- A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, Chambres en vidanges.  
 B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>4</sub>, B<sub>5</sub>, Chambres contenant du ciment cuit, plus ou moins refroidi.  
 C, Chambre où la cuisson est le plus intense.  
 D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>, D<sub>4</sub>, D<sub>5</sub>, Chambres contenant des briquettes plus ou moins chaudes non encore cuites.  
 E, Chambre en chargement.  
 F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, F<sub>3</sub>, Chambres vides.  
 C, Carneau collecteur.  
 H, Cheminée.  
 J, Cloison en papier.  
 po, portes ouvertes.  
 pf, portes fermées.  
 ro, registres ouverts.  
 rf, registres fermés.

ferme le conduit de fumée R<sub>0</sub> et on ouvre le conduit R<sub>1</sub>. On ouvre ensuite la porte P<sub>3</sub>, etc.

Le combustible se charge par des trous circulaires O très rapprochés les uns des autres et ménagés dans la voûte du four. Ces ouvertures sont fermées par un couvercle muni d'un verre, permettant de contrôler le feu dans tous les points du canal.

Dans le four, les briques doivent être disposées de façon à ménager vers le bas 3 petites galeries de 0,35 × 0<sup>m</sup>,25; elles sont ensuite empilées comme pour un four à briques ordinaires.

La cuisson d'un compartiment est en général de 24 heures et peut en durer 40. Le chargement du charbon se fait par deux ou 3 ki-

logrammes à la fois et au moyen de couffins dosés.

Dans un four Hoffmann, les 5 premiers compartiments à partir du registre sont remplis de briques crues, le sixième est en cuisson intense et les autres sont en refroidissement ou en vidange, sauf le dernier près du registre qui est au remplissage.

Dans un four bien réglé, le temps de cuisson d'un compartiment, le temps de vidange et le temps du remplissage doivent être identiques.

Ces fours réalisent sur la cuisson une économie sensible de combustible, ils sont d'autre part d'une conduite plus méticuleuse et exigent une main-d'œuvre plus importante que les autres fours; néanmoins nous recommandons ces fours comme suite du procédé par voie sèche.

La cheminée d'un four Hoffmann est souvent placée par côté et séparée du four, au lieu d'être au milieu, comme nous l'avons représentée.

**4° Fours coulants.** — Le four imaginé vers 1884 par M. Dietzsch est le premier qui ait vaincu la difficulté de cuire le ciment en fours coulants (fig. 93).

Les difficultés à vaincre sont en effet nombreuses. La température étant poussée jusqu'au commencement de vitrification, la masse entière a une tendance à se coller, et la prise en masse est encore favorisée par le poids des matières crues chargées au-dessus de la zone de combustion. Le collage des matières peut de plus faire adhérer la masse à la chemise réfractaire, ce qui a le double inconvénient d'empêcher la descente des matières et de dégrader fortement la chemise réfractaire.

D'une manière générale, les fours coulants sont plus larges à la base qu'au gueulard pour favoriser la descente des matières. Des ouvertures sont ménagées en divers points de la hauteur du four, de façon qu'on puisse ringarder et s'opposer à la prise en masse du four. On s'oppose à l'adhérence de la masse cuite à la chemise réfractaire, en

refroidissant cette enveloppe réfractaire par des courants d'air. De plus, la masse encore crue, mais déjà placée dans le four est soutenue en l'air, de façon à ne pas appuyer de tout son poids sur la partie en pleine combustion.

Tous les fours coulants sont munis d'une cheminée et le plus souvent on les souffle avec des ventilateurs ou des transformateurs de pression, donnant une pression d'environ 15 millimètres d'eau. On arrive dans ce dernier cas à augmenter de 30 p. 100 et plus le rendement des fours.

Un autre inconvénient des fours coulants est d'exiger l'emploi comme matière crue de briques dures et solides, c'est-à-dire gâchées en pâte molle et préalablement très bien séchées, de façon qu'elles ne se réduisent pas en poudre. Les briques faites avec de la poudre très humide se désagrègent facilement. Si, d'autre part, les briques ne sont pas bien séchées, elles risquent d'éclater dès leur mise au four, et les petits fragments qui en résultent nuisent au fonctionnement rationnel du four.

On a préconisé dans ce but le moulage de la matière crue en boulets au lieu de briques pour les fours coulants. Ce système a l'avantage de réduire au minimum les points de contact du ciment avec la brique réfractaire et de favoriser le dégagement régulier des gaz de la combustion.

**Four Dietzsch** (fig. 93). — Ce four est très répandu en Allemagne et en Russie. Il a été aussi appelé four à étages. La matière crue versée en A commence à s'échauffer dans le réchauffeur B, sorte de cheminée à section rectangulaire, puis vient tomber dans le creuset F. Le combustible se charge par les portes E. Une série de regards R permettent de surveiller la marche du four et de détruire à coups de ringard les blocs qui auraient pu se former.

Les matières cuites arrivent en H dans la chambre de refroidissement, où elles sont refroidies par l'air qui va

servir à la combustion en F et qui de ce fait récupère la chaleur perdue et arrive à haute température dans le

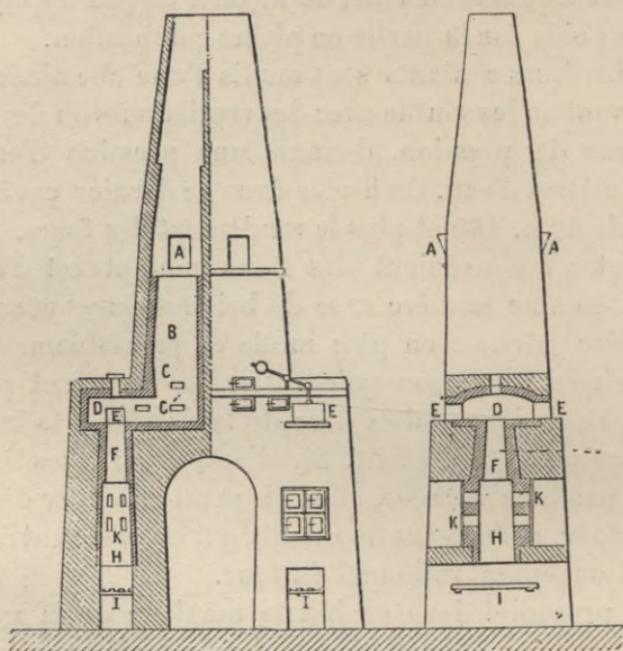


Fig. 93. — Four Dietzsch.

- |  |   |
|--|---|
| A. — Porte de chargement de la pâte sèche.                                 | E. — Portes de chargement du combustible. |
| B. — Réchauffeurs.   | F. — Creuset.                             |
| C. — Réchauffeurs.   | K. — Regards.                             |
| D. — Conduit faisant communiquer l'étage inférieur avec l'étage supérieur. | H. — Chambre de refroidissement.          |
|  | I. — Grille.                              |

creuset. La durée de séjour des matières dans le four est la suivante :

Dans le réchauffeur.....	15 h.	environ
— creuset.....	1 ou 2 h.	—
— refroidisseur.....	15 h.	—

Les charges se font par quantités régulières toutes les demi-heures, et cela jour et nuit.

Le rendement d'un four est de 8 à 10 tonnes par jour.

Le combustible doit être un charbon riche en matières volatiles; la consommation est de 180 kil. par tonne de ciment fabriqué.

C'est un des fours les plus économiques, mais aussi des plus pénibles à conduire.

Ces fours se construisent par deux, comme l'indique le dessin.

**Four Schoffer ou de Aalborg. Four R.** — Nous avons vu le four Schoffer au sujet de la fabrication de la chaux. Il n'est guère employé qu'en Danemark pour la fabrication du ciment, d'où le nom qui lui est souvent donné de four Danois (fig. 94).

Le four de Aalborg et le four R ont le même principe. La matière crue est versée dans les deux par les portes A, D sert de réchauffeur. Le charbon est versé en *f* par des ouvertures semblables à celles du four Hoffmann. Le creuset est en E et la chambre de refroidissement en F. La récupération de la chaleur se fait comme pour le four Dietzsch et la marche est sensiblement la même que pour ce four.

Le four continu à ciment R, plus perfectionné que le four d'Aalborg, est muni de regards K permettant de surveiller et de régler la marche du four (fig. 95). La production de ces fours est un peu supérieure à celle du four Dietzsch, et peut dépasser 15 tonnes par 24 heures avec une dépense en houille de 130 kil. seulement par tonne de ciment cuit. La maison Schmidt, qui construit ces fours, compte sur 12 à 15 p. 100 de houille par tonne de ciment cuit.

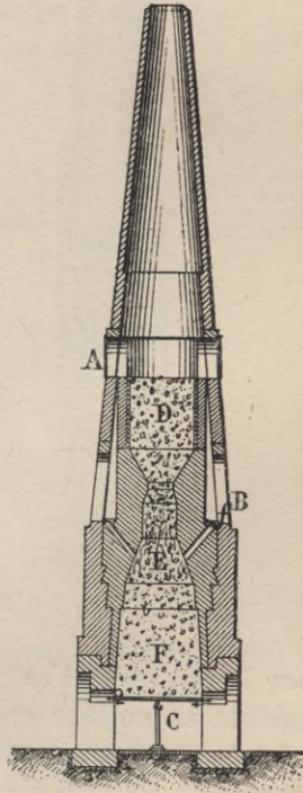


Fig. 94. — Four Schoffer ou four Danois.

**Four Hauenschild** (fig. 96). — Dans ce système de

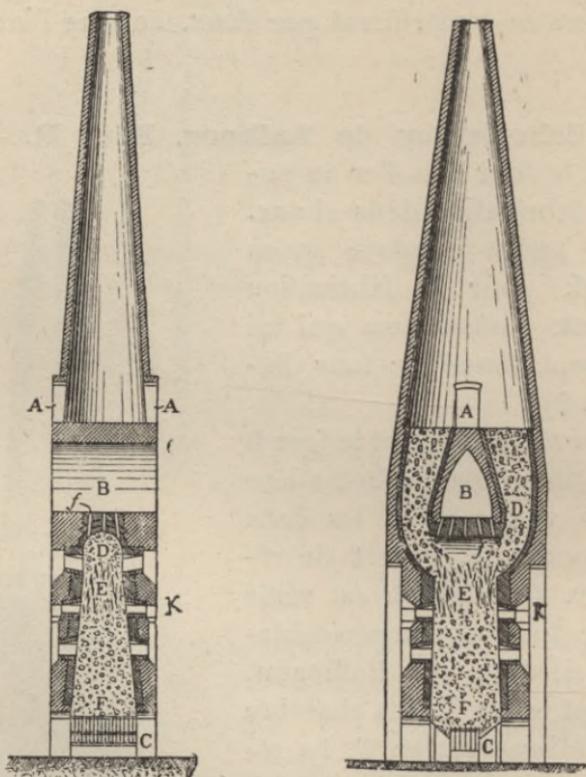


Fig. 95. — Four R.

four le but qu'on s'est proposé a été de s'opposer le plus possible au collage contre les parois.

Le four est composé de deux ou plusieurs cylindres superposés, dont le diamètre va en diminuant à partir de la base, produisant ainsi une série de redans. La paroi du four est composée d'une première enveloppe en tôle ou en ciment armé protégée par des briques réfractaires et d'une deuxième enveloppe à une distance de 30 centimètres environ de la première. Entre ces deux enveloppes on fait circuler un violent courant d'air, qui, en refroidissant l'enveloppe réfractaire, maintient sa température bien au-dessous du point de fusion du ciment artificiel, et permet

d'obtenir sans collage contre les parois une très haute température à l'intérieur du four.

Le tirage doit être très régulier, et on conseille pour ce four d'employer le moulage en boulets réguliers de ciment cru plutôt que le moulage en briques.

On groupe en général ces fours autour d'une cheminée centrale. Mais il est préférable d'avoir une cheminée par four. La construction d'un four Hauenschild exige l'emploi de 33.000 briques ordinaires et 850 briques réfrac-

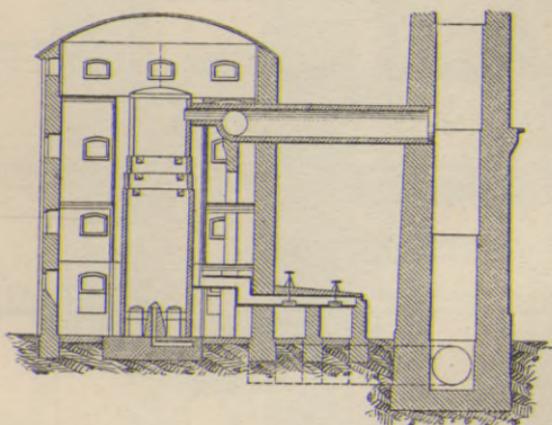


Fig. 96. — Four Hauenschild.

taires de  $175 \times 250 \times 125$ . Il coûte environ 12.000 fr., plus une redevance de 5.000 francs à son inventeur.

Le rendement est de 15 tonnes par 24 heures si les briques n'ont pas plus de 5 p. 100 d'humidité, la consommation de coke métallurgique étant de 150 à 180 kilos par tonne de ciment cuit. Le rendement à certains essais a été de 18 tonnes avec une consommation de 120 kilos.

**Four Du Pasquier.** — Ce four est basé sur les mêmes principes que les précédents, les gaz de la combustion sont envoyés dans des chambres où les briques crues ont été mises à sécher. Un jeu de registres permet d'envoyer ces

gaz directement à la cheminée lorsque les briques sont suffisamment sèches (fig. 97).

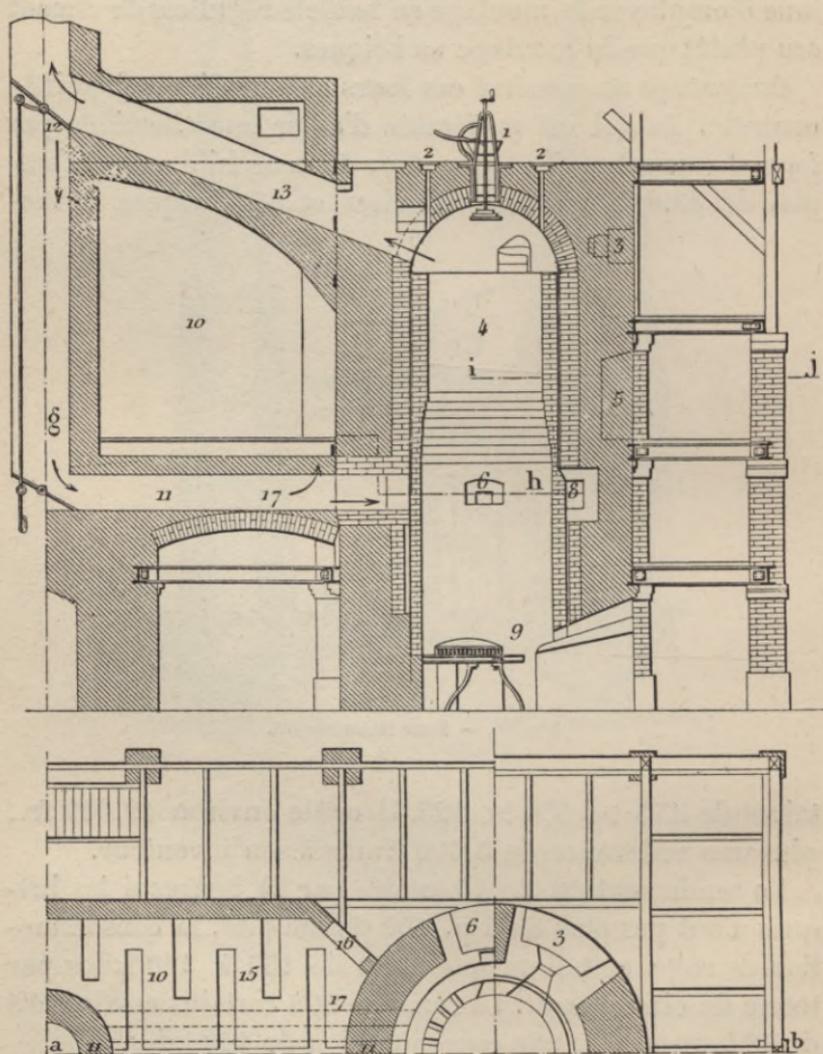


Fig. 97. — Four Du Pasquier.

**Four de l'usine Villeneuve.** — Lors de la reconstruction de cette usine en 1899 l'auteur, en collaboration avec M. Valabrègue, administrateur de la Société, a ima-

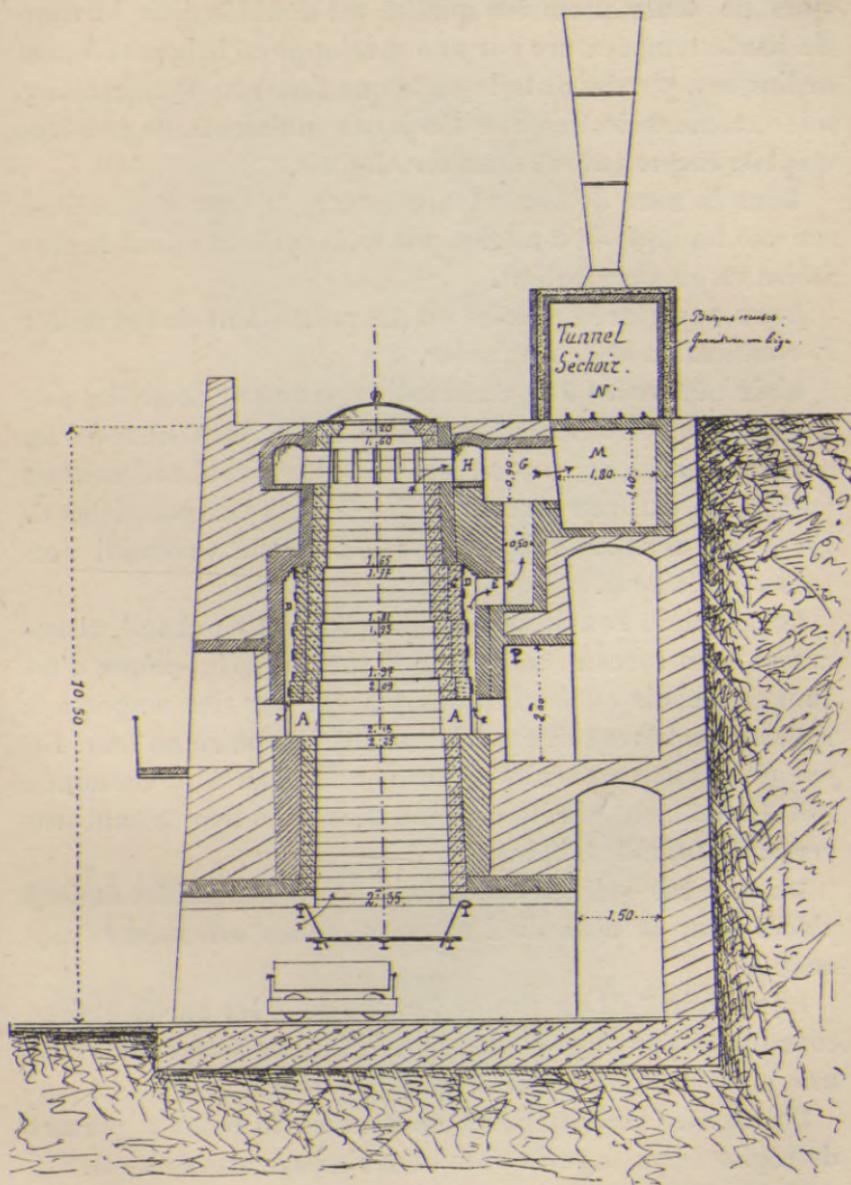


Fig. 98. — Four de l'usine Villeneuve.

giné le four dont nous donnons le dessin ci-contre (fig. 98).

L'enveloppe réfractaire très mince et constituée en briques de toute première qualité est doublée dans la zone de haute température par une enveloppe en briques creuses ordinaires, placées de telle sorte que l'enveloppe réfractaire soit en communication avec l'espace annulaire D. De gros fers méplats encerclent ces deux enveloppes.

Dans la zone de haute température, le four est constitué sur une hauteur de 3 mètres par trois cylindres dont le diamètre va en augmentant.

Deux ouvertures placées en AA permettent de surveiller la combustion et de ringarder.

L'air nécessaire à la combustion passe par la grille, s'échauffe en refroidissant la masse cuite, et s'échappe au gueulard par douze ouvertures en couronne, aboutissant au moyen du carneau circulaire H à 3 carneaux parallèles C. Un de ces derniers carneaux reçoit l'air qui a refroidi l'espace annulaire D.

Les gaz de la combustion, mélangés à cet air chaud, aboutissent à un carneau collecteur M surmonté lui-même d'un tunnel séchoir où les briques placées sur des wagonnets spéciaux achèvent de se sécher avant leur mise au four. Un jeu de registres permet d'envoyer les gaz à la cheminée soit directement par le carneau M, soit en leur faisant traverser le tunnel séchoir.

Dans le cas qui nous occupe, 3 fours semblables étaient placés l'un à côté de l'autre et reliés au même carneau M.

Le séchoir était un simple tunnel, dont les parois étaient constituées par deux cloisons en briques creuses entourant une cloison isolante en briques de liège.

Un registre situé en E, et manœuvré du point P permet de régler le passage de l'air dans l'espace annulaire D.

Nous citerons encore, parmi les fours coulants, le four Stein, dont les parois sont en fonte refroidies par un courant d'air, le Water Jacket, où les parois sont en tôle et refroidies par un courant d'eau, le four Brentano, etc.

**Fours rotatifs.** — Ces fours ne sont guère en usage

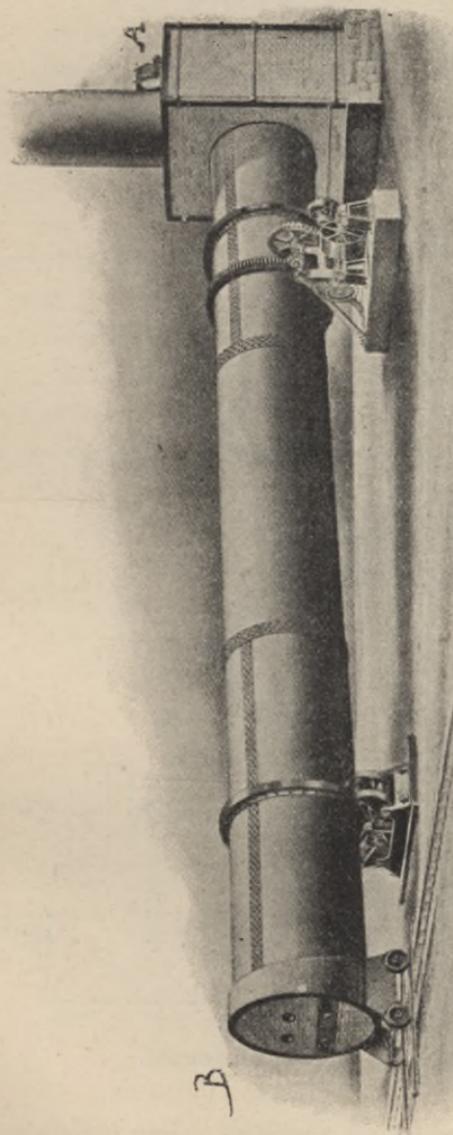


Fig. 99. — Four rotatif.

qu'en Amérique, les premiers essais ont été faits en Angleterre par M. Ransome (fig. 99-100). Excellents en théorie,

car ils suppriment la main-d'œuvre et donnent un produit réduit à la grosseur d'une noix, la pratique n'a pas,

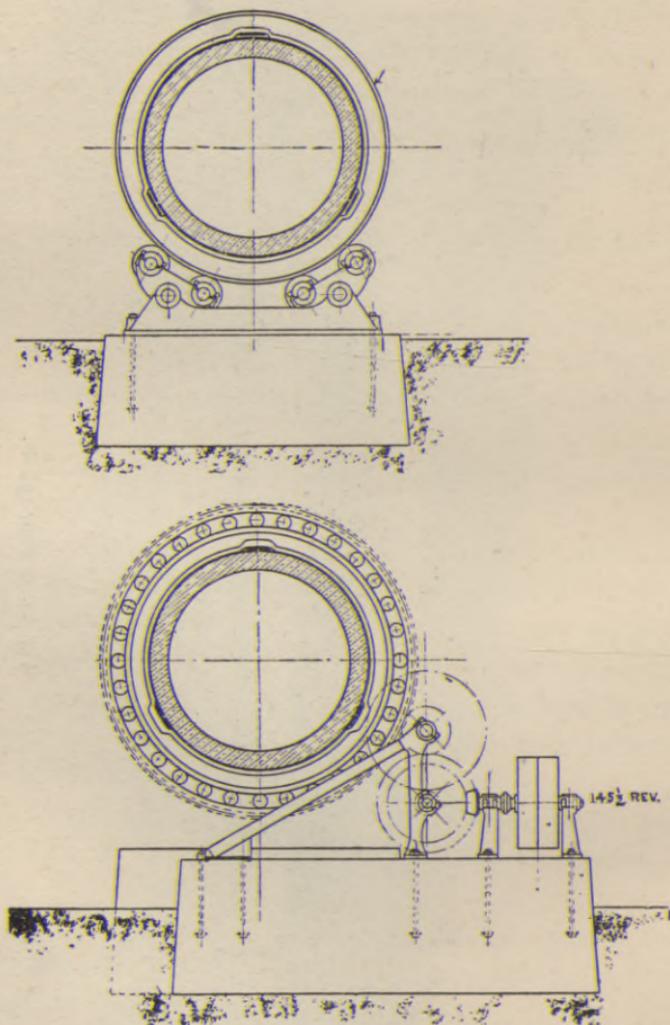


Fig. 400. — Four rotatif (coupes).

jusqu'à présent, donné de résultats bien satisfaisants. Ils se composent d'un long cylindre en tôle de 13 mètres de longueur et 1<sup>m</sup>,80 de diamètre garni intérieurement d'une enveloppe en briques réfractaires. Ce cylindre est légère-

ment incliné et fait sur galets un ou deux tours par minute.

Le ciment cru est introduit sous forme de poudre sèche en A, au moyen d'un distributeur automatique bien régulier. Par suite de l'inclinaison du tube et de son mouvement de rotation, il sort en B après avoir été cuit au moyen d'un jet de pétrole. Le degré de cuisson s'obtient en accélérant ou ralentissant la vitesse de rotation du cylindre, c'est-à-dire en modifiant la durée du séjour du ciment dans le four.

Les gaz chauds sont envoyés dans des séchoirs pour poudre crue.

Un pareil four peut donner jusqu'à 30 tonnes par jour ; le ciment est obtenu sous forme de petites masses spongieuses rondes se broyant très facilement.

La durée de la cuisson est d'une demi-heure environ.

## CHAPITRE XIII

### **Tirage des fours. — Triage et trituration des roches cuites.**

Incuits et roches. — Poussières jaunes et grises. — Triage. — Pulvérisation des roches. — Concassage. — Préparateurs. — Cylindres lamineurs. — Broyeur Bourdais. — Broyeur Weidknecht. — Finisseurs. — Broyeur à boulets. — Broyeur Morel. — Broyeur Le Phénix. — Tubes finisseurs. — Moulin Griffin. — Moulin Taylor. — Moulins ordinaires. — Blutage. — Ensilage. — Embarilleur Moustier.

Quel que soit le système de four employé, il est toujours bon que les chambres de refroidissement aient la plus grande capacité possible, de façon à obtenir un refroidissement des plus lents, et éviter la réduction spontanée en poussières toujours nuisibles.

Le produit d'un four se décompose ainsi :

**1° Incuits jaunes.** — Apparence jaunâtre, densité très faible, font avec les acides une vive effervescence montrant que la décarbonatation est incomplète, sont inertes et non nuisibles, mais ils altèrent la qualité du ciment; on les trie pour les remettre au four.

**2° Incuits gris.** — Ces incuits grisâtres, de faible densité, font avec les acides une effervescence moins vive que les précédents. Souvent l'effervescence est presque nulle. Ils sont beaucoup plus dangereux que les précédents, car l'acide carbonique ayant été chassé en partie, ils contiennent de la chaux libre. Le mieux est de les repasser aux fours.

Dans certaines usines, notamment en Allemagne, on utilise les plus cuits d'entre eux pour faire le ciment artificiel marchand, inférieur au ciment administratif. Lorsque l'usine fait des ciments naturels, ces incuits sont versés à la fabrication de ciments demi-lents et silotés très longtemps.

**3° Roches proprement dites.** — Les roches ou ciment bien cuit n'ayant subi qu'un commencement de fusion sont d'apparence noire ou vert foncé. Elles sont très lourdes, dures et homogènes; elles constituent la plus grande partie du défournement.

**4° Surcuits.** — Ce sont des morceaux noirs, scorifiés ou quelquefois vitreux; ils proviennent d'un mélange des cendres du combustible avec le ciment, donnant en certains points des produits plus fusibles que le reste de la matière traitée.

Ces surcuits, lourds et compacts, sont inertes; ils peuvent diminuer quelque peu, dans les premiers temps, l'énergie du ciment, mais non altérer sa qualité; peut-être même jouent-ils dans la suite le rôle d'une pouzzolane. On peut, sans inconvénient, les laisser mélangés aux roches.

**5° Poussières jaunes.** — Elles sont composées de pâte non cuite, n'ayant subi qu'un commencement d'action du feu. Elles sont légères et la plupart du temps rejetées.

**6° Poussières grises.** — Ces poussières, dites souvent poussières lourdes à cause de leur densité, proviennent de ce que certaines roches bien cuites ont été refroidies trop brusquement et se sont spontanément réduites en poussières par un phénomène comparable à celui de l'étonnage des pierres. Ces poussières contiennent en général un léger excès de silice. On les ajoute aux roches bien cuites, en quantités que le chimiste de l'usine doit déterminer en se basant sur le fait qu'elles doivent neutraliser le léger excès de chaux libre que peuvent contenir les roches. Le surplus est versé à la fabrication des ciments de deuxième qualité.

Le mélange des roches, de surcuits et de poussières est vidé dans des chambres, où il est abandonné à l'air libre et arrosé très légèrement (à l'eau chaude de préférence).

Il importe ici de ne pas mettre un excès d'eau qui enlèverait au ciment toute son énergie.

### PULVÉRISATION DES ROCHES

**Concassage.** — Les roches commencent par être réduites en petits morceaux dans des concasseurs. Nous avons cité le concasseur Blake, celui de Gates et le broyeur Moustier à propos de la réduction en poudre des calcaires crus.

Les mêmes appareils peuvent servir pour le ciment cuit.

**Granulateurs. Préparateurs.** — Les roches grossièrement concassées ne pourraient être livrées ainsi aux appareils finisseurs, il faut les passer dans des préparateurs réduisant les morceaux concassés en grains uniformes passant à peu près au tamis N° 20.

On emploie quelquefois les cylindres lamineurs de la maison Nagel et Kaemp de Hambourg, constitués par deux cylindres en fonte dure coulée en coquille ou en acier spécial, l'un reposant sur coussinets fixes, et l'autre sur coussinets mobiles dans une glissière. Le cylindre mobile est ramené en contact avec le cylindre fixe au moyen de gros ressorts à boudin (fig. 101).

Cette disposition évite les accidents pouvant résulter du passage d'un morceau trop dur.

On superpose deux ou trois paires de cylindres semblables dont souvent l'écartement va en diminuant.

Ces cylindres ne sont plus employés qu'en Allemagne. En France, la faveur est toute au broyeur à boulets frappeurs de Schmidt, de Jenisch ou de Gruson qui reposent tous sur le même principe. Ces appareils permettent l'introduction des gros morceaux et, par suite, la suppression des concasseurs.

Ces appareils à boulets doivent être construits avec des matériaux de premier ordre.

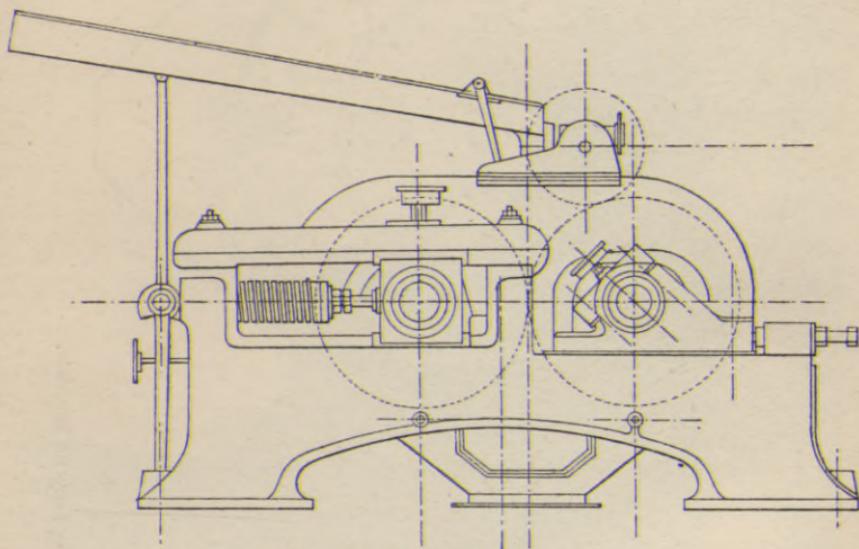


Fig. 101. — Cylindre lamineur.

**Broyeur Bourdais.** — En France, le broyeur Bourdais a obtenu aussi une grande faveur (fig. 102). Il se compose de deux tambours, l'un A composé de deux disques réunis par quatre rails en acier tournant à 1.000 tours par minute, et servant de broyeur.

L'autre B concentrique au précédent et portant des tôles perforées sert de bluterie et ne tourne qu'à 30 tours.

Le tout est enfermé dans une enveloppe métallique.

La matière à broyer tombe par une trémie T et vient tomber à la partie inférieure entre les deux tambours, le tambour bluteur les remonte et elles tombent par la gravité sur les rails animés de leur rotation rapide; elles sont broyées et projetées à nouveau sur les parois perforées du grand tambour. Les parties assez fines traversent et sont éliminées en C, les autres retombent sur les marteaux jusqu'à parfait broyage.



Cet appareil s'use très peu, dépense seulement cinq à six

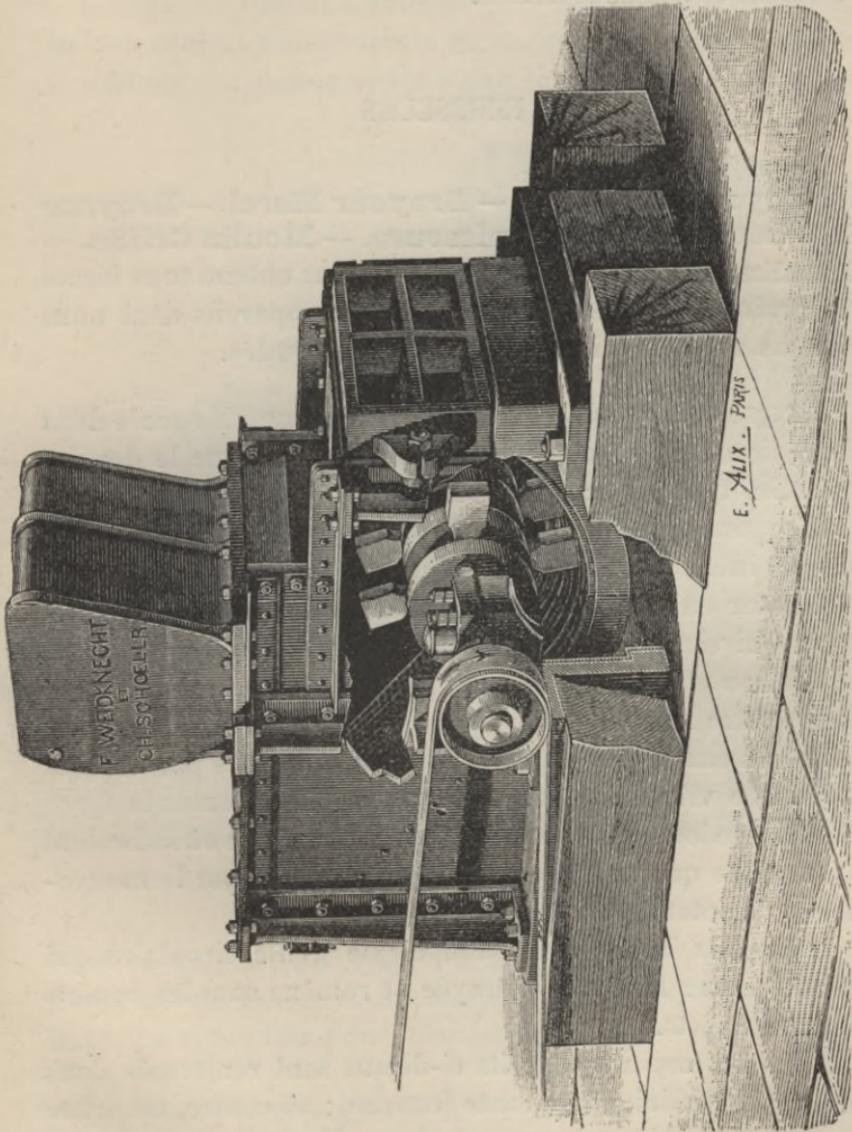


Fig. 403. — Broyeur Wednecht.

chevaux pour une production de 6.000 kilogrammes à l'heure.

Le broyeur Weidknecht (fig. 103) a été imaginé dans le même ordre d'idées que le broyeur Bourdais. Nous en donnons ci-dessus le dessin.

## FINISSEURS

**Broyeurs à boulets. — Broyeur Morel. — Broyeur le Phénix. — Tubes finisseurs. — Moulin Griffin. — Moulin Taylor.** — Une fois le ciment obtenu sous forme de grains à peu près réguliers par les appareils dont nous venons de parler, il faut le réduire en poudre.

**Broyeur Morel.** — Ce broyeur a eu un vif succès dans la région de Grenoble; nous ne décrivons que le dernier modèle, type vertical (fig. 104-105).

L'organe principal de ce broyeur est un bandage en acier creusé intérieurement suivant un arc de cercle, de façon à présenter en creux le même profil que les boulets sphériques qui viennent y écraser la matière à broyer.

Ces boulets, au nombre de quatre (plus ou moins), sont logés entre les bras d'un menard calé sur l'arbre horizontal placé au centre de l'appareil; ils sont entraînés par celui-ci avec une vitesse de 200 à 220 tours par minute; la force centrifuge les appuie dans la gorge du bandage où ils broient la matière que la force centrifuge y amène par le mouvement de rotation du menard.

Devant le bandage se trouve une grille circulaire qui laisse passer la matière broyée et ramène sous les boulets les gros rejets.

Tous les organes décrits ci-dessus sont renfermés dans un bâti cylindrique en fonte (conche); au centre, un arbre horizontal sur lequel se trouve la poulie de commande.

Le devant de la conche est fermé par un couvercle mobile portant une ouverture centrale garnie d'un conduit cylindrique qui amène la matière à broyer dans le menard;

sur le bâti se trouvent les organes de distribution : trémie et accessoires.

Lorsque l'appareil fonctionne, il y a aspiration d'air par le trou central du couvercle et projection contre le tamis.

Réduite en fumée épaisse par le broyage et entraînée

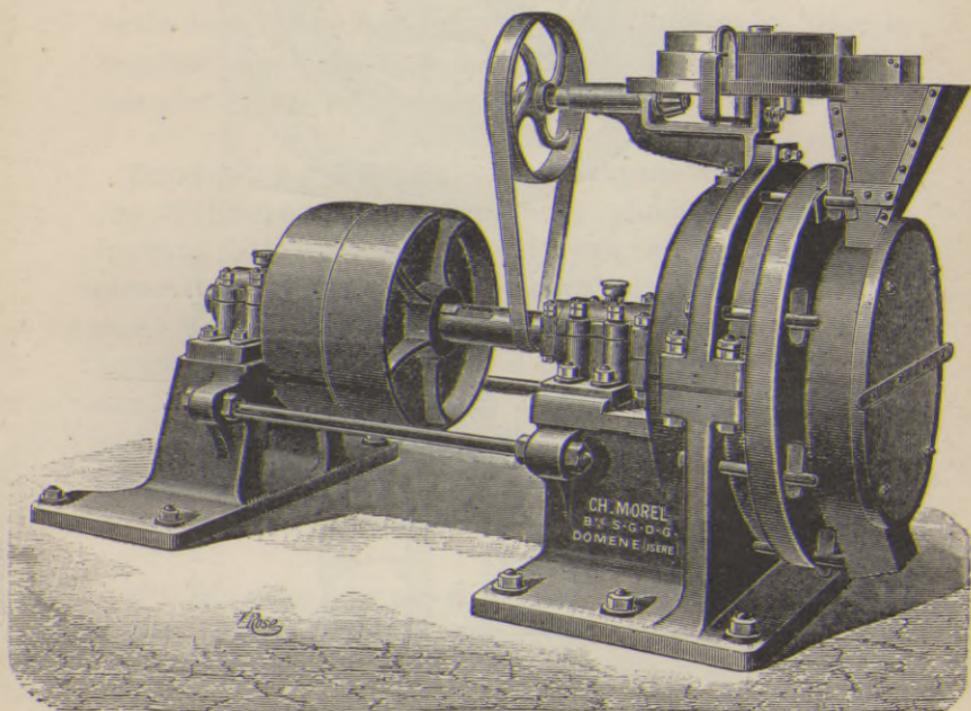


Fig. 104. — Broyeur Morel. (Élévation.)

dans ce mouvement à travers la grille, la mouture peut alors, suivant la disposition du local, être reçue directement dans un entonnoir pour être conduite dans un élévateur, silos, etc.

Les seules pièces qui s'usent au travail sont les boulets et le bandage, mais l'usure ne les déforme pas. Dans les premiers temps, au bout de six mois de travail par exemple, les boulets et le bandage se rôdent, le broyeur produit encore un travail plus parfait qu'au premier jour avec une

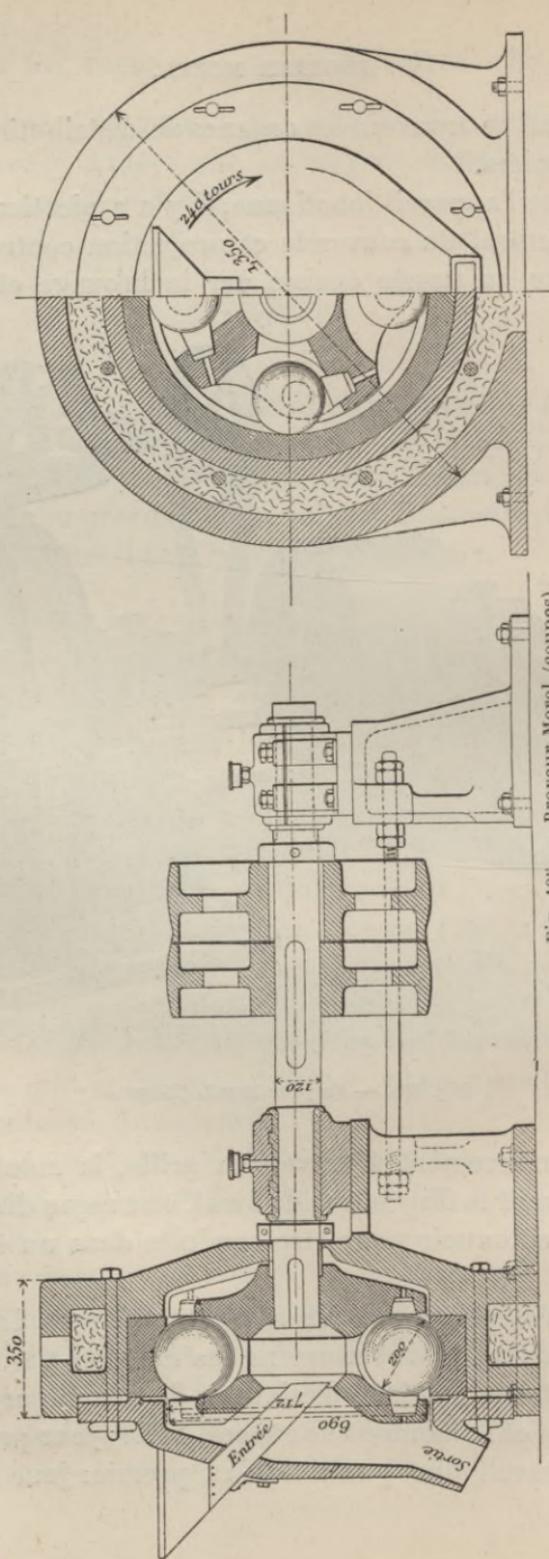


Fig. 103. — Broyeur Morel (coupes).

réduction notable dans la force motrice employée. Il continue alors à travailler dans de bonnes conditions jusqu'à l'usure complète de ces organes, qui sont ensuite faciles et peu coûteux à remplacer.

De nombreuses expériences ont établi que, pour le tamisage ordinaire à la toile n° 80, ce broyeur produit à force égale deux fois autant qu'une paire de meules et, pour la mouture impalpable au tamis 200, il produit trois ou quatre fois plus qu'une paire de meules.

**Broyeur Le Phénix.** — Le broyeur « *Le Phénix* » (fig. 106), se compose : 1° d'une cuve cylindrique A en fonte, formant bâti sur laquelle est fixé le mouvement de commande représenté sur le dessin par deux chaises-soutiens à paliers B C, recevant l'arbre vertical D et l'arbre horizontal E avec une paire d'engrenages d'angle F C et une poulie de commande H (disposition de mouvement variable suivant les installations). La cuve est munie d'un fond portant la crapaudine I et le pivot J de l'arbre vertical et des entonnoirs d'évacuation K sur son pourtour intérieur ;

2° D'une auge L en métal ou autre matière très dure, emboîtée à l'intérieur de la cuve en se profilant avec le fond et dans laquelle tournent les circonvertisseurs sphériques ;

3° De circonvertisseurs sphériques M en nombre variable en acier ou autre matière très dure, opérant le broyage dans l'auge ;

4° D'un disque propulseur N en acier ou tout autre matière très dure, calé sur l'arbre vertical, ayant la forme d'un tronc de cône à flancs paraboliques avec des alvéoles recevant les circonvertisseurs. Les alvéoles sont reliées par un rebord et des ouvertures O ménagées entre elles distribuent sur toute la périphérie la matière à broyer ;

5° D'une boîte à vent ou tuyère P disposée dans le fond de la cuve avec des lumières autour de l'arbre vertical ; la tuyère est reliée par un tuyau O à un ventilateur soufflant

ou à tout autre appareil producteur du vent sous pression;  
 6° D'un plateau conducteur R calé sur l'arbre vertical au-

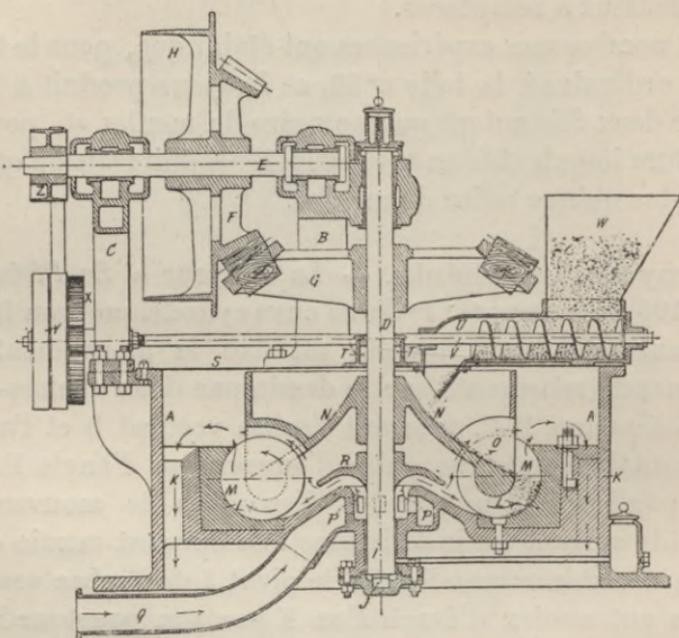


Fig. 406. — Eroyeur Le Phénix.

- |  |   |
|--|---|
| <b>A</b> , Cuve en fonte avec fond recevant l'auge.                                  | <b>N</b> , Disque propulseur à alvéoles en acier. |
| <b>B</b> , Chaise à arcade en fonte avec coussinet vertical et horizontal en bronze. | <b>O</b> , Ouvertures entre les alvéoles.         |
| <b>C</b> , Chaise support en fonte avec coussinet bronze.                            | <b>P</b> , Tuyère.                                |
| <b>D</b> , Arbre vertical en acier.  | <b>Q</b> , Tuyau d'arrivée du vent en fer.        |
| <b>E</b> , Arbre horizontal en acier.  | <b>R</b> , Plateau conducteur du vent en fonte.   |
| <b>F</b> , Engrenage vertical en fonte.  | <b>S</b> , Couverture en tôle.                    |
| <b>G</b> , Engrenage horizontal en fonte avec denture en bois.                       | <b>T</b> , Presse-étoupes en acier.               |
| <b>H</b> , Poulie de commande jumelée à l'engrenage vertical.                        | <b>U</b> , Cylindre en fonte de la vis.           |
| <b>I</b> , Crapaudine en bronze.   | <b>V</b> , Vis d'Archimède en acier.              |
| <b>J</b> , Pivot en acier.   | <b>W</b> , Trémie en tôle.                        |
| <b>K</b> , Entonnoirs d'évacuation.  | <b>X</b> , Engrenage et pignon en fonte.          |
| <b>L</b> , Auge en acier.  | <b>Y</b> , Poulies fixe et folle en fonte.        |
| <b>M</b> , Boulets en acier.   | <b>Z</b> , Tambour de commande en fonte.          |
- } Commande de la vis.

dessus de la tuyère dirigeant le vent sur toute la surface du fond et de l'auge de broyage;

7° D'un couvercle S en tôle, fermant la cuve avec un presse-étoupes T autour de l'arbre vertical;

8° Et d'un dispositif spécial de chargement continu faisant obturation à la poussière chassée par la soufflerie composé d'un cylindre U avec une vis d'Archimède V à l'intérieur conduisant la matière à broyer de la trémie W dans laquelle elle est versée sur le disque propulseur; la vis est actionnée par un mouvement à réduction de vitesse XYZ pris sur l'arbre horizontal de commande du broyeur.

*Fonctionnement.* — L'appareil étant mis en marche, la matière à broyer est amenée de la trémie W toujours remplie par la vis d'Archimède V, sur le disque propulseur N et par la rotation, elle est projetée par les ouvertures O sur la surface de l'auge de broyage L où les circonvertisseurs M, devant lesquels elle tombe, l'écrasent et la pulvérisent.

Le vent de la soufflerie sortant par les lumières de la tuyère P autour de l'arbre vertical, est rabattu par le plateau conducteur R sur le fond dont il vient lécher la surface ainsi que l'auge de broyage L. Une autre partie du vent s'échappe par l'espace compris entre les circonvertisseurs M et les alvéoles du disque propulseur N; ce courant vient rencontrer le premier qui tend à s'élever verticalement, ils se confondent et prennent la direction des entonnoirs d'évacuation K de la cuve, ainsi que l'indique les flèches du dessin.

La soufflerie étant convenablement réglée pour la matière à broyer, celle-ci, après sa projection sur le disque propulseur, se trouve en suspension dans le courant d'air produit à différentes hauteurs dans l'auge en raison de sa grosseur, de son poids ou densité, et reste soumise à l'action des circonvertisseurs jusqu'à sa réduction en poussière.

La poussière, au fur et à mesure de sa production, est entraînée par le vent et va tomber dans les entonnoirs d'évacuation K pour être recueillie ensuite.

Il en résulte un travail rationnel et une économie de

force dépensée, les parties lourdes de la matière à broyer tombant dans le bas de l'auge, ont tout son contour à parcourir pour être écrasées tandis que les parties légères et fines, se trouvant plus haut, ont à peine besoin d'être touchées par les circonvertisseurs pour être réduites en poussière et expulsées par la soufflerie.

La soufflerie a aussi pour résultat d'empêcher tout amas de matière sur le fond de la cuve, entre le disque propulseur déterminant par le frottement une usure et une dépense de forces considérable. De plus, le pivot est à l'abri de toute poussière et constamment refroidi.

**Tubes finisseurs.** — A notre avis, c'est au tube

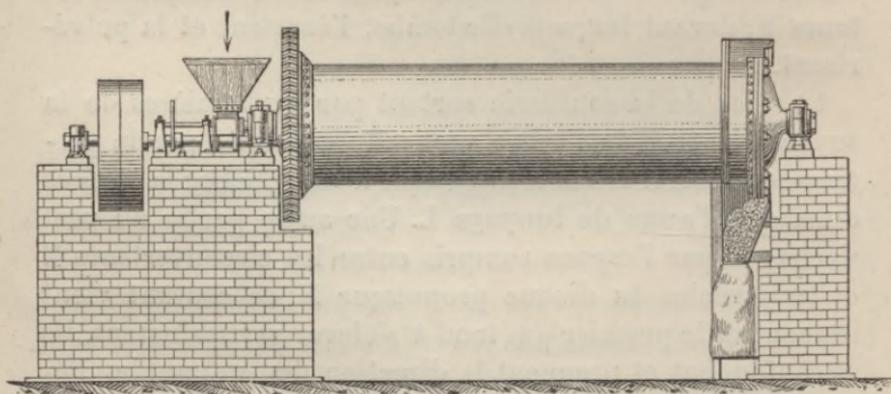


Fig. 407. — Tube finisseur.

broyeur (fig. 107) qu'il faut avoir recours pour le finissage du ciment granulé. Nous avons étudié cet appareil au sujet du broyage des grappiers. La maison Schmidt s'est assuré le monopole de la fabrication de ces appareils en poursuivant à outrance les imitateurs.

Appliqués au ciment artificiel, ces appareils, faisant 26 révolutions par minute, absorbent 30 chevaux de force. Ils peuvent donner 2.000 kilos de ciment à l'heure à une finesse correspondant à celle du tamis n° 100 pourvu que le ciment

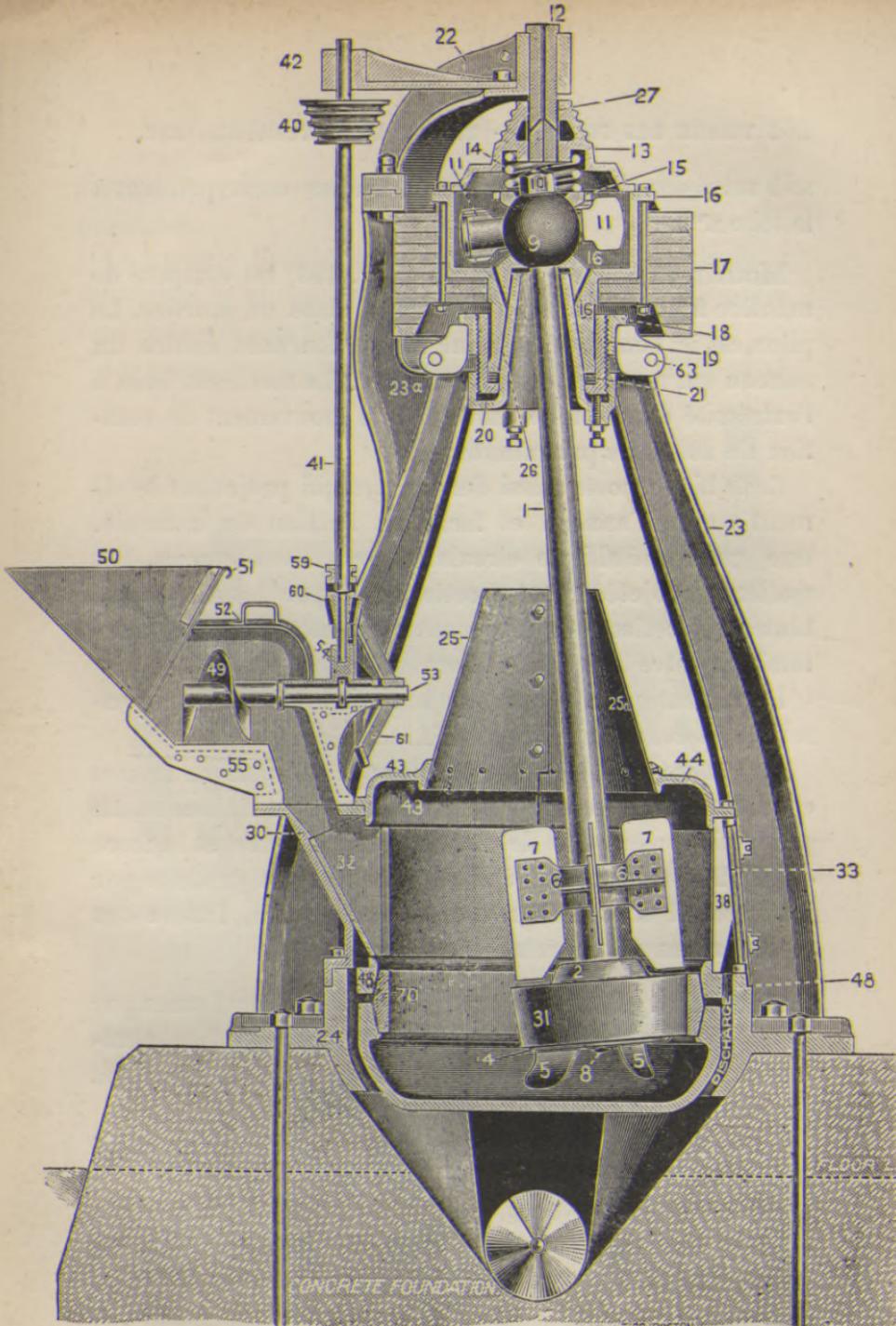


Fig. 108. — Moulin Griffin.

24, bac percé de trous d'évacuation, avec anneau 70, assujéti par l'anneau en forme de coin 48, contre lequel la pulvérisation s'opère par le roulement du galet 2, à bandage 31, solidaire du battant 1, articulé et suspendu en 9-10 au moyeu 16 de la poulie en bois 17, par les tourillons 11, dont les boîtes peuvent se déplacer verticalement dans 16-21, garniture antifriction supportant par la garde fileté 20, réglable en 21, le moyeu 16 sur les montants 23, à boulons 23. 14 ressort appuyant 9 sur 16-12, arbre reilé à 16 par le couvercle 13, à palier 22-23, et percé pour le graissage. 6-7, ventilateur aspirant l'air dans le cône 25-44, et projetant les poussières sur la toile métallique 38. 4-5, agitateur ramenant la matière sous le galet. 50, trémie à trappe 51 et regard 52, alimentant le broyeur par 55, 30, 32, au moyen de la vis 49, commandée, de 27, par le train 42, 40, 41, 61, 53, avec embrayage à friction 59, 60 empêchant tout accident.

soit versé dans ces appareils à la finesse correspondant à la toile n° 20.

**Moulin Griffin.** — Ce moulin (fig. 108) est composé de manière à agir à la façon d'un pilon dans un mortier. Le pilon est ici remplacé par une meule tournant contre un anneau qui représenterait le mortier. La meule est fixée à l'extrémité d'une bielle animée d'un mouvement de rotation de 200 tours par minute.

Cette bielle porte aussi des ailettes qui projettent le ciment contre l'anneau et facilitent l'action de la meule. Une grille métallique circulaire surmonte l'anneau. Les matières projetées contre cette grille par les ailettes se blutent et celles dont la grosseur est encore trop forte retombent entre la meule et l'anneau.

Le ciment qui a traversé la bluterie tombe sous l'appareil et est évacué par des vis d'Archimède.

Le ciment doit être livré à cet appareil dans les mêmes conditions de grosseur que pour les tubes finisseurs. La production n'est que de 1.500 kilos à l'heure et la force exigée 25 chevaux. La trépidation et le bruit produits par cet appareil sont désagréables; d'autre part, l'usure des pièces en œuvre est relativement grande.

**Moulin Taylor.** — Ce moulin est fabriqué en France par la maison Fryer. Il se compose d'un arbre vertical commandant une table tournante sur laquelle sont disposées des platines circulaires en acier (fig. 109).

Une série de galets soutiennent un ergot circulaire placé sous la table et empêchent toute déviation.

L'arbre vertical porte de plus une came sur laquelle agissent des boîtes formant supports articulés pour les arbres des meules. De cette façon, les meules ont deux mouvements, l'un de rotation et l'autre de va-et-vient sur toute la largeur de la platine de la table tournante.

Les quatre meules ont 1<sup>m</sup>,05 de diamètre, pèsent 2.000 kilos et sont en métal spécial. Leurs supports sont de plus

appuyés par des ressorts, de façon à leur donner plus de puissance.

La matière broyée est projetée au dehors par la force centrifuge et blutée. Les morceaux, insuffisamment broyés, sont ramenés sous les meules.

Un pareil moulin coûte environ 8.000 francs, et fait envi-

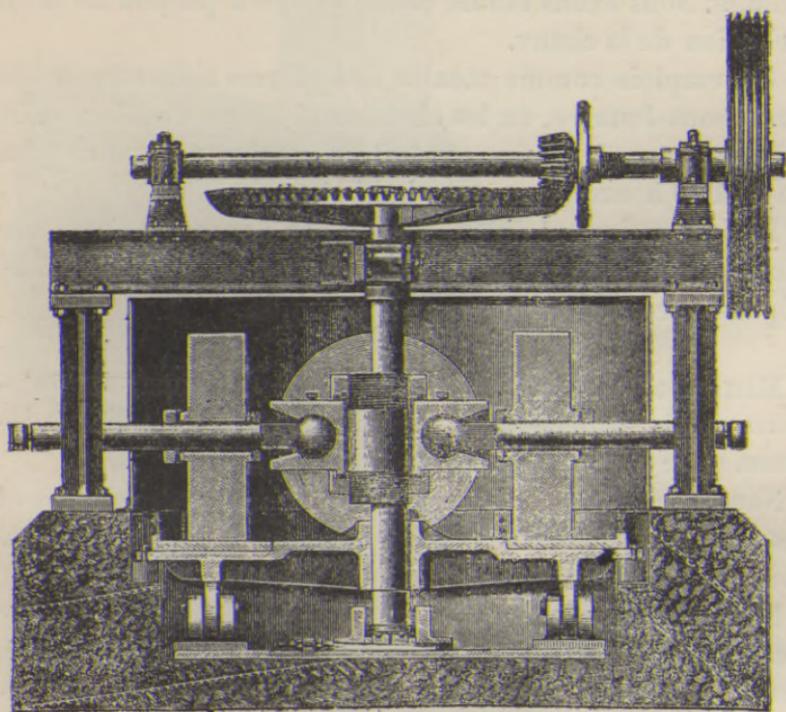


Fig. 109. — Moulin Taylor.

ron 2.000 kilos à l'heure avec une dépense de 30 chevaux.

Son avantage est surtout dans l'économie d'entretien qui, si le graissage est bien fait, ne dépasse pas 0,25 par tonne de ciment fabriqué, tandis que pour certains broyeurs cet entretien monte jusqu'à 2 francs par tonne.

**Moulins ordinaires.** — Malgré la multitude d'appareils perfectionnés dont nous venons de passer en revue les principaux, les moulins ordinaires sont encore très employés

soit seuls, soit concurremment avec un tube finisseur. La raison en est que ce sont les moulins qui donnent le plus de poussière impalpable.

On emploie en général des meules de 1<sup>m</sup>,30 de diamètre tournant à 120 tours ou de 1<sup>m</sup>,40 tournant à 110 tours. Il faut compter que sur trois moulins il y en a toujours un au rhabillage. Nous avons étudié ce rhabillage à propos de la fabrication de la chaux.

On emploie comme meules des pierres siliceuses de La Ferté-sous-Jouarre, en les choisissant bien « éveillées ». Un moulin, même très bien conduit, ne peut pas marcher plus de 36 à 40 heures sans être rhabillé.

La production est de 1.000 kilos par heure. La force employée est extrêmement et à chaque instant variable. Elle dépasse rarement 30 chevaux par moulin.

**Blutage.** — Les ciments à la sortie des appareils finisseurs sont parfois blutés, néanmoins avec les tubes finisseurs, cette opération n'est pas indispensable.

Nous avons étudié, à propos des chaux hydrauliques et des matières crues, la plupart des appareils de blutage. Nous n'y reviendrons pas.

Nous signalerons toutefois que l'on tend à exiger des ciments de plus en plus fins. Il est démontré, en effet, que la partie active du ciment est celle qui passe par le tamis n° 200 (5.000 mailles) et que tout ce qui reste sur le tamis n° 80 (900 mailles), peut être considéré comme matière inerte.

**Ensilage des ciments Portland.** — L'ensilage d'un ciment artificiel bien fabriqué n'a que peu d'intérêt. Nous conseillons de laisser les roches reposer pendant 8 jours à l'air humide, ou tout au plus en les arrosant très légèrement, avant de les passer au moulin.

Si, au moment de la mouture, on obtenait au laboratoire de l'usine une prise par trop vive avec une légère tendance

au gonflement, on peut y porter remède en ajoutant aux roches, au moment de leur passage au premier broyeur, une quantité de 0,5 à 1 p. 100 de gypse cru.

Le ciment s'expédie en sacs de 50 kilos, ou en barils de

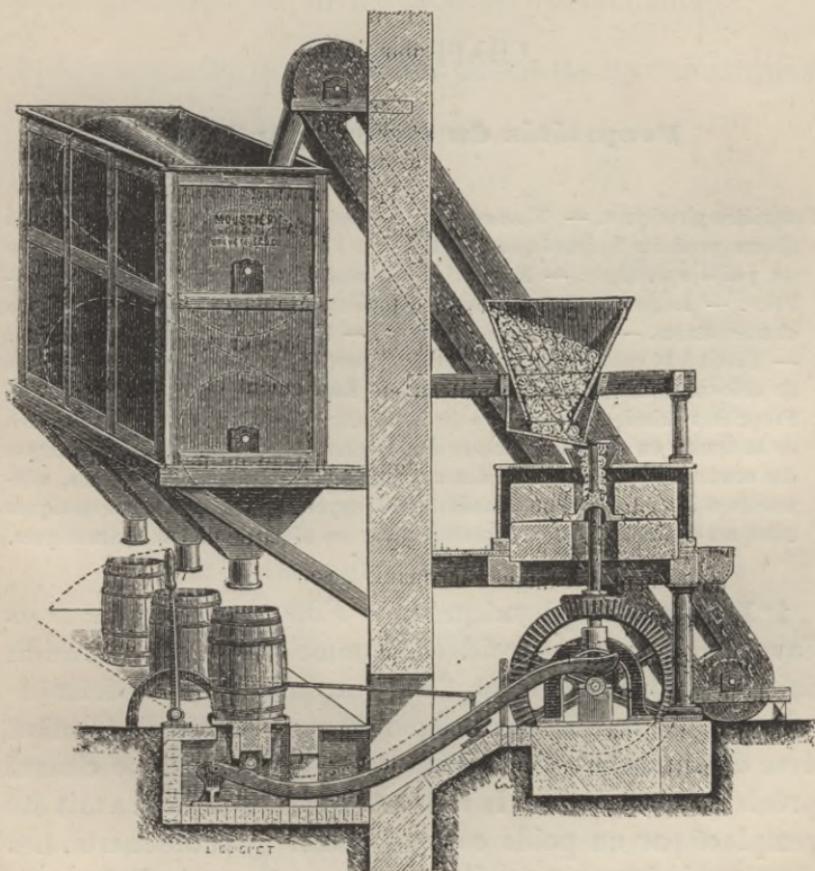


Fig. 110 — Embarilleur Moustier.

90, 180, 200, 250 et 300 kilos.

Nous donnons ici le dessin (fig. 110) d'un embarilleur qui nous a donné d'excellents résultats et qui permet d'emmagasiner dans un baril environ 10 p. 100 de plus que les embarilleurs ordinaires à came. Son prix est de 200 francs.

## CHAPITRE XIV

### Propriétés du ciment portland.

Propriétés physiques. — Finesse, poids spécifique. — Poids spécifique des divers produits hydrauliques. — Essais à l'iodure de méthyle. — Mesure du poids spécifique. — Appareil Le Chatelier. — Densité apparente. — Prise. — Règles de la commission des méthodes d'essai. — Règles suisses et allemandes. — Briquettes de mortier. — Essais de rupture par traction. — Essais à la compression. — Porosité, perméabilité, adhérence. — Essais de déformation, essais à l'eau de mer. — Essais chimiques. — Analyses. — Propriétés chimiques. — Règles de M. Le Chatelier pour la limite supérieure de la teneur en chaux. — Action des cendres des combustibles. — Analyse des cendres. — Composition des ciments artificiels : français, anglais, allemands et belges, d'après M. Candlot. — Composition particulière de quelques marques de ciment. — Comparaison entre les divers produits hydrauliques.

**1° Propriétés physiques.** — *Finesse.* Ainsi que nous l'avons dit, on peut considérer comme inerte tout le résidu du blutage à la toile n° 80. Ce fait a été prouvé expérimentalement en faisant des briquettes pour essais de traction avec des ciments : 1° gâchés purs ; 2° avec le même ciment préalablement bluté à la toile n° 80 et où le résidu avait été remplacé par un poids correspondant de sable inerte. Les deux essais donnent sensiblement les mêmes résultats.

Il faut donc s'attacher à avoir des ciments dont la mouture soit parfaite. En pratique, on doit obtenir :

Refus à la toile n° 50 . . . . .	0 p. 100
— — 80 (900 mailles) 5 à 10	p. 100
— — 200 (4.900 mailles)	30 p. 100 au maximum.

*Poids spécifique.* — Le poids spécifique doit être au mi-

nimum de 3,00. Ce poids spécifique étant indépendant du degré de cuisson, on peut dire que tout ciment dont le poids spécifique est inférieur à 3, peut être soupçonné de falsification par addition de matières étrangères. Nous empruntons à l'ouvrage de M. Candlot la série suivante des poids spécifiques des divers produits hydrauliques :

### Poids spécifique de divers produits hydrauliques.

Ciments Portland artificiels	Ciment français. . . . .	3,067
	id. . . . .	3,173
	id. . . . .	3,110
	id. . . . .	3,095
	id. . . . .	3,144
	Ciment belge. . . . .	3,053
	id. . . . .	3,123
	id. . . . .	3,105
	Ciment allemand. . . . .	3,076
	id. . . . .	3,105
	id. . . . .	3,060
	Ciment anglais . . . . .	3,125
	Ciment à prise rapide. . . . .	2,950
	id. . . . .	3,000
	Ciment mixte demi-lent. . . . .	2,996
	id. lent. . . . .	2,985
	id. demi-lent. . . . .	2,907
	id. lent. . . . .	2,923
	Ciment Portland naturel très lent . . . . .	3,007
	id. demi-lent. . . . .	3,012
Ciment de grappiers . . . . .	2,932	
id. . . . .	2,940	
id. . . . .	2,923	
Chaux du Teil. . . . .	2,764	
Chaux de Beffes. . . . .	2,691	
Ciment de laitier . . . . .	2,747	
id. . . . .	2,759	
id. . . . .	2,717	
id. . . . .	2,761	

**Essai à l'iodure de méthyle.** — On voit, par l'examen du tableau précédent, que le poids spécifique du ciment artificiel est toujours supérieur à 3, tandis que le poids

spécifique des ciments de laitier dont l'addition constitue la fraude la plus fréquente n'est pas supérieur à 2,7.

Si donc on agite un poids déterminé de ciment soupçonné avec une solution d'iodure de méthyle dont la densité est de 2,93; le ciment ira au fond de l'éprouvette et les matières étrangères, laitiers ou autres, surnageront. Leur pourcentage donnera le pour cent de matières étrangères mélangées au ciment.

**Mesure du poids spécifique.** — La mesure du poids spécifique d'un ciment se fait au moyen de l'appareil imaginé par MM. Le Chatelier et Candlot.

« Cet appareil présente les dispositions suivantes (fig. 111) :  
 « une fiole de 150 centimètres cubes de capacité environ est  
 « surmontée d'un col étroit de 20 centimètres de longueur;  
 « à la partie supérieure existe un renflement d'une capacité  
 « de 20 centimètres cubes; un trait est gravé au-dessous du  
 « renflement et un autre immédiatement au-dessus; le volume  
 « entre ces deux traits est très exactement de 20 centimètres  
 « cubes. A partir du trait supérieur le col est gradué de 0 à  
 « 3 centimètres cubes par  $\frac{1}{10}$  de centimètre cube. Le dia-  
 « mètre du col est de 0,009 environ. La longueur du col entre  
 « la fiole et le renflement doit être de 10 centimètres. »

Pour déterminer la densité d'une poudre à l'aide de cet appareil, on peut opérer de deux façons :

1° On remplit la fiole de benzine jusqu'au trait inférieur, puis, après avoir pesé exactement 64 grammes de poudre, on introduit celle-ci dans la fiole à l'aide d'un entonnoir; la tige de l'entonnoir descend dans le col de l'appareil jusqu'à quelques millimètres au-dessus du premier trait; de cette façon, la poudre, en tombant, ne peut pas s'agglomérer sur les parois du col et l'obstruer; d'autre part, les deux traits étant très voisins du renflement, il n'y a jamais à craindre que l'introduction de la poudre dans la fiole soit arrêtée par suite d'une obstruction du tube au-dessus de la benzine, comme cela se produit avec le volumètre de Schumann.

Quand le niveau de la benzine approche du trait supérieur, on verse la poudre avec précaution et par très petites quantités à la fois, on

continue jusqu'à ce que l'on ait obtenu l'affleurement; on pèse ce qui reste de poudre; le poids trouvé est retranché des 64 grammes, et la différence représente le poids de poudre contenu dans 20 cm<sup>3</sup>; en divisant ce poids par 20, on a la densité de l'agglomérant.

5° L'opération s'exécute de la même manière que précédemment, mais, au lieu d'arrêter de verser la poudre quand la benzine affleure au trait supérieur du col, on l'introduit en totalité dans l'appareil; le niveau de la benzine atteint une des divisions comprises entre 0 et 3 cm<sup>3</sup>, on a ainsi un poids de poudre dans 20 cm<sup>3</sup> +  $n \frac{1}{10}$  de centimètre cube et on divise ce poids par le volume observé.

Avec la première manière d'opérer, on peut toujours prendre 64 grammes de poudre, quel que soit l'agglomérant à essayer; dans le second cas, on doit prendre un poids différent selon la densité probable du produit. Avec les ciments Portland dont la densité est supérieure à 3,0, on prendra 64 grammes; avec les ciments naturels, les ciments de grappier et les ciments de laitier, ce sera 60 grammes, et enfin 57 grammes seulement pour les produits dont la densité est inférieure à 2,7.

Pendant toute l'opération, on maintient la fiole dans l'eau; il ne reste à l'air que la partie supérieure; les erreurs

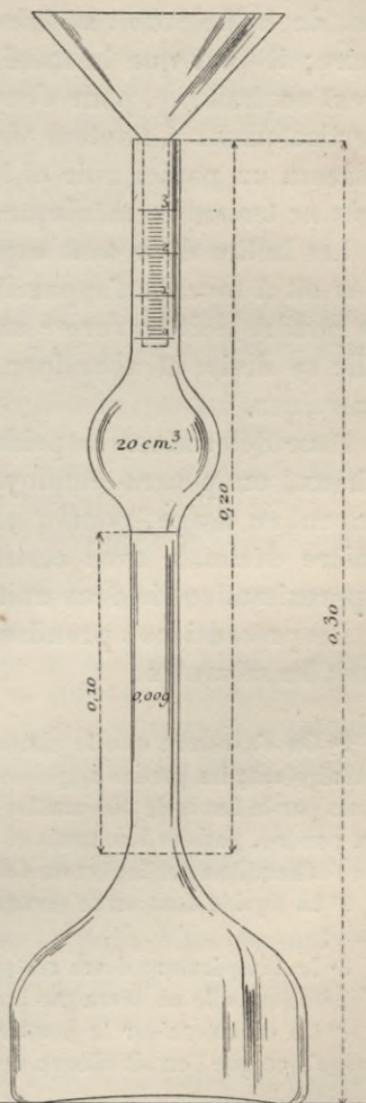


Fig. 411. — Appareil Le Chatelier pour la mesure du poids spécifique.

dues aux variations de température sont ainsi complètement évitées.

L'affleurement de la benzine aux traits gravés sur le col de la fiole doit se faire avec toute la précision nécessaire; il faut que le ménisque soit bien exactement tangent au trait, et, pour s'en assurer, on doit placer la fiole verticalement à hauteur de l'œil, et, derrière le trait, on placera un papier noir et blanc permettant de distinguer très nettement le ménisque.

Les bulles d'air sont expulsées complètement sans que l'on ait à toucher l'appareil; grâce à la longueur du col, la poudre doit traverser une grande hauteur de benzine; elle se divise et abandonne les bulles d'air qu'elle a pu entraîner.

Pour déterminer le poids spécifique des ciments et des chaux, on pourra employer l'une des méthodes actuellement en usage, pourvu qu'elle permette d'obtenir la première décimale avec certitude et la deuxième avec une approximation de deux unités de cet ordre.

Les précautions à prendre dans l'exécution de l'expérience sont les suivantes :

1° On s'assurera que le ciment ou la chaux est bien franchement pulvérulent; les parties agglomérées par l'humidité, qui seraient retenues par le tamis de 900 mailles par centimètre carré, seront réduites en poudre, passées à ce tamis et mélangées intimement avec la totalité de l'échantillon sur lequel on doit faire l'essai;

2° Le liquide dont on se servira sera la benzine ou l'essence minérale;

3° La température devra rester constante pendant toute la durée de l'opération; elle ne devra pas être supérieure à 15 degrés;

4° On exécutera sur la poudre à essayer deux ou plusieurs essais, jusqu'à ce que l'on ait obtenu des résultats concordants.

**Densité apparente.** — La densité apparente doit être comprise entre 1,000 et 1,200; la mesure de cette densité se fait ainsi que nous l'avons indiqué pour les chaux.

La Commission des méthodes d'essais a adopté l'appareil dont nous donnons ici le dessin (fig. 112).

a) Cet appareil se compose d'un entonnoir vertical, dont la section circulaire a  $0^m,02$  de diamètre à la base et  $0^m,15$  de diamètre à une hauteur de  $0^m,15$  au-dessus de cette base, hauteur à laquelle est placée une tôle perforée de 1050 trous environ, de  $0^m,002$  de diamètre par décimètre carré. L'entonnoir se prolonge par un ajutage cylindrique de  $0^m,02$  de diamètre et de  $0^m,10$  de hauteur. L'appareil est supporté par un bâti en forme de trépied.

b) On placera tout d'abord la mesure à  $0^m,05$  en contre-bas de l'extrémité inférieure de l'ajutage.

On versera ensuite le ciment dans l'entonnoir, par petites masses de 300 à 400 grammes, que l'on forcera à passer par le tamis en y promenant une spatule en bois de  $0^m,04$  de largeur.

On arrêtera le remplissage quand la base du cône qui se sera élevé peu à peu au-dessus de la mesure, en aura atteint le bord supérieur. On enlèvera alors l'excès de ciment, en faisant glisser sur ce bord une lame bien droite, tenue dans un plan vertical.

Pendant toute l'opération, on n'aura fait subir à la mesure aucune trépidation ni aucun choc.

c) On adoptera comme poids du litre la moyenne des résultats obtenus dans cinq opérations successives.

d) Il est utile de faire porter les essais sur le ciment tel qu'il est livré et sur la fine poussière ayant passé au tamis de 4.900 mailles. Dans tous les cas, on indiquera, en même temps que la densité apparente, le degré de finesse de mouture de l'échantillon sur lequel on aura opéré.

**Prise.** — La prise d'un bon ciment portland doit être complète au bout de deux heures.

Les essais se font toujours sur la pâte pure normale et dans les conditions suivantes fixées par la commission des méthodes d'essais :

A. — a) Pour confectionner la *pâte normale de ciment*, on opérera sur un kilogramme de ciment, qu'on étalera sur une table de marbre, en formant une couronne au centre de laquelle on versera, d'un seul coup, le volume d'eau nécessaire pour satisfaire aux conditions ci-après.

Suivant la nature des essais, cette eau pourra être, soit de l'eau potable, soit de l'eau de mer.

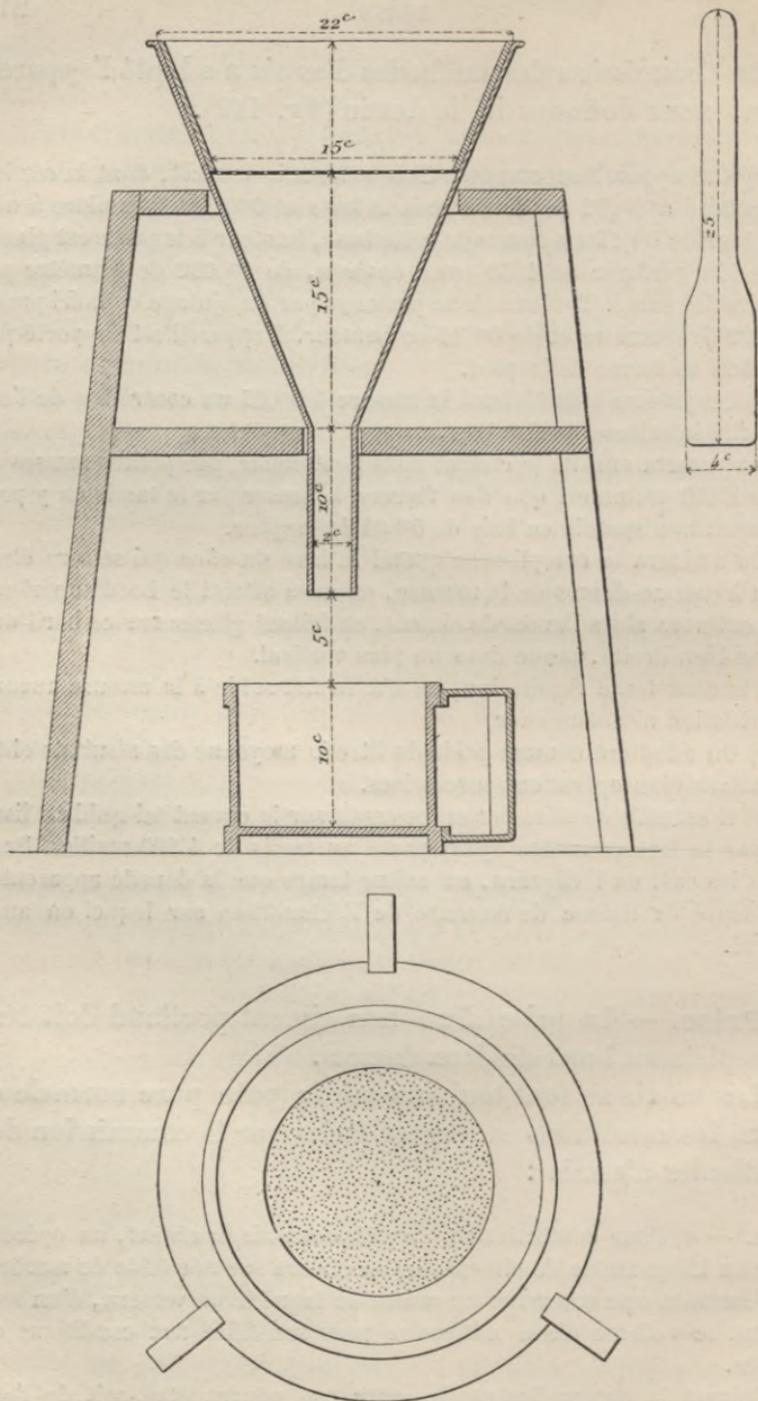


Fig. 112. — Entonnoir à tamis de la Commission des méthodes d'essai.

Le mélange sera gâché fortement à la truelle pendant cinq minutes, comptées à partir du moment où l'eau aura été versée.

b) Avec une partie de la pâte obtenue, on emplira immédiatement une boîte métallique à fond plat, de forme tronconique, ayant  $0^m,08$  de diamètre à la base inférieure,  $0^m,09$  à la base supérieure et  $0^m,04$  de profondeur; on lissera la surface en faisant glisser la truelle sur le bord supérieur du moule et en évitant tout tassement et toute trépidation.

c) Au centre de la masse ainsi formée, on fera descendre normalement à la surface de la pâte, avec précaution, et sans lui laisser acquérir de vitesse, une sonde cylindrique de  $0^m,010$  de diamètre et du poids de 300 grammes, en métal poli, propre et sèche, terminée par une section nette et d'équerre. L'appareil, dit *sonde de consistance*, devra être construit de manière à pouvoir indiquer exactement l'épaisseur de pâte restant entre le fond de la boîte et l'extrémité inférieure de la sonde. On ne fera jamais deux essais sur la pâte contenue dans une même boîte.

d) On considérera comme *normale* la pâte dont la consistance sera telle que l'épaisseur de la couche restant entre le fond de la boîte et l'extrémité de la sonde, au moment où celle-ci cessera de s'enfoncer sous l'action de son propre poids, sera de 6 millimètres.

B. — Pour les ciments à prise rapide, la quantité de ciment sur laquelle on opérera sera réduite à 500 grammes, et la durée du gâchage à une minute.

Le gâchage du ciment pur, la détermination de la consistance normale, et l'essai de la prise se font de la manière suivante en Suisse et en Allemagne :

(Prescriptions normales de M. Tetmayer. — Décisions des conférences de Dresde et de Munich.) *Conditions de la prise.* — Les matériaux hydrauliques connus dans le commerce sont à prise prompte, moyenne ou lente.

Ceux dont le durcissement commence dans les quinze minutes qui suivent le gâchage doivent être désignés comme prenant rapidement.

Lorsque le commencement du durcissement a lieu au bout de soixante minutes, le produit dont il s'agit doit être considéré comme une matière hydraulique à prise lente. Les produits à prise moyenne se rangent dans les limites ci-dessus.

*Remarques.* — Pour déterminer les conditions de la prise d'un produit hydraulique, on se sert d'une aiguille normale pesant 300 grammes et ayant une section de  $1\text{ mm}^2$ . On gâche 400 grammes de matière avec

une quantité d'eau correspondant à sa consistance normale déterminée d'avance.

La pâte est brassée énergiquement avec une spatule en forme de cuiller pendant 3 minutes pour les produits à prise lente et demi-lente, et 1 minute pour les produits à prise prompte, puis introduite dans un moule (en forme d'anneau) que l'on pose sur une plaque de verre. On place ensuite celle-ci sous l'appareil contenant l'aiguille normale, et on observe le moment où l'aiguille n'est plus capable de pénétrer complètement sa masse. Ce moment constitue le *commencement du durcissement*, et il est d'une importance très grande dans la question de la prise parce que les produits hydrauliques doivent être gâchés avant le commencement du durcissement, si l'on ne veut pas s'exposer à leur faire perdre de leur force.

Tout produit hydraulique peut être considéré comme ayant fait prise lorsque le durcissement est arrivé au point où l'aiguille normale ne laisse plus d'empreinte sur la surface du moule décrit ci-dessus.

Le temps nécessaire à la production de ce phénomène s'appelle *durée de la prise*. Cette dernière a une importance technique secondaire; toutefois, dans son rapport avec le commencement de la prise, elle caractérise la nature d'un produit, et devrait être par conséquent toujours déterminée et indiquée.

On se sert également de l'appareil à aiguille pour déterminer la consistance de la pâte normale d'un produit hydraulique; ceci se fait en introduisant dans l'appareil, à la place de l'aiguille, un cylindre métallique d'un centimètre de diamètre et d'un poids de 300 grammes.

Le moule dans lequel on introduit la pâte dont il s'agit de déterminer la consistance, correspond à celui qu'on emploie dans l'appareil à aiguille et doit être fait en caoutchouc durci, de 4 centimètres de hauteur et de 8 centimètres de diamètre.

Pour déterminer cette consistance normale, on brasse 400 grammes de matière, d'une manière analogue à ce qui se fait pour les essais de prise, avec une quantité d'eau approximativement choisie jusqu'à ce que l'on obtienne une pâte résistante avec laquelle on remplit le moule de l'appareil sans le secouer.

Après avoir lissé la surface de la pâte, on y introduit avec soin le cylindre servant à mesurer la consistance. S'il reste suspendu d'environ 5 millimètres au-dessus de la surface inférieure du moule, on peut considérer la consistance de la pâte comme normale.

La prise des matériaux hydrauliques dépendant de la température de l'air et de celle de l'eau avec laquelle ils sont gâchés, en ce sens que des températures plus élevées ou plus basses accélèrent ou diminuent le temps de la prise, il faut toujours faire les essais à une température moyenne de 15° centigrades, soit pour l'air, soit pour l'eau.

En ce qui concerne la prise des pâtes de ciment les conclusions de la commission sont les suivantes :

A. — a) Les essais de prise des pâtes de ciment comporteront la détermination du *début* et de la *fin de la prise*.

b) Au moment du gâchage, les températures du ciment, de l'eau et de l'air, devront être comprises entre 15 et 18 degrés centigrades.

Immédiatement après sa confection, la pâte sera, avec les précautions indiquées précédemment, introduite et dérasée dans une boîte semblable à celle décrite au même paragraphe (A, b).

Aussitôt remplie, la boîte sera immergée dans un bac contenant de l'eau dont la température sera maintenue entre 15 et 18 degrés. La boîte ne sera extraite du bac que pendant le temps nécessaire pour chaque constatation.

c) On emploiera, pour les essais, une aiguille en métal, dite *aiguille Vicat*, cylindrique, lisse, propre, sèche, terminée par une section nette et d'équerre d'un millimètre carré (diamètre 1<sup>mm</sup>,13), et pesant 300 grammes.

On appellera *début de la prise*, l'instant où cette aiguille, descendue normalement à la surface de la pâte, avec précaution, et sans qu'on lui laisse acquérir de vitesse, ne pourra plus pénétrer jusqu'au fond de la boîte.

On appellera *fin de la prise*, l'instant à partir duquel la surface de la pâte pourra supporter la même aiguille, sans qu'elle y pénètre d'une quantité appréciable.

Les durées correspondantes seront comptées à partir du moment où l'eau de gâchage aura été mise au contact du ciment.

d) Dans le cas où l'on voudra déterminer la prise dans l'air, on opérera comme il vient d'être indiqué, à cette différence près que la boîte, aussitôt remplie, sera maintenue dans l'air à une température comprise entre 15 et 18 degrés; on aura soin de vider, au fur et à mesure, l'eau qui pourra remonter à la surface de la pâte et s'en séparer.

B. — L'*essai normal* de prise portera sur la pâte normale de ciment immergée ainsi qu'il est dit ci-dessus (A, b).

C. — Les dispositions qui précèdent s'appliquent aux ciments à prise rapide comme aux ciments à prise lente.

**Briquettes de mortier.** — Le cahier des charges de M. Guillain fixe ainsi la manière d'opérer pour les briquettes de mortier.

A. — a) Pour la confection des mortiers normaux, on fera usage du

sable naturel provenant de la plage de Leucate (Aude), convenablement tamisé, qui sera dit *sable normal*.

On emploiera suivant les cas, ainsi qu'il est expliqué ci-dessous, le *sable normal simple* et le *sable normal composé*.

b) Le *sable normal simple* sera formé de grains ayant passé au tamis en tôle perforée de trous de 1<sup>m</sup>,5 de diamètre et ayant été retenu par le tamis à trous de 1 millimètre.

c) Le *sable normal composé* sera formé par un mélange par poids égaux des sables ci-après :

N° 1, dont les grains ayant passé au tamis de 1 millimètre, ont été retenus par le tamis de 0<sup>mm</sup>,5.

N° 2, dont les grains ayant passé au tamis de 1<sup>mm</sup>,5, ont été retenus par le tamis de 1 millimètre.

N° 3, dont les grains ayant passé au tamis de 2 millimètres, ont été retenus par le tamis de 1<sup>mm</sup>,5.

B. — a) Il sera fait usage pour les essais autres que ceux de rupture, d'un *mortier normal plastique*, et, pour les essais de rupture, d'un *mortier normal sec*.

b) Les *mortiers normaux* seront dosés en poids à raison de une partie de ciment pour trois parties de sable et seront gâchés, suivant la nature des essais, à l'eau potable ou à l'eau de mer.

On opérera sur un kilogramme de matières (250 grammes de ciment et 750 grammes de sable) qu'on mélangera intimement à sec. Ensuite, sur une table de marbre, on formera une couronne au centre de laquelle on versera, d'un seul coup, la quantité d'eau à employer, et le mélange sera gâché fortement à la truelle pendant 5 minutes.

c) Pour la confection du *mortier normal sec*, on emploiera du sable normal simple. La quantité d'eau employée au gâchage sera de 45 grammes augmentée du sixième de celle nécessaire pour amener 1 kilogramme de ciment à l'état de pâte normale de ciment.

d) Pour la confection du *mortier normal plastique*, on emploiera du sable normal composé. La quantité d'eau employée au gâchage sera telle que le mortier obtenu ait une consistance plastique (1).

Pour s'assurer que cette consistance est bien réalisée, on emploiera, avec une partie du mortier obtenu, la boîte métallique destinée aux essais de consistance, et on dérasera et lissera la surface à la truelle; la consistance sera considérée comme satisfaisante si, après le lissage, le mortier ressue légèrement sous l'effet de quelques coups de truelle frappés sur les côtés de la boîte.

C. — Pour le ciment à prise rapide la quantité de matières sur laquelle

(1) Dans un grand nombre de cas, cette quantité est celle nécessaire pour confectionner le *mortier normal sec*, augmentée de 15 grammes.

on doit opérer sera réduite à 500 grammes, et la durée du gâchage à une minute.

D. — On recommande, pour les essais des mortiers autres que les essais normaux, d'employer, de préférence à tous autres, les dosages en poids de 1 partie de ciment pour 2 de sable normal (mortiers riches) et 1 partie de ciment pour 5 de sable normal (mortiers maigres). Le premier de ces dosages est particulièrement utile pour les ciments à prise rapide en vue de compléter les renseignements fournis par le mortier normal dosé 1 : 3.

Ayant placé sur un support inébranlable une plaque de marbre ou de métal poli, on y déposera les moules préalablement bien nettoyés et humectés. On pèsera 125 grammes de ciment et 375 grammes de sable, que l'on mélangera intimement à sec dans une capsule avec une spatule. On y ajoutera la quantité d'eau de mer nécessaire (soit 60 centimètres cubes), puis on remuera fortement toute la masse avec la spatule pendant cinq minutes, comptées à partir du moment où l'eau aura été versée. On obtiendra ainsi un mortier ayant l'aspect de la terre humide fraîchement remuée. Ce mortier sera introduit d'une seule fois dans les moules, en quantité suffisante pour qu'il fasse encore saillie au-dessus des bords, après le damage.

On damera le mortier dans le moule avec une petite massette du poids d'environ 200 grammes (fig. 113), d'abord à petits coups répétés, sur le pourtour de la briquette, puis au centre; on frappera ensuite plus énergiquement, en suivant toujours le même chemin, et on continuera le damage jusqu'à ce que la masse commence à prendre un peu d'élasticité et sue l'eau à la surface. On enlèvera alors le trop-plein du moule avec une lame de couteau bien droite, et on lissiera la surface en promenant le couteau appuyé sur les bords du moule.

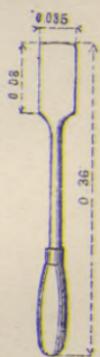


Fig. 113. —  
Spatule.

**Essais de rupture par traction. Préparation des éprouvettes.** — Les règles de la Commission des essais sont les suivantes :

A. —a) Pour les essais de rupture par traction, on fera usage d'éprouvettes en forme de 8, dites *briquettes normales*, ayant une section au milieu de 3 centimètres carrés, du type défini par le croquis ci-dessus (fig. 114).

b) Les moules, présentant en creux la forme des briquettes (fig. 115), seront placés sur une plaque de marbre ou de métal poli, après avoir été, ainsi que la plaque, bien nettoyés et frottés d'un linge gras.

On remplira d'une même gâchée six moules à la fois, s'il s'agit de ciment à prise lente et quatre s'il s'agit de ciment à prise rapide, en mettant du premier coup, dans chaque moule, assez de matière pour qu'elle déborde. On tassera avec le doigt pour ne laisser aucun vide, et on frappera quelques coups de truelle sur les côtés du moule pour compléter le tassement et faciliter le dégagement des bulles d'air. Puis, on dérasera en faisant glisser une lame de couteau bien droite, presque

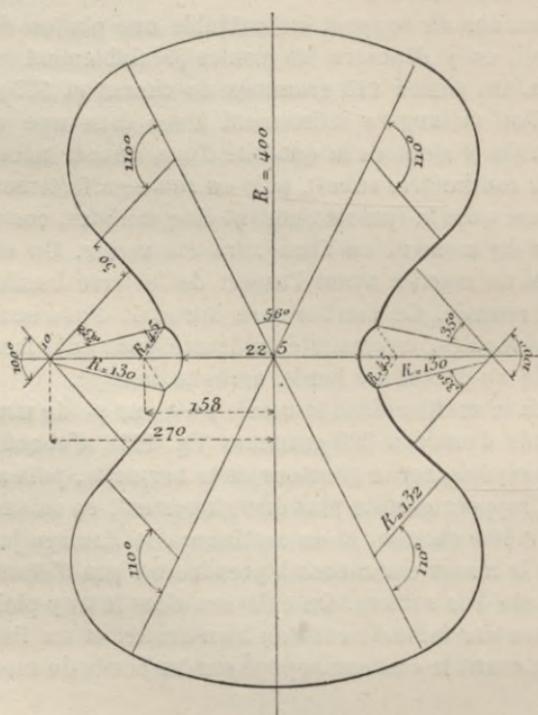


Fig. 114. — Brique de traction

horizontalement sur les bords du moule, de manière à enlever tout l'excédent, sans exercer aucune compression. On procédera enfin au lissage de la surface en y promenant le couteau, appuyé toujours sur les bords.

Si l'on opère sur de la pâte de ciment, on attendra, pour déraser, qu'elle ait pris une consistance suffisante.

c) On procédera au démoulage en faisant glisser les moules sur la plaque, en les desserrant et en les éloignant des briquettes sans les soulever, au bout de 24 heures comptées à partir du commencement

du gâchage et avant, s'il est nécessaire, au cas où la prise serait certainement terminée.

Dans tous les cas, pendant ce délai de 24 heures, les briquettes seront conservées sur leur plaque, dans une atmosphère saturée d'humidité, à l'abri des courants d'air et des rayons directs du soleil, à une température comprise, autant que possible, entre 15° et 18°. Le délai de 24 heures sera réduit à 1 heure pour les pâtes de ciment à prise rapide et à 3 heures pour les mortiers du même ciment.

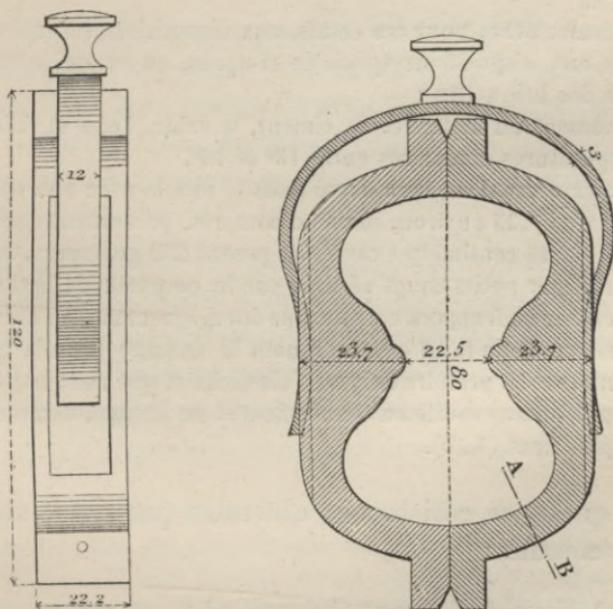


Fig. 115. — Moule pour éprouvettes à traction.

d) Il est recommandé de peser les briquettes après le démoulage, si l'on veut s'assurer de la régularité de leur confection.

e) A l'expiration des délais fixés ci-dessus au paragraphe (c), on exposera les briquettes dans le milieu choisi pour leur conservation.

Si les briquettes sont immergées dans l'eau douce, la profondeur de l'eau dans le bac ne dépassera pas un mètre, et cette eau sera renouvelée toutes les semaines.

Si elles sont immergées dans l'eau de mer, le renouvellement aura lieu tous les deux jours pendant la première semaine et ensuite toutes les semaines. Pendant la première semaine, le volume occupé par l'eau dans le bac devra être égal à 4 fois, au moins, celui des briquettes.

(On spécifiera dans tous les cas la nature de l'eau de conservation.)

Si les briquettes sont conservées à l'air, l'état hygrométrique sera tenu aussi voisin que possible de la saturation, et elles seront placées à l'abri des courants d'air et des rayons directs du soleil.

La température du milieu (eau ou air) sera maintenue, autant que possible, entre 15° et 18°.

B. — *a)* Les *essais normaux* de rupture par traction porteront sur la *pâte normale de ciment* et sur le *mortier normal sec*, conservés dans l'eau douce.

On se conformera, pour ces essais, aux dispositions générales ci-dessus (A) et aux dispositions spéciales ci-après, en ce qui concerne la confection des briquettes :

*b)* Au moment du mélange, le ciment, le sable, l'eau et l'air seront à des températures comprises entre 15° et 18°.

Le mortier normal sec sera damé dans le moule avec une spatule en fer longue de 0<sup>m</sup>,35 environ, manche compris, présentant une surface de battage de 25 centimètres carrés et pesant 250 grammes. On procédera d'abord par petits coups répétés sur le pourtour de la briquette, puis au centre; on frappera ensuite plus énergiquement, en suivant toujours le même chemin, et en continuant le damage jusqu'à ce que la masse commence à prendre un peu d'élasticité et que l'eau sue à la surface. On procédera ensuite au dérasement et au lissage, comme il a été expliqué plus haut (A, *b*).

Voici quelques résistances obtenues par des ciments de marque comme :

**Ciment Mombel Bossart (Bruxelles) :**

Après 7 jours. . . . .	31 <sup>k</sup> ,06
27 — . . . . .	35,08

**Ciment Demarle et Lonquéty de Boulogne :**

Ciment pur. Après 7 jours. . . . .	42 <sup>k</sup> ,98
28 — . . . . .	56,27
Mortier 1 : 3. Après 7 jours. . . . .	19,05
28 — . . . . .	29,82

**Ciment Romain Boyer. La Bedoule :**

Après 7 jours. . . . .	19 <sup>k</sup> ,00
27 — . . . . .	30 <sup>k</sup> ,00

## Ciment Candlot, usine de Dennemont, près Mantes :

Ciment pur. Après 7 jours. . . . .	51 <sup>k</sup> ,07
28 — . . . . .	57 <sup>k</sup> ,02
Mortier 1 : 3. Après 7 jours. . . . .	21 <sup>k</sup> ,09
28 — . . . . .	29 <sup>k</sup> ,07

Les appareils de rupture de briquettes ont été décrits par nous au sujet des essais des chaux.

**Essais à la compression.** — Les essais à la compression se font au moyen de l'appareil Schickert, dont nous avons parlé au sujet des essais des chaux, ou mieux avec l'appareil Amsler Laffon, de Schaffouse.

Les cubes de mortier employés ont exactement 7 centimètres de côté.

Il faut que les essais à la compression soient exécutés sur des mortiers identiques à ceux qui ont servi pour les essais à la traction. C'est ce but qu'a poursuivi la commission des essais en conseillant de faire les essais à la compression sur les demi-briquettes provenant des essais à la traction. Voici à ce sujet les prescriptions de la Commission :

A. — a) Pour les essais de rupture par compression, on prendra comme éprouvettes les demi-briquettes séparées par la traction. Chaque demi-briquette sera écrasée isolément, mais on totalisera les résultats fournis par les deux demi-briquettes jumelles dont la surface totale est de 31 cent. <sup>2</sup> 3.

A défaut de demi-briquettes, on pourra se servir d'éprouvettes cylindriques de 45 millimètres de diamètre et de 22 millimètres de hauteur, confectionnées et conservées comme les briquettes destinées aux essais de rupture par traction.

b) Les éprouvettes qui présenteront des rugosités ou des soulèvements apparents, seront aplanies par un léger frottement à la main sur une table de grès.

c) L'appareil de rupture sera disposé de telle sorte que l'effort de compression puisse croître d'une manière continue, et amener l'écrasement d'une demi-briquette au bout de une à deux minutes.

d) Les essais seront faits aux époques fixées pour ceux de rupture par traction, et porteront, comme eux, sur une série de six briquettes.

e) Les résultats seront produits pour les six éprouvettes doubles (deux demi-briquettes jumelles) soumises aux essais; en même temps, on formulera leur moyenne et on signalera les anomalies.

On exprimera les résultats en disant que « la résistance à l'écrasement mesurée en opérant sur des demi-briquettes normales en 8 est de tant de kilogrammes par centimètre carré.

### Porosité. Perméabilité. Adhérence. — Règles de la Commission des essais.

I. *Porosité.* — A. La porosité d'une pâte ou d'un mortier a pour mesure le rapport du volume des vides que présente cette pâte ou ce mortier, au volume apparent total, le vide comprenant le volume occupé par l'eau d'imbibition et par l'eau hygrométrique, à l'exclusion de l'eau de combinaison qui fait évidemment partie du plein.

Si l'on appelle  $V$  le volume apparent total,  $v$  le volume du plein, la porosité est donnée par la formule :

$$\text{Porosité} = \frac{V - v}{V}$$

B. — a) Pour déterminer la porosité, on opérera sur des éprouvettes ayant, autant que possible, un volume apparent compris entre 0,30 et 0,50.

b) Le volume plein ( $v$ ) s'obtiendra en prenant la différence ( $P - p$ ), du poids de l'éprouvette sèche pesée dans l'air ( $P$ ) et du poids de l'éprouvette imbibée d'eau, pesée dans l'eau ( $p$ ).

Pour réaliser l'imbibition complète, on maintiendra l'éprouvette pendant un quart d'heure dans l'air raréfié à une pression ne dépassant pas 25 millimètres de mercure et on fera arriver de l'eau sur l'éprouvette jusqu'à son immersion complète, en conservant le même degré de vide. Une fois l'éprouvette recouverte d'eau, on laissera la pression atmosphérique se rétablir et on attendra 24 heures avant de faire la pesée qui doit donner ( $p$ ).

A défaut de moyen convenable pour raréfier l'air, on produira l'imbibition par l'action de l'eau bouillante, quand les mortiers pourront supporter cette action sans inconvénient. A cet effet, on laissera l'éprouvette le pied dans l'eau pendant 48 heures; au bout de ce temps, on l'immergera complètement dans l'eau froide qui sera portée à l'ébullition et maintenue ensuite au même état pendant deux heures. Puis on laissera refroidir sans sortir l'éprouvette et on fera, au bout de 24 heures, la pesée qui doit donner ( $p$ ).

Pour obtenir la dessiccation de l'éprouvette, on la maintiendra, jus-

qu'à ce qu'elle ne perde plus de poids, dans une étuve chauffée entre 40 et 50 degrés. Le poids final mesuré sera (P). Pour cette opération, on évitera avec soin la pénétration dans l'étuve de l'acide carbonique provenant des produits de la combustion de l'appareil de chauffage.

Pour certains produits, la dessiccation effectuée dans ces conditions pourra laisser encore un peu d'eau hygrométrique ou, au contraire, enlever un peu d'eau combinée, ce qui laisse subsister une légère incertitude sur les valeurs trouvées pour la porosité.

e) Le volume apparent de l'éprouvette (V) peut s'obtenir par des mesures directes, si elle présente une forme géométrique. Dans le cas contraire, on mesurera ce volume en prenant la différence entre les poids de l'éprouvette posée dans l'eau et dans l'air, son état d'imbibition étant resté le même. Pour assurer la constance de cet état d'imbibition, on enduira l'éprouvette d'une mince couche de suif fondu qui sera posée au pinceau et étendue avec le doigt. On aura soin de faire la pesée dans l'eau avant la pesée dans l'air.

C. — a) L'essai normal de porosité portera sur le mortier normal plastique âgé de 28 jours, conservé dans l'eau.

b) Pour les essais qui seraient faits sur des mortiers d'âge et de composition différents, on recommande d'employer de préférence des mortiers plastiques dosés à 1 : 2 et à 1 : 5 âgés de 7 jours, 28 jours, 3 mois, 6 mois, 1 an...

c) Dans tous les cas, on indiquera le dosage, l'âge et le mode de conservation du mortier soumis aux essais.

II. *Perméabilité.* — A. — a) La perméabilité des pâtes et mortiers sera exprimée par le nombre de litres d'eau écoulés à l'heure, à travers un bloc cubique de 50 centimètres carrés de face, dans les conditions ci-après :

b) L'eau destinée aux filtrations sera amenée par un tube de verre de 0<sup>m</sup>,35 de diamètre et de 0<sup>m</sup>,11 de hauteur, scellé verticalement à l'aide de ciment pur, sur la face supérieure du bloc posé en délit, préalablement repiquée pour mettre le mortier bien à vif. Le tube, fermé à sa partie supérieure par un bouchon en caoutchouc, sera mis en communication avec un réservoir élevé au niveau correspondant à la charge d'eau. On adoptera pour cette charge, suivant la perméabilité des mortiers, celle des hauteurs de 0<sup>m</sup>,10, 1 mètre, 10 mètres, qui permettra de procéder à des constatations faciles.

c) Avant d'être mis en expérience, le bloc sera immergé dans un bac pendant 48 heures avec les précautions nécessaires pour arriver à une imbibition aussi complète que possible.

Une fois mis en expérience, le bloc sera maintenu immergé sur toute sa hauteur.

d) Le volume écoulé à l'heure sera constaté après 24 heures, 7 jours, 28 jours, 3 mois...

e) Les constatations porteront sur trois blocs semblables; on donnera les résultats moyens correspondant seulement aux deux blocs les plus concordants.

En même temps qu'on exprimera la perméabilité aux diverses époques (24 heures, 7 jours, 28 jours, 3 mois, etc.), on aura soin de faire connaître les charges ( $0^m,10$ , 1 ou 10 mètres) sous lesquelles on aura opéré.

B. — a) L'essai normal de perméabilité portera sur le mortier normal plastique âgé de 28 jours, conservé dans l'eau.

b) Pour les essais qui seraient faits sur des mortiers d'âge et de composition différents, on recommande d'employer, de préférence, des mortiers plastiques dosés à 1 : 2 et à 1 : 5 âgés de 7 jours, 28 jours, 3 mois, etc...

c) Dans tous les cas, on indiquera le dosage, l'âge et le mode de conservation du mortier soumis aux essais.

Pour les essais d'adhérence, dit M. Candlot, on emploie un moule dont la partie supérieure permet d'obtenir une éprouvette demi-cylindrique pouvant être introduite dans les griffes de l'appareil de traction. Il se termine par une partie droite à section carrée de  $0^m,03 \times 0^m,0333$  et de  $0^m,02$  de hauteur. A la partie inférieure du moule et sur  $0^m,01$  de hauteur, la section est un peu plus grande, soit  $0^m,031 \times 0^m,340$ ; un petit bloc de bronze de même dimensions se place dans cette partie du moule qu'il remplit exactement.

Pour préparer les pièces d'adhérence, c'est-à-dire les blocs sur lesquels on appliquera plus tard le mortier à essayer, on laisse le bloc de bronze au fond du moule, et on remplit celui-ci de mortier comprimé fortement. Le mortier est composé d'une partie de ciment portland passé au tamis de 900 mailles et de deux parties d'un sable normal préparé à l'aide de tamis de 144 et 324 mailles. On obtient ainsi un mortier qui, après avoir fait prise, présente un grain serré, uniforme, et que l'on peut dresser facilement; avec le sable normal ordinaire, il se trouve presque toujours sur la surface des trous produits par

suite de l'arrachement de grains de sable mal agglomérés.

Les blocs d'adhérence peuvent être démoulés immédiatement; on les laisse vingt-quatre heures à l'air, puis on les maintient immergés dans de l'eau douce jusqu'au moment de l'essai et au moins pendant vingt-huit jours.

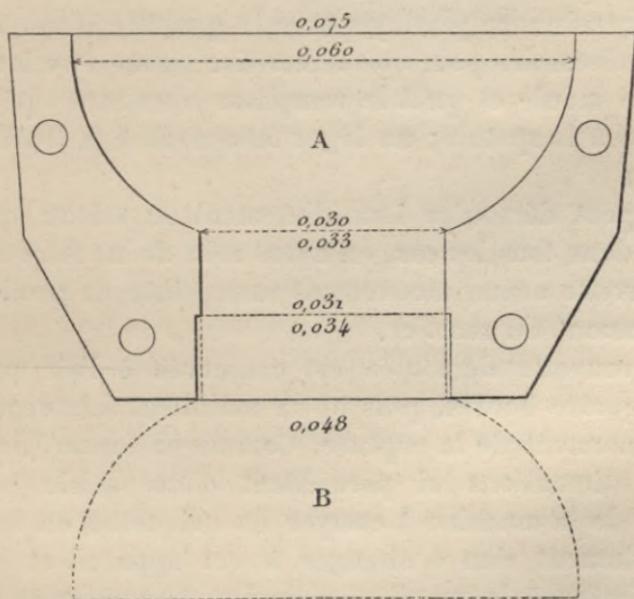


Fig. 116. — Moule pour essais d'adhérence.

A, Mortier à essayer. — B, Pièce en mortier faite d'avance sur laquelle on place le moule.

Quand on veut faire une expérience, on les laisse sécher et on dépolit la surface qui doit recevoir le mortier d'essai avec du papier émeri n° 3.

Pour confectionner une éprouvette pour essai d'adhérence, on se sert du même moule, mais on enlève le bloc en bronze et on le remplace par un bloc d'adhérence que l'on introduit dans le moule en le plaçant sens dessus dessous (fig. 116); si on n'avait pas laissé à cette partie du moule une plus grande largeur, on n'aurait pu intro-

duire le bloc de mortier qu'après avoir usé les faces latérales, ce qui eût demandé un travail assez considérable.

On remplit ensuite le moule avec le mortier d'essai. Celui-ci est composé de une partie de ciment ou de chaux et de deux parties de sable normal, à moins que l'on ne désire expérimenter d'autres dosages. On gâche le mortier à consistance plastique avec la quantité d'eau strictement nécessaire pour que le mortier puisse être introduit dans le moule et qu'il le remplisse bien sans opérer de battage à la spatule; un léger tassement à la truelle doit suffire.

On peut démouler immédiatement ou mieux après la prise, dans tous les cas, en ayant soin de ne faire subir à l'éprouvette aucun mouvement susceptible de produire le décollement du mortier.

L'éprouvette démoulée est conservée à l'air pendant vingt-quatre heures, puis on la maintient immergée jusqu'au moment de la rupture. Comme sa forme (fig. 117) et ses dimensions lui permettent d'être saisie par les griffes de la machine à essayer les briquettes en 8, il n'y a absolument rien à changer à cet appareil et la rupture s'opère à la manière ordinaire. L'expérience se fait donc très simplement et n'exige qu'un matériel très restreint.

On peut exécuter avec la même facilité les essais destinés à étudier l'adhérence du mortier à des matières de différente nature.

Si l'on avait à essayer du marbre, par exemple, il suffirait de faire tailler un bloc de  $0,03 \times 0,033$  de largeur et d'une épaisseur quelconque; une des faces seulement serait dressée. Cette pièce serait mise dans le fond du moule, le bloc de bronze étant en place, puis on remplirait le moule avec du ciment pur; une fois le ciment pris, on aurait un bloc d'adhérence dont la surface à utiliser serait constituée par la matière à essayer.

### Règles de la Commission des méthodes d'essais pour les essais d'adhérence.

1° L'essai normal destiné à comparer la force d'adhérence des divers agglomérants hydrauliques se fera de la manière suivante :

*a)* On préparera des blocs d'adhérence, composés d'une partie de ciment portland artificiel de la meilleure qualité, passé au tamis de 900 mailles, et de deux parties de sable quartzeux (obtenu par le concas-

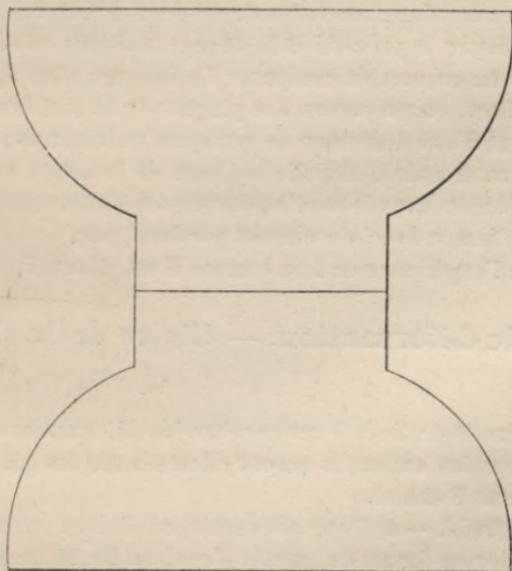


Fig. 117. — Éprouvette pour essais d'adhérence.

sage du quartz bluté à l'aide de tôles perforées de 1 millimètre et de 0<sup>mm</sup>,50). Provisoirement on pourra employer pour le blutage du sable quartzeux les tamis de 144 et 324 mailles qui correspondent à très peu près aux tôles perforées de 1 millimètre et 0<sup>mm</sup>,50.

Le mortier sera gâché avec 9 p. 100 d'eau et comprimé très fortement dans le moule. Les blocs d'adhérence seront immergés dans l'eau douce au bout de vingt-quatre heures et ils y séjourneront jusqu'au moment de l'emploi et au moins pendant vingt-huit jours. Quand on voudra les utiliser, on les laissera sécher, puis on passera la surface d'adhérence au papier d'émeri.

*b)* Le mortier à essayer sera composé d'une partie de ciment ou de chaux pour deux de sable normal, en poids. Le mortier sera gâché à

consistance de pâte plastique, en ayant soin d'éviter l'excès d'eau; il sera introduit dans le moule sans battage, par un simple tassement à la truelle.

Le démoulage se fera une fois la prise complètement terminée.

On fera un nombre d'éprouvettes suffisant pour en rompre six à chaque période de rupture.

Après vingt-quatre heures et, dans tous les cas, après la prise, les éprouvettes seront immergées; elles seront rompues aux dates fixées pour les essais de résistance à la traction.

2° Si l'on désire exécuter des essais avec des blocs d'adhérence composés de sables ou d'agglomérants de différentes natures, il est recommandé d'employer le procédé et le dosage indiqués en *a*.

Dans le cas où on voudra comparer l'adhérence d'un agglomérant à diverses matières, on préparera des plaques de la matière à essayer de  $0,03 \times 0,033$  et d'une épaisseur de quelques millimètres; une des faces seulement sera dressée et dépolie toujours de la même manière. Cette plaque sera placée dans le moule pour essais d'adhérence, et on achèvera le remplissage avec du ciment portland pur.

Le reste de l'expérience se fera comme il est dit en *b*.

### **Essais de déformation.** — Règles de la Commission des essais.

A. — Les essais destinés à reconnaître les déformations déterminées par la présence des expansifs seront effectués sur les pâtes de ciment, soit à froid, soit à chaud.

B. *Essais à froid.* — *a*) Pour ces essais, on étalera sur une plaque de verre le mortier en forme de galette d'environ  $0^m,10$  de diamètre et de  $0^m,02$  d'épaisseur, amincie sur les bords.

Immédiatement après leur confection, les galettes destinées aux essais dans l'eau seront immergées dans les mêmes conditions que les éprouvettes servant aux essais de rupture.

Les galettes destinées aux essais à l'air y seront également exposées dans les conditions indiquées pour les éprouvettes servant aux essais de rupture.

On notera l'état des galettes au bout des périodes de temps admises pour ces essais (7 jours, 28 jours, 3 mois, 6 mois, 1 an, 2 ans, etc.).

*b*) Si l'on veut mesurer les gonflements que subissent les pâtes de ciment par l'effet d'une immersion prolongée dans l'eau froide, on pourra employer des baguettes de  $0^m,80$  de longueur à section carrée de  $0^m,12$  de côté, que l'on placera verticalement dans un tube de verre de  $0^m,025$  rempli d'eau.

L'allongement sera accusé par le déplacement, sur un cadran, d'une

aiguille actionnée par une tige, que l'on aura scellée à l'extrémité supérieure de la baguette.

C. *Essais à chaud.* — a) On emploiera, pour ces essais, des éprouvettes cylindriques de  $0^m,030$  de diamètre et de  $0^m,30$  de hauteur, confectionnées dans des moules en métal d'une épaisseur de  $0^{mm},5$ . Ils seront fendus suivant une génératrice et porteront, soudées de chaque côté de la fente, deux aiguilles de  $0^m,150$  de longueur; la variation de l'écartement des extrémités de ces deux aiguilles donnera la mesure du gonflement (fig. 117 bis).

b) Les moules, aussitôt remplis, seront immergés dans l'eau froide. Une fois la prise terminée et dans un délai qui n'excédera pas vingt-quatre heures au delà de cette prise, la température de l'eau sera éle-

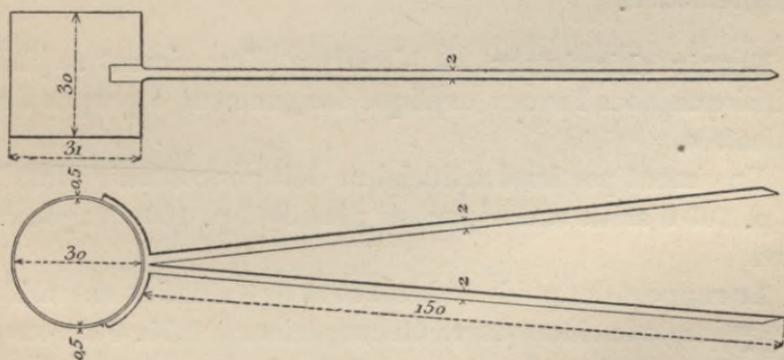


Fig. 117 bis. — Appareil Le Chatelier pour essais à l'eau chaude.

vée progressivement à  $100^{\circ}$  en un temps qui devra être compris entre un quart d'heure et une demi-heure.

La température de  $100^{\circ}$  sera maintenue pendant 6 heures consécutives et on laissera ensuite refroidir pour faire les mesures finales.

c) *Nota.* — Cette méthode d'essai à chaud n'est pas applicable aux ciments à prise rapide.

D. — Les *essais normaux* de déformation porteront sur la pâte normale de ciment.

E. — La commission émet le vœu que des expériences prolongées pendant plusieurs années et portant sur un grand nombre d'échantillons de ciments, notamment de ciments à prise rapide, soient entreprises en vue de fournir des données plus complètes que celles dont on dispose actuellement quant aux essais comparatifs de déformation exécutés à chaud et à froid.

**Essais à l'eau de mer.** — La commission des essais a

fixé la composition d'une eau de mer artificielle pour les essais qui se font dans des laboratoires où il est difficile sinon impossible de se procurer de l'eau de mer naturelle. Cette composition est la suivante :

NaCl Chlorure de sodium.....	30 gr.
MgOSO <sup>3</sup> 7HO Sulfate de magnésie cristallisé.....	5 gr.
MgCl6HO Chlorure de magnésium cristallisé...	6 gr.
CaOSO <sup>3</sup> 2HO Sulfate de chaux hydraté.....	1, 5.
KOHO <sup>2</sup> CO <sup>2</sup> Bicarbonate de potasse.....	0, 2.
Eau de pluie.....	1000.

Cette composition correspond à peu près à celle de la Méditerranée.

**Essais chimiques.** — L'analyse d'un ciment se fait ainsi que nous l'avons expliqué longuement à propos des calcaires.

Un ciment portland artificiel ne doit pas contenir plus de 1 p. 100 d'acide sulfurique, ni plus de 4 p. 100 d'oxyde de fer.

Le rapport des poids de la silice et de l'alumine ensemble au poids de la chaux devra être supérieur à 0,44. On trouve dans le commerce des ciments artificiels dont l'indice d'hydraulicité monte jusqu'à 0,60. Dans ce dernier cas, ou bien la fabrication n'a pas été surveillée par le laboratoire ou encore ils proviennent de l'adjonction d'une trop forte quantité de poussières toujours très siliceuses aux roches bien cuites. Dans ces ciments à haut indice la prise est plus rapide que dans les bons Portland.

**Réaction chimique de la cuisson.** — Le ciment cuit doit sa propriété de durcir au silicate tricalcique SiO<sup>2</sup>3CaO. La réaction qui se passe dans le four, sans être bien connue, peut néanmoins s'expliquer ainsi.

A la température d'environ 800°, l'acide carbonique est chassé et la chaux demeurée libre réagit sur l'alumine et l'oxyde de fer pour donner des aluminates et des ferrites de chaux.

A mesure que la température s'élève, la silice réagit à son tour, et chasse de ses combinaisons le fer et l'alumine pour donner le silicate tricalcique. S'il y a un excès de chaux, il peut se former de l'aluminate tricalcique. La réaction à l'intérieur du four est favorisée par le fait que l'aluminate et le ferrite peuvent être considérés comme de véritables fondants, et permettent à la silice d'atteindre tous les points de la masse. Il se forme toujours une certaine quantité de silicate multiple qui, dans la suite, forme matière inerte.

Comme conséquence de ces réactions, nous voyons que si, dans le mélange cru, la proportion d'argile est insuffisante, il y aura après cuisson un excès de chaux libre et les ciments seront sujets au gonflement.

Si, au contraire, il y a une trop forte proportion d'argile, les ciments auront un excès de silicates multiples et en particulier d'aluminate de chaux. Ce dernier a pour conséquence d'augmenter la rapidité de prise, et les silicates multiples étant matière inerte empêcheront ce ciment d'avoir toutes les qualités de résistance d'un ciment bien dosé, où tous les éléments sont actifs et concourent au durcissement.

Il est moins dangereux de se trouver dans le cas d'un excès d'argile que dans celui d'un excès de chaux ; c'est pourquoi les fabricants, tout en se rapprochant le plus possible du dosage 19 d'argile pour 81 de carbonate de chaux, restent sensiblement vers la teneur 21 d'argile pour 79 de carbonate.

Les teneurs extrêmes en chaux ont été fixées par M. Le Chatelier dans les conditions suivantes :

Il suffit, dit ce savant, de se rappeler qu'ils ne doivent pas, d'une part, renfermer du tout de chaux libre, ce qui fixe un maximum à la proportion de chaux, et que, d'autre part, la présence d'une proportion trop forte de silicate dicalcique amène la pulvérisation spontanée au sortir du four, ce qui limite l'abaissement de la teneur en chaux.

1° *Limite supérieure de la teneur en chaux.* — En présence de quan-

tités croissantes de chaux, les composés qui tendent à se former sont :  $\text{SiO}^2$ ,  $3\text{CaO}$  et  $\text{Al}^2\text{O}^3$ ,  $3\text{CaO}$ . Les silico-aluminates tendent à disparaître complètement. On devra donc avoir comme limite supérieure de la chaux :

$$(1) \quad \frac{\text{CaO. MgO}}{\text{SiO}^2 + \text{Al}^2\text{O}^3} \leq 3$$

les quantités de chaque corps étant exprimées dans cette formule non pas en poids, mais en équivalents. Je n'ai pas fait entrer en ligne de compte le sesquioxyde de fer, attendu que les ferrites de chaux gonflent et s'éteignent. Il ne faut donc pas saturer l'oxyde de fer de chaux.

2° *Limite inférieure de la teneur en chaux.* — En diminuant la chaux, la proportion du silico-aluminate augmente, puis, lorsqu'il est complètement formé, il commence à se produire du silicate dicalcique  $\text{SiO}^2$ ,  $2\text{CaO}$ . La formule du silico-aluminate n'est pas connue. On sait seulement qu'il est au moins aussi calcaire que le plus calcaire de ceux qui sont connus jusqu'ici : la gehlénite  $2\text{SiO}^2$ ,  $\text{Al}^2\text{O}^3$ ,  $3\text{CaO}$ . Je lui attribue cette formule pour faire le calcul. On trouve alors comme limite inférieure du rapport des équivalents :

$$(2) \quad \frac{\text{CaO. MgO}}{\text{SiO}^2 - (\text{Al}^2\text{O}^3, \text{F}^2\text{O}^3)} \geq 3.$$

Ici il ne faut pas séparer le fer et l'alumine qui se comportent de la même façon au point de vue de la production des silicates multiples.

Il est facile de s'assurer que les deux conditions énoncées ci-dessus sont satisfaites pour tous les ciments de bonne qualité fabriqués en France, ainsi que le montre le tableau suivant :

Provenance du ciment.	Formules.	
	(1)	(2)
Boulogne.....	2,22	3,60
Desvres.....	2,28	3,80
Frangey.....	2,55	4,05
Grenoble.....	2,40	3,90

**Action des cendres des combustibles.** — Les cendres des combustibles employés, qui contiennent toujours de grandes quantités de silice et d'alumine, contribuent à relever légèrement l'indice des pâtes crues mises au four. Il faut en tenir compte en dosant la quantité de cendres

que donnent chaque combustible et en notant la quantité de combustible employé.

Le tableau suivant donne l'analyse des cendres de divers combustibles d'usage courant (Candlot, *Chaux et ciments*) :

PROVENANCE DES COMBUSTIBLES	SILICE	ALUMINE	OXYDE DE FER	CHAUX	MAGNÈSE	ACIDE SULFURIQUE	PRODUITS NON DOSÉS	TOTAL
Anthracite français . . . . .	40.50	36.83	9.42	9.50	1.17	2.26	0.32	100.00
— anglais . . . . .	40.40	42.80	4.70	8.40	0.90	1.23	2.17	100.00
Charbon gras français . . . . .	35.50	37.65	7.85	11.75	1.44	1.95	3.86	100.00
— — . . . . .	31.80	22.38	33.87	4.75	1.70	2.65	2.85	100.00
— anglais . . . . .	41.50	25.50	11.90	12.30	1.64	4.30	2.86	100.00
— d'Écosse . . . . .	8.80	4.25	74.00	6.25	traces	5.12	1.58	100.00
Demi-gras français . . . . .	36.70	33.39	12.36	9.37	1.30	6.51	0.37	100.00
— — . . . . .	55.40	28.43	6.57	7.50	0.90	0.67	0.53	100.00
Coke de gaz anglais . . . . .	29.75	24.35	25.02	12.75	2.33	4.66	1.14	100.00
— — . . . . .	20.20	14.29	50.46	7.50	2.28	4.80	0.47	100.00
— — . . . . .	35.58	20.46	12.90	18.80	1.51	8.70	2.05	100.00
Coke métallurgique français . . . . .	43.10	28.43	18.32	2.50	1.35	1.25	5.05	100.00

L'analyse des cendres de combustibles se fait exactement comme l'analyse des ciments.

### Composition particulière de quelques marques de ciment

	SABLE	SILICE	ALUMINE	OXYDE DE FER	CHAUX	MAGNÈSE	ACIDE SULFURIQUE	PERTE AU FEU	TOTAL
Ciment P. A. Candlot . . . . .	»	22.30	8.50	3.40	62.80	0.45	0.70	2.15	100.00
Ciment Vicat . . . . .	»	22.55	8.04	3.70	58.68	2.20	2.23	2.55	99.95
Ciment de Boulogne . . . . .	»	22.20	7.00	2.50	64.62	1.04	0.75	1.95	100.06
— Wouldam } Anglais . . . . .	»	22.70	8.22	3.38	60.48	1.00	1.35	3.00	100.13
— Johnson } } . . . . .	»	21.90	6.30	4.30	62.72	0.98	1.02	2.95	100.17
— Dyckerhoff } Allemands . . . . .	»	20.80	8.66	3.64	62.52	1.68	0.89	1.95	100.14
— Alsen } } . . . . .	»	22.80	7.46	2.84	63.28	1.24	0.98	1.55	100.15
— Demarle et Lonquety . . . . .	»	22.05	7.70	2.50	64.55	1.05	0.70	1.35	99.90
— Romain Boyer . . . . .	2.35	22.85	8.75	4.35	54.85	1.00	0.85	5.00	100.00
— — . . . . .	»	24.50	8.20	3.95	57.90	1.10	0.80	3.55	100.60

## Composition des portlands artificiels.

DÉSIGNATION DES CIMENTS	SILICE	ALUMINE	OXYDE DE FER	CHAUX	MAGNÉSIE	ACIDE SULFURIQUE	PERTE AU FEU	SABLE SILICEUX	PRODUITS NON DOSÉS	TOTAL	
Ciments français.	22.20	6.72	2.28	67.31	0.95	0.26	0.40	»	»	100.12*	
	23.50	7.75	2.95	64.07	0.58	0.60	0.85	»	»	100.30	
	21.70	7.48	2.57	65.54	0.90	0.77	1.20	»	»	100.16	
	23.40	7.36	2.84	63.70	0.95	1.02	0.80	»	»	100.07	
	24.50	7.09	2.81	62.40	0.85	0.70	1.25	»	0.40	100.00	
	25.40	6.65	2.75	61.60	1.08	0.84	1.10	0.60	»	100.02	
	21.80	6.56	2.64	57.42	0.72	0.34	0.40	0.12	»	100.00	
	24.25	5.20	2.30	63.61	0.79	0.68	2.40	0.70	0.07	100.00	
	22.30	8.04	3.71	58.68	2.20	2.23	2.55	0.25	0.04	100.00	
	23.25	7.44	2.10	62.55	0.92	1.06	2.75	»	»	100.07	
	23.00	8.33	3.87	60.90	1.10	1.40	1.49	»	»	100.09	
	24.60	7.98	2.51	59.10	1.25	1.05	3.40	»	0.11	100.00	
	23.15	7.83	3.37	61.40	1.07	1.47	1.45	»	0.24	100.00	
	23.30	7.65	3.10	62.20	1.04	1.06	1.60	»	0.05	100.00	
Ciments anglais.	23.15	7.88	3.37	61.30	0.33	1.10	2.95	»	»	100.08	
	23.70	7.80	3.40	59.36	0.55	1.25	4.10	»	»	100.06	
	22.25	8.22	3.38	60.48	1.00	1.35	3.00	0.45	»	100.13	
	21.95	7.99	3.91	59.08	1.04	1.52	4.35	0.35	»	100.19	
	21.60	6.30	4.30	62.72	0.98	1.02	2.95	0.30	»	100.07	
	21.35	7.15	3.75	62.16	0.95	1.06	3.20	0.25	0.13	100.00	
	20.30	8.63	3.37	59.92	1.06	1.45	4.25	0.40	0.62	100.00	
	23.30	8.13	2.67	60.48	0.60	1.20	3.90	»	»	100.28	
	23.60	9.73	2.97	59.76	0.60	0.68	2.55	»	0.11	100.00	
	24.05	8.69	3.31	59.69	0.90	1.47	1.85	»	0.25	100.00	
	23.50	8.43	3.47	59.64	0.97	1.78	1.80	0.60	»	100.00	
	22.60	7.01	4.04	63.11	1.79	0.37	1.08	»	»	100.00	
	21.75	8.16	3.64	63.39	2.30	0.51	0.25	»	»	100.00	
	21.30	10.60	3.60	62.23	1.44	0.68	»	»	0.15	100.00*	
Ciments allemands.	24.85	6.07	2.43	64.40	1.26	0.51	»	»	0.48	100.00*	
	22.80	6.30	2.70	66.40	1.08	0.63	»	»	0.09	100.00*	
	23.70	5.25	2.70	67.18	1.00	1.40	»	»	»	100.00*	
	22.40	7.30	2.70	62.83	1.21	1.58	2.25	0.10	»	100.37	
	22.80	7.46	2.84	63.28	1.24	0.98	1.55	0.20	»	100.35	
	22.25	7.85	5.30	58.12	2.08	1.05	3.35	0.25	»	100.15	
	20.80	8.66	3.64	62.52	1.68	0.89	1.85	0.10	»	100.14	
	22.90	6.96	3.04	62.55	1.20	1.40	1.60	»	0.35	100.00	
	23.20	7.40	2.40	61.82	1.15	1.33	2.50	»	0.20	100.00	
	22.20	8.32	2.88	61.40	0.90	1.73	2.55	»	0.02	100.00	
	21.00	8.23	3.37	62.10	1.08	1.47	2.80	»	»	100.05	
	Ciments belges.	24.85	6.45	2.70	61.44	0.70	1.03	2.95	»	»	100.12
		24.50	8.51	2.84	60.03	0.88	1.54	1.20	0.60	»	100.10
		24.30	6.13	3.47	60.19	0.70	1.13	2.70	1.30	0.08	100.00
23.80		6.39	2.51	62.32	0.72	1.17	2.94	»	0.14	100.00	
26.10		5.79	2.61	62.44	0.79	0.85	1.35	»	0.07	100.00	
24.30	5.33	2.67	64.12	0.72	0.74	1.95	»	0.17	100.00		

\* Analyses faites sur le ciment en roches.

## Comparaison des divers produits hydrauliques

D'APRÈS LES TRAVAUX DE M. DURAND-CLAYE.

NATURE DU LIANT	NUMÉRO D'ORDRE	POIDS SPÉCIFIQUE	COMPOSITION CHIMIQUE						
			SILICE	ALUMINE	SESQUIOXYDE DE FER	CHAUX	MAGNÈSE	ACIDE SULFURIQUE	PERTE AU FEU
			%	%	%	%	%	%	%
Chaux hydrauliques. . .	404	2.76	23.9	7.0	2.2	50.5	4.2	0.9	13.7
	401	2.92	27.6	4.7	1.7	57.0	0.3	1.1	7.9
	495	2.70	18.0	3.6	1.9	59.9	1.0	0.9	15.0
	408	2.84	22.8	2.1	0.6	63.9	1.2	0.5	8.9
	409	2.82	20.6	2.8	0.7	63.5	2.7	0.4	8.8
Ciments de grappiers. . .	407	3.04	27.7	3.7	1.4	60.7	1.0	0.8	4.7
Ciments à prise rapide	399	3.15	23.2	9.2	5.2	53.7	1.2	0.6	5.7
	438	3.16	26.1	10.0	3.9	52.9	1.9	1.3	3.9
	460	3.06	32.0	8.9	4.0	49.4	1.3	3.4	10.0
	459	3.10	22.9	9.4	4.3	51.6	1.3	3.5	6.9
	456	3.21	20.9	9.1	3.2	55.9	4.0	2.8	4.1
Ciments naturels demi-lents . . . . .	412	2.98	27.5	10.4	3.8	43.1	2.8	2.3	10.4
	455	3.20	22.0	9.5	3.4	56.2	4.0	2.8	2.1
Ciments naturels à prise lente et ciments mixtes proprement dits. . .	413	3.19	22.6	9.1	3.5	55.2	3.4	3.0	3.9
	489	3.15	22.6	8.8	4.0	52.9	1.6	2.8	6.1
	402	3.00	23.1	11.4	2.5	54.2	1.8	2.1	5.0
	403	3.20	22.5	7.8	3.5	59.6	1.4	3.1	3.1
	454	3.10	23.2	7.0	3.0	56.9	3.1	1.9	4.9
Ciments portland. . .	410	3.05	21.5	8.5	2.6	60.0	1.9	2.6	3.1
	458	3.14	23.1	7.5	2.3	63.0	2.1	0.5	1.5
	431	3.17	23.1	7.3	2.4	64.1	0.4	0.8	1.9
	415	3.11	26.0	5.7	2.9	62.4	1.2	0.4	2.1
	476	3.10	25.3	5.8	2.2	62.7	0.7	1.0	2.8
	480	3.20	23.0	7.3	2.0	65.4	1.0	0.6	1.5
	— (2 <sup>e</sup> qualité). . .	422	3.12	26.8	11.5	2.0	55.3	1.0	0.4
Ciment-pouzzolane . .	411	2.89	22.6	8.1	1.9	58.5	1.6	0.8	6.4
Ciments de laitier. . .	400	2.73	23.0	16.3	1.1	48.3	1.3	0.8	9.4
	482	2.80	23.8	13.6	0.9	51.5	3.6	0.2	6.0
	396	2.79	26.7	13.5	1.1	49.7	1.8	0.5	6.7
	481	2.80	26.6	13.0	1.0	50.5	1.9	0.3	6.4
	484	2.87	30.9	9.8	2.2	50.3	2.2	0.2	4.3

## CHAPITRE XV

### **I. — Devis et cahier des charges pour la fourniture du ciment portland au service des ponts et chaussées**

Devis et cahier des charges pour la fourniture du ciment portland au service des ponts et chaussées. — Réception du ciment dans les divers services de Saïgon.

ARTICLE PREMIER. — Le ciment portland fourni proviendra exclusivement de l'usine du soumissionnaire; il sera produit par la mouture de roches scorifiées, obtenues au moyen de la cuisson, jusqu'à ramollissement, d'un mélange intime de carbonate de chaux et d'argile, rigoureusement dosé, chimiquement et physiquement homogène dans toutes ses parties.

#### **Contrôle de la fabrication dans l'usine.**

ARTICLE 2. — L'Administration se réserve d'exercer son contrôle, dans les conditions qui seront déterminées par elle, sur la fabrication, la conservation en magasin à l'usine et l'expédition du ciment qui devra être fourni en exécution du présent marché.

A cet effet, l'ingénieur ou son délégué aura accès à tout instant dans les parties de l'usine affectées à cette fourniture, et il pourra :

1° Prendre toutes les dispositions qu'il jugera nécessaires pour s'assurer de la composition des pâtes crues employées à la fabrication destinée à l'Administration;

2° Contrôler le triage après la cuisson;

3° Suivre le ciment soumis au contrôle depuis le triage jusqu'aux cases spéciales, où il sera emmagasiné après la mouture;

4° Contrôler le plombage spécial à la sortie des cases et l'expédition dudit ciment;

5° Préposer des agents spéciaux restant en permanence à l'usine, aux fins ci-dessus.

ARTICLE 3. — Lorsque le contrôle exercé dans l'usine aura fait constater, dans la fabrication du ciment, des irrégularités ou des imperfections qui seraient de nature à inspirer des doutes sur la qualité, la totalité du ciment dont la fabrication aura donné lieu à cette constatation sera déclarée suspecte, et devra être conservée par le fabricant dans les magasins de l'usine, sous la clef de l'Administration, jusqu'à parachèvement des essais, poursuivis pendant une durée de trois mois, auxquels seront soumis, dans le laboratoire de l'Administration, les échantillons prélevés par l'agent chargé du contrôle.

L'entrepreneur aura toujours la faculté de se soustraire à l'obligation de conserver ainsi dans ses magasins, pendant un délai prolongé, les ciments déclarés suspects, en renonçant à les fournir à l'Administration; ces ciments seront alors considérés comme définitivement rebutés, et l'expédition n'en pourra être faite.

#### Vérification et essais après l'arrivée au magasin.

ARTICLE 4. — Toute fourniture partielle de ciment, dès son arrivée au magasin, donnera lieu à une vérification pour constater que le ciment est parfaitement sec. L'entrée du magasin sera refusée à tout sac qui aurait été exposé à l'humidité et dont le contenu ne serait pas pulvérulent dans toutes ses parties.

Puis la partie de la fourniture reconnue admissible au point de vue de la siccité sera soumise aux essais définis par les articles 5 à 21 du présent cahier des charges relatifs :

- 1° A la densité du ciment;
- 2° A la composition chimique;
- 3° A la durée de la prise;
- 4° A la déformation à froid après la prise;
- 5° A la déformation à chaud après la prise;
- 6° A la résistance à la traction des briquettes de ciment pur;
- 7° A la résistance à la traction des briquettes de mortier de ciment avec sable normal.

A cet effet, l'ingénieur ou son délégué fera prendre du ciment dans un ou plusieurs sacs choisis arbitrairement, à la profondeur et en des points qu'il désignera, sans mélanger les ciments provenant de sacs différents. Puis il procédera aux essais en observant les précautions prescrites.

Chacun des échantillons ainsi prélevés devra satisfaire séparément aux conditions prescrites dans les articles ci-après; les mesures à prendre à l'égard de la totalité de la fourniture partielle seront celles qui conviendront à l'échantillon qui aura donné les résultats les moins satisfaisants.

L'entrepreneur ou son représentant aura le droit d'assister aux essais ; si une opération partielle lui paraît n'être pas faite avec les précautions prescrites par le présent devis, il le fera immédiatement constater contradictoirement par l'agent préposé aux essais et le signalera sur l'heure par écrit à l'ingénieur ordinaire, faute de quoi l'opération en question ne pourra plus servir de base à une réclamation en cas d'insuccès final des essais.

L'heure à laquelle les essais de chaque fourniture seront commencés dans le laboratoire de l'Administration sera indiquée à l'entreprise, trois heures au moins à l'avance. Dans le cas où ni l'entrepreneur ni son représentant ne se présenterait au laboratoire à l'heure indiquée, il sera passé outre ; toutes les opérations qui seront ainsi faites en l'absence de l'entrepreneur ou de son représentant, seront considérées comme bien et dûment faites, et l'entrepreneur ne sera pas admis à en contester les résultats.

**Poids minimum du litre de ciment passé au tamis de  
4.900 mailles par centimètre carré et non tassé.**

ARTICLE 5. — Le poids de la fine poussière obtenue par le tamisage du ciment à travers un tamis métallique de 4.900 mailles par centimètre carré devra être, pour un litre non tassé, au moins égal à un minimum déterminé suivant la règle exposée ci-après, faute de quoi la fourniture partielle d'où provient l'échantillon de ciment trouvé trop léger sera déclarée *suspecte*.

Pour effectuer le pesage dans des conditions toujours comparables, on procédera au remplissage d'une mesure de forme cylindrique ayant une capacité d'un litre et une hauteur de 0<sup>m</sup>,10 en faisant usage de l'*entonnoir à tamis*.

L'*entonnoir à tamis* est un entonnoir métallique vertical dont la section circulaire a 0<sup>m</sup>,02 de diamètre à la base et 0<sup>m</sup>,15 de diamètre à une hauteur de 0<sup>m</sup>,15 au-dessus de cette base, hauteur à laquelle est placée une tôle perforée horizontale, ayant 1.050 trous environ de 0<sup>m</sup>,002 de diamètre par décimètre carré. Cet entonnoir se prolonge par un ajutage cylindrique de 0<sup>m</sup>,02 de diamètre et de 0<sup>m</sup>,10 de hauteur. Il est supporté par un bâti en forme de trépied.

Pour effectuer le remplissage, on placera la mesure sur une table bien horizontale et inébranlable à 0<sup>m</sup>,05 en contre-bas de l'extrémité inférieure de l'ajutage. On versera ensuite la fine poussière de ciment dans l'entonnoir par petites quantités de 300 à 400 grammes, que l'on fera passer au travers du tamis en y promenant une spatule en bois de 0<sup>m</sup>,04 de largeur.

On arrêtera le remplissage quand la base du cône qui se sera élevé

peu à peu dans la mesure en aura atteint le bord supérieur. On enlèvera alors l'excès du ciment en faisant glisser sur ce bord la tranche bien droite d'une lame tenue dans un plan vertical.

Pendant toute l'opération du remplissage, on n'aura fait subir à la mesure contenant le ciment aucune trépidation ni aucun choc.

Pour avoir le poids d'un litre, on fera une seule pesée du contenu total de cinq mesures remplies avec les précautions ci-dessus décrites et on déduira le poids moyen.

Le poids minimum obligatoire du litre non tassé sera déterminé par une expérience préalable de la manière suivante :

Avant tout commencement de fourniture, on fera dans l'usine, sous les yeux de l'ingénieur ou de son délégué, par les moyens ordinaires de l'usine, la mouture et le blutage d'un lot de roches lourdes très cuites, dont chaque morceau aura jusqu'au cœur une couleur franchement noire ou noir bleuâtre, ou noir verdâtre, et présentera la composition chimique qui correspond au dosage normal des pâtes de l'usine, déclaré par le fabricant. Ces roches auront été choisies par l'ingénieur au pied d'un four en vidange qu'il aura désigné. La mouture sera conduite de manière à donner, par le blutage ordinaire, un ciment qui laisse un résidu de 20 à 25 % sur le tamis de 4.900 mailles par centimètre carré.

Le tamisage ayant été effectué sur ce tamis après refroidissement complet du ciment, on déterminera contradictoirement, suivant le mode ci-dessus décrit, le poids du litre non tassé de la fine poussière obtenue. Le chiffre ainsi trouvé, diminué de 100 grammes pour tolérance, donnera le poids minimum obligatoire.

### Composition chimique.

ARTICLE 6. — Tout ciment dans lequel l'analyse chimique aura accusé plus de 1 % d'acide sulfurique ou aura découvert des sulfures en proportion dosable, sera *refusé*.

ARTICLE 7. — On déclarera *suspect* tout ciment dans lequel l'analyse chimique aura accusé plus de 4 % d'oxyde de fer, ou aura donné une valeur inférieure à 44 % pour le rapport entre le poids total de la silice combinée et de l'alumine d'une part et d'autre part le poids de la chaux.

### Essais avec pâte de ciment pur. Confection de la pâte normale de ciment pur.

ARTICLE 8. — Dans tous les essais au ciment pur, le ciment sera gâché avec de l'eau de mer.

Le ciment, l'eau et l'air, pendant le gâchage, seront maintenus au-

tant que possible à une température comprise entre 15 et 18 degrés.

On opérera toujours sur 1 kilogramme de ciment qu'on étalera sur une table de marbre en formant une couronne au centre de laquelle on versera d'un seul coup le volume d'eau nécessaire pour la confection de la pâte. Le mélange sera gâché fortement à la truelle pendant 5 minutes comptées à partir du moment où l'eau aura été versée.

La proportion d'eau à mélanger avec le ciment pur sera la même pour tous les essais d'un même échantillon effectués dans une même journée.

Cette proportion, que l'on obtiendra au préalable par une série de tâtonnements, sera déterminée de manière à obtenir pour la pâte convenablement gâchée la consistance plastique normale définie par la condition suivante.

Une boîte métallique imperméable à fond plat de forme tronconique, ayant 0<sup>m</sup>,08 de diamètre à la base inférieure, 0<sup>m</sup>,09 de diamètre à la base supérieure et 0<sup>m</sup>,04 de profondeur, étant remplie de pâte, on dressera la surface en faisant glisser le plat de la truelle sur le bord supérieur du moule et en évitant tout tassement et toute trépidation. Au centre de la masse ainsi formée, on fera descendre normalement à la surface de la pâte, lentement et avec précaution, une sonde cylindrique de 0<sup>m</sup>,01 de diamètre et du poids de 300 grammes en métal poli, propre et sèche terminée par une section nette et d'équerre. La consistance de la pâte sera considérée comme normale lorsque l'épaisseur de la couche entre le fond de la boîte et l'extrémité de la sonde, au moment où celle-ci cessera de s'enfoncer sous l'action de son propre poids, sera 0<sup>m</sup>,006.

Pour déterminer la proportion d'eau qui doit être adoptée pour la confection des pâtes d'essai, on fera d'abord le gâchage avec une quantité d'eau assez faible pour donner une pâte trop sèche dans laquelle la sonde ne pénétrera pas jusqu'à la profondeur indiquée ci-dessus, puis on recommencera l'opération le nombre de fois nécessaire en augmentant à chaque fois le poids de l'eau de 20 grammes. Lorsque deux essais consécutifs auront donné, l'une une pâte trop sèche (laissant au-dessous de l'extrémité de la sonde une épaisseur de pâte de plus de 6 millimètres) et l'autre une pâte trop molle (laissant au-dessous de la sonde une épaisseur de moins de 6 millimètres), on fera une dernière expérience avec 10 grammes d'eau de moins que dans l'opération qui aura donné la pâte trop molle.

On adoptera alors, comme proportion d'eau pour les essais, la plus faible proportion d'eau employée dans les trois dernières expériences, pour laquelle l'épaisseur de pâte au-dessous de la sonde n'excédera pas 0<sup>m</sup>,006.

On ne fera jamais deux essais sur la pâte contenue dans une même boîte.

L'ingénieur ou son délégué déterminera en dernier ressort quelle est la proportion d'eau à admettre comme conséquence des tâtonnements effectués ainsi qu'il est dit ci-dessus.

Toutefois la proportion d'eau ainsi déterminée pourra, sur la demande du fournisseur, être augmentée jusqu'à concurrence de 1 0/0 au plus.

### Durée de la prise.

ARTICLE 9. — On déterminera sur la pâte normale de ciment pur, préparée comme il est dit à l'article 8, le *début* et la *fin de la prise*.

Immédiatement après sa confection, la pâte de ciment pur sera introduite avec les précautions indiquées au sixième paragraphe de l'article 8 dans une boîte semblable à celle qui est décrite au même paragraphe. Aussitôt le remplissage effectué et la surface du ciment dressée, la boîte sera immergée dans un bac contenant de l'eau dont la température sera maintenue entre 16 et 18 degrés. La boîte ne sera extraite du bac que pendant le temps nécessaire pour chaque constatation.

On emploiera pour les essais de prise une aiguille en métal, dite *aiguille Vicat*, cylindrique, lisse, propre, sèche, terminée par une section nette et d'équerre d'un millimètre carré (diamètre 0<sup>m</sup>,0013, et pesant 300 grammes). Cette aiguille, suspendue par un fil passant sur une poulie, sera descendue normalement sur la pâte, lentement et avec précaution.

On considérera comme le *début de la prise* le moment où la masse ne se laissera plus pénétrer jusqu'au fond de la boîte.

La prise sera considérée comme terminée lorsque la surface de la pâte pourra supporter l'aiguille, sans que celle-ci y pénètre d'une quantité appréciable.

Les durées de prise seront comptées à partir du moment où l'eau de gâchage aura été mise en contact avec le ciment.

Si le ciment commence à prendre avant un délai de 30 minutes ou termine sa prise avant un délai de 3 heures, la fourniture partielle d'où provient l'échantillon sera *refusée*.

La fourniture partielle d'où provient l'échantillon sera également *refusée*, si la prise n'est pas terminée dans un délai de 12 heures.

### Essais de déformation à froid.

ARTICLE 10. — Immédiatement après le remplissage de la boîte métallique contenant la pâte destinée à l'essai de prise, on emploiera le reste de la gâchée pour former, en étalant la pâte sur des plaques de verre, des galettes circulaires de 0<sup>m</sup>,08 à 0<sup>m</sup>,10 de diamètre, ayant au centre 0<sup>m</sup>,02 environ d'épaisseur et amincies sur les bords.

Aussitôt après leur confection, on immergera les plaques de verre et les galettes qu'elles portent dans un bac rempli d'eau de mer dont la température sera maintenue entre 15° et 18°.

Si, avant la réception définitive, on remarque sur une quelconque des galettes des plissements ou crevasses ou si les bords de la galette se relèvent en se détachant de la plaque de verre, la fourniture partielle d'où provient l'échantillon sera *refusée*.

#### Essais de déformation à chaud.

ARTICLE 11. — Pour les essais à chaud, on emploiera de petits moules cylindriques de 0<sup>m</sup>,03 de diamètre et 0<sup>m</sup>,03 de hauteur, confectionnés avec des feuilles de laiton de 0<sup>m</sup>,0005 d'épaisseur, fendus suivant une génératrice et portant deux aiguilles rectilignes de 0<sup>m</sup>,15 de longueur perpendiculaires à l'axe du cylindre, soudées de part et d'autre de la fente et disposées l'une contre l'autre de manière à se toucher autant que possible sur toute leur longueur.

On remplira, avec la pâte normale de ciment pur provenant de chacune des gâchées faites pour la préparation des briquettes destinées aux essais de résistance, deux moules au moins, en prenant soin de maintenir les aiguilles au contact pendant le remplissage au moyen d'un étui de calage.

Les moules aussitôt remplis seront plongés dans un récipient contenant de l'eau douce à la température de 15° à 18°. Une fois la prise terminée et 24 heures au plus tard après le commencement du gâchage, on enlèvera les étuis de calage, on mesurera l'écartement des pointes des aiguilles, s'il y a lieu, et on élèvera la température de l'eau progressivement jusqu'à 100° dans un délai qui ne devra pas être de moins d'un quart d'heure ni de plus d'une demi-heure.

La température de 100° sera maintenue pendant 6 heures consécutives, puis on laissera refroidir jusqu'à la température initiale.

Dans le cas où l'écartement des pointes des aiguilles, mesuré au commencement et à la fin de l'opération, aurait augmenté de plus de 0<sup>m</sup>,006 pour l'un quelconque des moules, la fourniture partielle d'où proviendrait l'échantillon qui aurait donné ce résultat serait *refusée*.

Le refus serait également prononcé dans le cas où les cylindres en ciment présenteraient des fissures ou manifesteraient un commencement de désagrégation.

#### Résistance à la traction des briquettes confectionnées avec la pâte de ciment pur.

ARTICLE 12. — La pâte de ciment pur destinée aux essais de résistance à la traction sera obtenue chaque fois en gâchant à la truelle,

sur une plaque de marbre, 1 kilogramme de ciment, conformément aux indications de l'article 8. Chaque gâchée donnera assez de pâte pour faire 6 briquettes et pour préparer au moins 2 éprouvettes destinées à l'essai à l'eau chaude prévu par l'article précédent.

a) MODE D'EXÉCUTION DES ESSAIS. — Chaque série d'essais devra comprendre la confection de 18 briquettes; ou aura ainsi à faire trois gâchées consécutives dans les mêmes conditions.

Les briquettes auront la forme représentée ci-contre en vraie grandeur, avec une épaisseur de  $0^m,0222$ ; la section de rupture sera de  $0^m,0225$  sur  $0^m,0222$ .

Les moules présentant en creux la forme des briquettes seront placés sur une plaque de marbre ou de métal poli, disposée horizontalement sur un rapport bien fixe. Ils auront été préalablement, ainsi que la plaque, bien nettoyés et frottés d'un linge gras.

On remplira 6 moules d'une même gâchée en mettant du premier coup dans chaque moule assez de pâte pour qu'elle déborde. On enfoncera la pâte avec le doigt de manière à remplir complètement le moule sans laisser aucun vide, puis on frappera quelques coups de truelle sur les côtés du moule pour compléter le tassement et faciliter le dégagement des bulles d'air. Aussitôt que la consistance de la pâte le permettra, on dérasera la surface supérieure de la briquette en faisant glisser une lame de couteau bien droite et rigide presque horizontalement sur les bords du moule, de manière à enlever tout l'excédent de pâte sans exercer aucune compression. On achèvera de dresser la surface en y promenant le couteau toujours appuyé sur les bords.

Après un intervalle de temps au moins égal à la durée de la prise, préalablement constatée suivant les indications de l'article 9, on procédera au démoulage. Pour cela, on commencera par faire glisser les moules sur la plaque, puis on les desserrera et on en éloignera les deux parties de la briquette en évitant de les soulever.

Pendant les 24 premières heures qui suivront le commencement du gâchage de la pâte, les briquettes seront conservées sur leur plaque dans une atmosphère saturée d'humidité, à l'abri des courants d'air et des rayons directs du soleil, à une température comprise autant que possible entre  $15^{\circ}$  et  $18^{\circ}$ .

Au bout de 24 heures, les briquettes seront immergées dans un bac rempli d'eau de mer.

L'eau du bac sera renouvelée tous les deux jours, si l'ingénieur ne juge préférable de prescrire le renouvellement constant par circulation continue. La température de l'eau sera, autant que possible, maintenue constamment à une température comprise entre  $15^{\circ}$  et  $18^{\circ}$ .

Sur les 18 briquettes de pâte de ciment pur qui seront confectionnées dans les conditions indiquées ci-dessus pour chaque échantillon

de ciment à essayer, 6 devront être rompues au bout de 7 jours, 6 au bout de 28 jours (4 semaines), 6 au bout de 84 jours (12 semaines), ces délais comptés à partir du moment du gâchage du mortier. Pour chaque série de ruptures, on prendra 2 briquettes de chaque gâchée.

Les briquettes seront rompues par extension au moyen de l'appareil à double levier en usage pour la rupture des briquettes de 5 centimètres carrés de section, appareil dans lequel le poids croissant qui produit la traction est obtenu par l'écoulement d'un jet de grains de plomb dans un vase suspendu à l'extrémité du second levier.

Parmi les 6 résultats obtenus dans chaque série, on éliminera les deux résultats les plus faibles ; la moyenne des quatre meilleurs résultats sera le chiffre admis pour la résistance de l'échantillon éprouvé au moment de l'essai.

b) RÉSULTATS EXIGÉS DES BRIQUETTES DE CIMENT PUR. — ARTICLE 13. — La résistance des briquettes de ciment pur, à l'expiration du 7<sup>e</sup> jour, devra être au moins 20 kilogrammes par centimètre carré de la moindre section des briquettes d'essai.

Elle devra être d'au moins 35 kilogrammes par centimètre carré à l'expiration du 28<sup>e</sup> jour.

Toute fourniture partielle, d'où proviendrait un échantillon ne satisfaisant pas à ces deux conditions, *serait refusée*.

ARTICLE 14. — La résistance par centimètre carré des briquettes de ciment pur, constatée au bout de 28 jours, devra d'ailleurs dépasser d'au moins 5 kilogrammes celle qui aura été constatée au bout de 7 jours ; sinon, la fourniture partielle, d'où provient l'échantillon essayé, sera *déclarée suspecte*.

ARTICLE 15. — La résistance par centimètre carré des briquettes de ciment pur, constatée au bout de 84 jours, devra être d'au moins 45 kilogrammes.

De plus, elle devra dépasser la résistance constatée au bout de 28 jours quand celle-ci n'aura pas été d'au moins 55 kilogrammes.

Toute fourniture partielle, d'où proviendrait un échantillon qui ne satisfierait pas à ces deux conditions, *serait refusée*.

### Essais avec mortier de sable normal.

ARTICLE 16. — Le sable à employer dans tous les essais sera fourni par l'Administration. Il sera obtenu par le tamisage de sable naturel provenant de la plage de Leucate (Aude).

a) SABLE NORMAL. — Le tamisage se fera successivement sur deux tamis en tôle perforée dont les trous auront, pour le premier, 0<sup>m</sup>,0015 et, pour le second, 0<sup>m</sup>,001 de diamètre.

Les grains qui auront traversé le premier tamis et seront retenus sur

le second, lavés à grande eau et séchés, constitueront le *sable normal*.

b) CONFECTION DES MORTIERS. — ARTICLE 17. — Le mortier de ciment et sable normal avec lequel seront faits les essais sera composé d'une partie en poids de ciment sec pour trois parties en poids de sable normal sec; il sera gâché avec de l'eau de mer.

On opérera toujours sur 1 kilogramme de matières sèches, soit 250 grammes de ciment et 750 grammes de sable qu'on mélangera intimement à sec. On formera ensuite avec le mélange, sur la table de marbre, une couronne au centre de laquelle on versera d'un seul coup la quantité d'eau à employer, puis le mélange imprégné d'eau sera gâché fortement à la truelle pendant 5 minutes.

La quantité d'eau employée pour le gâchage sera de 45 grammes augmentées du  $\frac{1}{6}^{\text{o}}$  de la quantité d'eau nécessaire pour amener 1 kilogramme de ciment à l'état de pâte normale plastique suivant la méthode décrite à l'article 8.

Au moment du mélange, le ciment, le sable, l'eau et l'air ambiant seront à des températures comprises entre 15° et 18°.

#### Résistance à la traction des briquettes confectionnées avec le mortier normal.

ARTICLE 18. — Chaque série d'essais devra comprendre la confection de 18 briquettes; on aura ainsi à faire trois gâchées consécutives dans les conditions indiquées à l'article 17, chaque gâchée fournissant la quantité de mortier nécessaire pour faire 6 briquettes, avec un certain excédent.

a) MODE D'EXÉCUTION DES ESSAIS. — Les moules à briquettes et l'appareil d'essai seront les mêmes que ceux qui doivent être employés pour les essais des pâtes de ciment pur, conformément aux indications de l'article 12 ci-dessus.

Les moules seront placés sur une plaque de marbre ou de métal poli disposée horizontalement sur un support bien fixe; ils auront été préalablement, ainsi que la plaque, bien nettoyés et frottés d'un linge gras.

On remplira 6 moules d'une même gâchée, en mettant du premier coup dans chaque moule assez de mortier pour qu'il déborde encore au-dessus du moule après le damage. On enfoncera le mortier avec le doigt de manière à remplir complètement le moule sans laisser aucun vide. Le mortier sera ensuite damé dans le moule avec une spatule en fer longue de 0<sup>m</sup>,35, manche compris, présentant une surface de battage de 0<sup>m</sup>,0025 et pesant 200 grammes. On procédera d'abord par petits coups répétés sur le pourtour de la briquette, puis au centre; on frappera ensuite plus énergiquement, en suivant toujours le même

chemin et en continuant le damage jusqu'à ce que la masse commence à prendre un peu d'élasticité et que l'eau sue à la surface. On enlèvera ensuite l'excès du mortier avec une lame de couteau bien droite et rigide que l'on fera glisser presque horizontalement sur les bords du moule, et l'on achèvera de dresser la surface en promenant le couteau toujours appuyé sur les bords du moule.

Lorsque le mortier sera suffisamment durci, on procédera au démoulage comme pour les briquettes de ciment pur.

Pendant les 24 premières heures qui suivront le commencement du gâchage du mortier, les briquettes seront conservées sur leur plaque dans une atmosphère saturée d'humidité, à l'abri des courants d'air et des rayons directs du soleil, à une température maintenue autant que possible entre 15° et 18°.

Au bout de 24 heures, on les immergera dans un bac rempli d'eau de mer.

L'eau des bacs contenant les briquettes sera renouvelée comme il est dit à l'article 12 et sera toujours maintenue autant que possible à une température comprise entre 15° et 18°.

Sur les 18 briquettes confectionnées avec chaque échantillon de ciment, 6 devront être rompues au bout de 7 jours, 6 au bout de 28 jours et 6 au bout de 84 jours, ces délais étant comptés à partir du moment du gâchage du mortier. Pour chaque série de ruptures, on prélèvera deux briquettes provenant de chacune des trois gâchées différentes.

Sur les 6 résultats obtenus dans chaque série, on éliminera les deux résultats les plus faibles; la moyenne des quatre meilleurs résultats sera le chiffre admis pour la résistance du mortier éprouvé au moment de l'essai.

b) RÉSULTATS EXIGÉS DES BRIQUETTES DE MORTIER NORMAL DE CIMENT ET SABLE. — ARTICLE 19. — La résistance du mortier sableux normal à l'expiration du 7<sup>e</sup> jour devra être d'au moins 8 kilogrammes par centimètre carré de la moindre section des briquettes d'essai.

Elle devra être d'au moins 15 kilogrammes par centimètre carré à l'expiration du 28<sup>e</sup> jour.

Toute fourniture partielle, d'où proviendrait un échantillon ne satisfaisant pas à ces deux conditions, *serait refusée*.

ARTICLE 20. — La résistance par centimètre carré du mortier sableux normal, constatée au bout de 28 jours, devra d'ailleurs dépasser celle qui aura été constatée au bout de 7 jours, d'au moins 2 kilogrammes; sinon, la fourniture partielle, d'où provient l'échantillon essayé, *sera déclarée suspecte*.

ARTICLE 21. — La résistance par centimètre carré du mortier sableux normal, constatée au bout de 84 jours, devra être d'au moins 18 ki-

logrammes, et elle devra toujours dépasser la résistance constatée au bout de 28 jours.

Toute fourniture partielle, d'où proviendrait un échantillon ne satisfaisant pas à ces deux conditions, *serait refusée*.

#### **Siccité des ciments à la sortie du magasin.**

ARTICLE 22. — Tout sac de ciment atteint par l'humidité au point que le contenu n'en soit plus franchement pulvérulent dans toutes ses parties au moment de la sortie du magasin pour emploi, sera refusé, même si l'ensemble de la fourniture est reçu.

#### **Mode de livraison.**

ARTICLE 23. — Le ciment sera livré en sacs pesant net 50 kilogrammes chacun.

Les sacs seront cousus en dedans et fermés par un scellement en plomb à la marque de l'Administration.

Les sacs devront être en parfait état au moment de la livraison. On refusera les ciments contenus dans des enveloppes qui présenteraient une déchirure ou dont la solidité ne serait pas complète.

L'expédition pourra en être faite par bateau ou par chemin de fer, aux risques et périls de l'entrepreneur.

A l'arrivée de chaque expédition et avant déchargement, les connaissements ou lettres de voiture seront communiqués à l'ingénieur.

### **II. — Règles allemandes pour la livraison et l'examen uniforme du ciment portland.**

Le ciment portland est un produit formé par la cuisson d'un mélange intime de matériaux calcaires et argileux, les deux éléments essentiels, jusqu'à commencement de fusion, suivie de la réduction en poudre fine.

#### **Emballage et poids.**

Ordinairement le ciment portland doit être emballé dans des barils normaux de 180 kilogrammes brut et de 170 kilogrammes net, ou en demi-barils de 90 kilogrammes brut et de 83 kilogrammes net. Le poids doit être marqué sur les barils.

Si le ciment est emballé en barils d'un poids différent, ou en sacs, le poids brut doit aussi être marqué sur ces emballages en lettres bien lisibles.

Une perte par coulage, ainsi que quelques erreurs de poids jusqu'à 2 %, ne peuvent donner lieu à des réclamations. Outre le poids, les barils et les sacs doivent aussi porter la marque de la fabrique.

### I. — Exposé des motifs.

Un poids uniforme est absolument nécessaire dans l'intérêt de l'acheteur et du commerce. Dans ce but, on a choisi le poids le plus usuel et presque exclusivement admis par le commerce international, de 180 kilogrammes brut = 400 livres anglaises.

### II. — Temps de prise.

Selon le but de l'emploi, il faut choisir le ciment portland prenant lentement ou prenant promptement.

Comme prenant lentement, il faut désigner les ciments qui font prise après deux heures au plus tard.

#### *Commentaire II.*

Pour trouver le temps de prise d'un ciment, il faut gâcher celui à prise lente pendant 3 minutes, et celui à prise prompte pendant 1 minute, avec de l'eau jusqu'à consistance de pâte; puis on forme, sur une plaque de verre, une galette de 4<sup>cm</sup>,5 d'épaisseur, aux bords minces. La pâte employée pour cette galette doit être de consistance telle qu'elle ne s'étale vers les bords qu'après avoir frappé la plaque à plusieurs reprises; une quantité d'eau de 27 à 30 % suffit généralement. Aussitôt que la masse a durci suffisamment pour résister à une légère pression de l'ongle, le ciment doit être considéré comme ayant fait prise.

Pour trouver le temps exact de prise et pour en déterminer le commencement (ce qui est important avec des ciments à prise prompte parce que le ciment doit être employé avant de commencer à durcir), on se sert d'une aiguille normale sans pointe du poids de 300 grammes et d'une section cylindrique de 1 millimètre carré. On remplit un cylindre ayant 4 centimètres de haut et 8 centimètres de diamètre intérieur, mis sur une plaque de verre, de la pâte à ciment, de la consistance indiquée ci-dessus, et on y applique l'aiguille; le moment où celle-ci ne peut plus pénétrer la pâte de ciment doit être considéré comme le commencement de la prise; le temps qui s'écoule jusqu'au moment où l'aiguille n'y fait plus d'empreinte visible est le « temps de prise ».

Comme la prise dépend de la température de l'air et de l'eau employée, une température élevée l'accélérant, et une température basse la retardant, il est nécessaire de faire les essais à une température

moyenne de 15 — 18° C., de l'eau ainsi que de l'air, pour obtenir des résultats uniformes.

Le ciment à prise lente ne doit pas s'échauffer sensiblement pendant la prise; celui à prise prompte peut montrer une élévation sensible de température.

Le ciment portland acquiert, par une conservation prolongée en magasin, la faculté de prendre lentement, et s'il est à l'abri des courants d'air et de l'humidité, il gagne en résistance. L'opinion encore prédominante, qu'il perd de sa qualité par un magasinage prolongé, est donc une erreur et les conditions stipulant que le ciment soit frais ne devraient plus figurer dans les contrats.

### III. — Stabilité de volume.

Le ciment portland doit être stable de volume. On admet comme épreuve décisive l'examen d'une galette de ciment pur, préparée sur une plaque de verre et à l'abri de la dessiccation, mise sous l'eau 24 heures après sa confection; cette galette ne doit pas montrer, par la suite, de fissures ou de crevasses sur les bords.

#### *Commentaire III.*

Pour faire l'essai, la pâte, préparée pour déterminer le temps de prise, est mise sous l'eau, quand le ciment est à prise lente, après 24 heures, et dans tous les cas après la prise faite. Avec du ciment à prise prompte, il n'est pas besoin d'attendre aussi longtemps. Il faut mettre les galettes, surtout celles de ciment à prise lente, jusqu'à ce que la prise soit faite, à l'abri des courants d'air, et du soleil, en les plaçant dans une caisse couverte ou sous des linges humides. De cette manière, on évite la formation de crevasses qui d'ordinaire se forment au milieu des galettes et qui sont prises pour des crevasses de gonflement par ceux qui ne sont pas expérimentés. Si des fissures ou des crevasses se produisent pendant le durcissement sous l'eau, cela indique certainement un mouvement du ciment; c'est-à-dire que, par suite d'une augmentation de volume, il se forme des fentes et en même temps le ciment commence à se détruire, en perdant peu à peu de sa cohésion, ce qui peut mener à sa décomposition totale.

Le mouvement du ciment se manifeste généralement après 3 jours; il suffit de l'observer pendant 28 jours.

### IV. — Finesse de mouture.

Le ciment portland doit être moulu assez finement pour que l'épreuve, faite au tamis de 900 mailles par centimètre carré, donne 10 % de

résidu au maximum. L'épaisseur du fil du tamis doit être de la moitié de la largeur des mailles.

*Commentaire IV.*

Pour chaque essai de tamisage, il faut prendre 100 grammes de ciment. Le ciment étant presque toujours employé avec un mélange de sable, souvent même avec une forte proportion de ce dernier, et la résistance d'un mortier étant d'autant plus grande que le ciment est plus finement moulu (parce qu'un plus grand nombre de molécules entrent alors en action), la finesse de mouture est d'une grande importance. Il est donc nécessaire de faire l'épreuve ci-dessus.

Cependant ce serait une erreur de juger de la qualité d'un ciment seulement par la finesse de son grain, parce que les ciments tendres, de qualité inférieure, sont souvent plus finement moulus que les ciments de qualité supérieure fortement cuits. Généralement ces derniers présenteront, même plus grossièrement moulus, une plus grande force de liaison que les premiers. Quand on veut employer un mélange de ciment et de chaux, il vaut mieux prendre un ciment fortement cuit, de mouture très fine, dont les frais plus élevés de fabrication sont compensés par l'amélioration sensible de la qualité du mortier.

**V. — Essais de résistance.**

On trouve la force de liaison du ciment portland en soumettant à l'épreuve un mélange de ciment et de sable. Il faut faire les essais de résistance à la traction et à la compression d'après une méthode uniforme, c'est-à-dire avec des éprouvettes de la même forme, de la même section et avec les mêmes appareils.

Il est aussi indiqué de déterminer la résistance du ciment gâché pur, sans mélange.

Les essais de résistance à la traction doivent être faits avec des éprouvettes de 5 centimètres carrés de section et les essais de résistance à la compression avec des cubes de 50 centimètres carrés de surface.

*Commentaire V.*

Comme les épreuves de résistance faites avec du ciment pur ne suffisent pas pour pouvoir juger de la force de liaison avec du sable, surtout quand on doit comparer diverses marques, il est nécessaire de faire des épreuves avec du ciment mêlé de sable.

L'examen du ciment pur doit surtout se faire dans des cas où il s'agit de comparer le ciment portland aux ciments mélangés et à d'autres

produits hydrauliques, parce que la résistance intrinsèque fait mieux apprécier la qualité supérieure et les qualités spéciales du ciment portland que les essais avec sable.

Bien que le rapport de la résistance à la compression à celle à la traction varie avec les divers produits hydrauliques, on juge souvent, par la résistance à la traction, la valeur des divers agglomérants. Mais on a ainsi des résultats erronés. Comme, en pratique, la résistance à la compression des mortiers a une importance capitale, l'épreuve à la compression peut être la seule décisive.

Pour assurer l'uniformité des essais, on conseille d'employer des appareils et des ustensiles semblables à ceux dont on se sert à la station d'essai à Charlottenbourg-Berlin.

#### IV. — Résistance à la traction et à la compression.

Dans l'épreuve du mortier de ciment portland à prise lente, se composant d'une partie de ciment, pour trois de sable normal en poids, après 28 jours de durcissement, 1 jour à l'air et 27 jours sous l'eau, la résistance minima à la traction doit être de 16 kilogrammes par centimètre carré. La résistance à la compression doit être au moins de 160 kilogrammes par centimètre carré.

Le ciment à prise prompte donne, après 28 jours, généralement une résistance un peu plus faible que celle indiquée ci-dessus. Il faut donc, en donnant les chiffres des résistances, citer aussi le temps de prise.

#### *Commentaire VI.*

Les diverses marques de ciment montrent souvent de grandes différences de résistance avec mélange de sable, ce qui, en pratique, est d'une importance capitale; l'essai avec une forte proportion de sable est donc absolument nécessaire. On considère que la proportion de 3 parties en poids de sable pour une partie de ciment montre suffisamment la force de liaison avec le sable.

Le ciment qui présente une plus grande résistance à la traction ainsi qu'à la compression permet, en beaucoup de cas, d'employer une plus grande proportion de sable, et à ce point de vue, ainsi qu'à cause de sa résistance plus grande, il a droit, à dosage égal, à un prix plus élevé.

La période de résistance est déterminée par l'essai de compression après 28 jours, car la force de liaison ne peut pas être bien reconnue en un temps plus court, quand on compare diverses marques de ciment. Ainsi les résultats peuvent être semblables après 28 jours, tandis qu'après 7 jours il y aura peut-être une différence sensible.

L'épreuve décisive pour la marchandise livrée est l'essai après 28

jours. Si cependant on veut faire l'épreuve déjà après 7 jours, on pourra faire un examen provisoire pourvu que l'on connaisse le rapport de la résistance à 7 jours à celle à 28 jours pour le ciment en question. Également, cet essai provisoire peut être fait avec du ciment pur à celle du mélange 1,3 après 28 jours.

Il est prudent de prolonger, quand c'est possible, l'examen des résistances pendant un certain temps avec des éprouvettes préparées dans ce but, pour savoir comment les diverses qualités se comportent pendant une période de durcissement de longue durée.

Pour arriver à des résultats uniformes, il faut employer un sable d'un grain régulier et toujours semblable.

Ce sable normal est obtenu comme suit : On prend du sable de quartz, le plus fin possible ; il est lavé, séché, passé au tamis de 60 mailles par centimètre carré qui élimine les parties trop grosses, puis enfin passé au tamis de 120 mailles qui élimine les parties trop fines. L'épaisseur des fils des tamis doit être respectivement de  $0^{\text{mm}},38$  et  $0^{\text{mm}},32$ .

Tous les sables de quartz donnent, à traitement égal, la même résistance ; il faut s'assurer si le sable dont on dispose donne les mêmes résultats que ceux du sable normal essayé par le Comité de l'Union des fabricants allemands de ciment Portland, et aussi celui employé à la station d'essai de Charlottenbourg-Berlin.

Comme il est important que l'examen d'un même ciment, en différents endroits, donne les mêmes résultats, il faut particulièrement faire attention à ce que les règles ci-dessous soient exactement suivies.\*

Pour avoir des chiffres moyens convenables il faut préparer 10 pièces d'essai au moins.

### **Préparation des éprouvettes de ciment et sable. Épreuves à la traction**

Les pièces d'essai sont préparées à la main ou à la machine.

a) Préparation à la main : On met sur une plaque de métal ou de verre épais 5 feuilles de papier buvard humides et par-dessus 5 moules également humectés. On prend alors 250 grammes de ciment et 750 grammes de sable normal et on les mélange intimement dans une cuvette. Puis on y ajoute  $100 \text{ cm}^2 = 100$  grammes d'eau douce ; on travaille le tout pendant cinq minutes et on remplit alors les moules d'un seul coup et en comprimant le mortier de manière à obtenir une surface fortement bombée. En frappant ensuite les moules à l'aide d'une spatule en fer (de 5 : 8 centimètres carrés de surface, 35 centimètres de longueur et d'un poids de 250 grammes), on tasse le mortier dans le moule jusqu'à ce qu'il devienne élastique et que l'eau ressorte à la surface. Pour obtenir ce résultat, il faut frapper le moule pendant une

minute au moins; il n'est pas bon de remplir le moule en plusieurs fois parce que l'éprouvette doit avoir partout la même densité. On racle alors le moule avec un couteau et on lisse la surface. Puis on enlève les éprouvettes du moule avec précaution et on les place dans une caisse à couvercle, garnie de zinc, pour éviter une dessiccation inégale à une température variable. 24 heures après leur préparation, on met les éprouvettes dans l'eau, en ayant soin qu'elles soient bien couvertes par l'eau pendant tout le temps de leur durcissement.

b) Préparation à la machine : Le moule, pourvu de l'appareil de remplissage, étant attaché à la plaque de couche avec 2 vis, on le remplit, pour chaque éprouvette, d'un mortier préparé comme en *a* et on place le pilon. Puis on donne sur ce dernier, à l'aide de l'appareil de M. Böhme, 150 coups de marteau de 2 kilogrammes. Après enlèvement de l'appareil de remplissage et du pilon, l'éprouvette est raclée et lissée, retirée de la plaque et, pour le reste, traitée comme en *a*.

En suivant exactement ces règles, on obtient, aussi bien à la main qu'à la machine, des résultats bien uniformes.

### Épreuves de compression.

Pour obtenir des résultats uniformes des épreuves de compression, faites en différents endroits, la préparation à la machine est nécessaire.

On mêle 400 grammes de ciment et 1.200 grammes de sable normal intimement dans une cuvette, on ajoute 160 centimètres cubes = 160 grammes d'eau et on travaille bien la pâte pendant 5 minutes, de ce mortier on verse 860 grammes dans un moule à forme cubique, attaché par des vis sur sa plaque de couche. Puis on place le pilon en fer et on donne 150 coups à l'aide de l'appareil de M. Böhme du marteau pesant 2 kilogrammes. On enlève ensuite le pilon et l'appareil de remplissage; l'éprouvette est raclée, lissée, enlevée de la plaque et traitée pour le reste comme en *a*.

### Préparation des éprouvettes de ciment pur.

On huile l'intérieur des moules et on les place sur une plaque de métal ou de verre (sans papier buvard). Puis on gâche 1.000 grammes de ciment pur avec 200 centimètres cubes = 200 grammes d'eau, on travaille le tout pendant 5 minutes à l'aide d'un pilon, on remplit les moules et on procède comme en *a*. On ne peut cependant détacher les éprouvettes des moules qu'après un durcissement suffisant.

Comme avec le ciment pur les éprouvettes doivent avoir une densité égale, il faut augmenter la quantité d'eau, quand le ciment est très fin ou à prise prompte.

La quantité d'eau est toujours à indiquer en donnant les chiffres de résistance.

#### Traitement des éprouvettes au moment de l'essai.

Tous les échantillons sont soumis à l'essai immédiatement après être sortis de l'eau. La durée de l'épreuve ayant de l'influence sur le résultat, il faut, en faisant l'épreuve de traction, faire agir la charge à raison de 100 grammes par seconde.

A l'épreuve de compression, il faut, pour obtenir des résultats uniformes, exercer la pression sur des faces latérales des cubes et non sur les bases, c'est-à-dire sur les surfaces pilonnées.

La moyenne de deux essais doit être considérée comme la résistance normale dans l'un et l'autre cas.

A titre de document nous donnons ici les conditions imposées pour la réception des ciments aux services de l'État à Saïgon :

#### Marine nationale.

Le ciment devra réunir les conditions suivantes :

A la suite d'un mélange composé en volume de mi-partie de ciment et de mi-partie de sable :

1<sup>o</sup> Faire prise dans un délai compris entre 10 et 15 heures ;

2<sup>o</sup> Présenter une résistance minima de 15 kilogrammes par centimètre carré à la tension, après 31 jours d'immersion.

#### Direction d'artillerie.

Pour contrôler la qualité du ciment, la Direction d'artillerie pourra, si elle le juge utile, procéder à des essais de prise à l'aiguille Vicat. Si le ciment commence à prendre avant un délai de 30 minutes, ou termine sa prise avant un délai de 3 heures, la fourniture partielle sera refusée. De même la fourniture partielle sera refusée si la prise de l'échantillon n'est pas terminée dans un délai de 12 heures.

#### Ville de Saïgon.

Le ciment devra être de la meilleure qualité de Portland en genre portland et identique sous le rapport de la composition chimique, du degré de cuisson et des qualités hydrauliques au meilleur ciment de ce nom. La composition du ciment pourra être vérifiée par l'analyse chimique, dans le but de s'assurer qu'il ne contient pas de sulfate de chaux, non plus que de chaux en trop grand excès. Le ciment sera à prise lente,

il sera bien pulvérisé, passé au tamis de 169 trous ou mailles par centimètre carré, il ne donnera pas un résidu supérieur à  $1/20$  du volume expérimenté. Son poids sera au moins de 1.200 kilogrammes par mètre cube mesuré sans tassement dans une boîte de 40 cm. de hauteur. Le ciment ne devra pas faire prise dans l'eau en plus de 8 heures et en moins de 2 heures. La prise sera constatée par une aiguille Vicat de  $11/10$  de m/m de côté pesant 630 grammes. Après cinq jours d'immersion [120 heures], une briquette de 16 centimètres carrés de section composée de deux volumes de sable pour 1 volume de ciment, devra présenter à l'arrachement une résistance d'au moins 70 kilogrammes. Dans chaque lot de vingt-cinq barils, la municipalité choisira arbitrairement un baril dont elle expérimentera le contenu à la rupture de trois briquettes. Si la moyenne de trois charges de rupture est inférieure à 70 kilogrammes, tout le lot dans lequel le baril aura été choisi sera refusé.

#### **Nouvelle captation des eaux.**

Le ciment devra, après deux heures au moins et dix heures au plus d'immersion sous l'eau, supporter une charge de 600 grammes par millimètre carré sans dépression.

## CHAPITRE XVI

### **Ciments de laitier. Pouzzolanes. Trass. Mortiers spéciaux. Silico-Ciment.**

Ciments de laitier. — Pouzzolanes. — Pouzzolane artificielle. — Mortier silicaté. — Mastic Dihl. — Ciment à l'oxychlorure de zinc. — Mastic hydraulique. — Mastic des fontainiers. — Mastic des boulons de scellement. — Ciment blanc anglais. — Plâtre aluné. — Silico-ciment.

#### **Ciments de laitier.**

L'apparition des ciments de laitier est récente, ils forment maintenant la base d'une industrie complémentaire de celle des hauts fourneaux métallurgiques.

Pour qu'un laitier puisse convenir à la fabrication du ciment, la première condition est qu'il soit franchement basique, sans que toutefois il y ait un excès de chaux tel, que ces laitiers fusent au mouillage. D'après M. Tetmajer, les poids de la chaux, de la silice et de l'alumine doivent être entre eux comme les nombres 46-30-16.

Une autre condition indispensable est la suivante : A la sortie du haut fourneau, le laitier doit être refroidi le plus possible et le plus rapidement possible.

Pour réaliser ces conditions, le jet de laitier fondu est envoyé en mince filet dans une grande masse d'eau. On obtient ainsi un sable d'apparence vitreuse. On accélère le refroidissement en amenant sur la tuyère même d'évacuation du laitier un jet d'eau froide sous pression qui entraîne le laitier dans les bacs à eau.

Le sable vitreux est retiré des bacs après chaque coulée

au moyen d'élevateurs munis de godets perforés, permettant l'égouttage. Il est criblé et les morceaux insuffisamment granulés sont rejetés. Ces sables sont versés à la partie supérieure de grandes cheminées munies de chicanes, de façon qu'ils ne puissent tomber que graduellement. Ces grandes cheminées sont traversées par un courant d'air chaud obtenu soit directement, soit par les gaz chauds du haut fourneau, et les sables arrivent secs à la partie inférieure.

On les reprend par des vis d'Archimède et on les envoie dans des moulins broyeurs à boulets frappeurs qui les réduisent en poudre fine passant à la toile 70.

On les mélange alors avec 30 à 55 p. 100 de leur poids de chaux, soit grasse, soit hydraulique, mais dont on a assuré la parfaite extinction et ce mélange est envoyé dans un tube finisseur Dana qui homogénéise la matière.

A la sortie du tube Dana, le ciment est fabriqué et peut être employé de suite; le silotage n'a pas d'intérêt, la matière ne devant pas contenir de chaux libre.

**Propriétés.** — Ces ciments contiennent toujours du sulfure de calcium qui donne la teinte verte caractéristique des laitiers et cette odeur d'hydrogène sulfurée qu'ont les mortiers.

Ils sont légers, leur densité est d'environ 1. leur poids spécifique 2,7. Leur finesse doit être très grande pour que le ciment soit bon.

La prise varie entre 10 et 20 heures.

Nous conseillons l'emploi de ces ciments de préférence pour travaux à l'eau douce ou à l'humidité. Il faut les écarter dans les travaux à l'air libre à cause des fendillements qui ne tardent pas à se produire et dans les travaux à la mer.

### Pouzzolanes. Trass.

Ce sont des masses d'origine volcanique, connues de toute antiquité et qu'on trouve particulièrement à Bacoli, près Naples ou aux environs de Rome, à Saint-Paul.

Dans le nord, on trouve des masses considérables de pouzzolanes dites Trass d'Andernach. Ces masses qui sont compactes et poreuses, sont laissées quelques mois en carrière après avoir été abattues, afin de les faire sécher. On les livre généralement en pierres et elles sont moulues sur le chantier où on les emploie.

### Analyses de quelques pouzzolanes d'après Vicat.

DÉSIGNATION DES POZZOLANES	CHAUX	CARBONATE DE CHAUX	MAGNÉSIE	CARBONATE DE MAGNÉSIE	MATIÈRES INERTES	SILICE	ALUMINE	PEROXYDE DE FER
Pouzzolane de Saint-Paul . . . .	8.80	»	4.70	»	»	45.00	14.80	12.00
— de Naples (brune) . . . .	8.96	»	»	»	20.00	24.50	15.75	16.30
— — (grise) . . . .	9.47	»	4.40	»	2.50	42.00	15.50	12.50
— — (grise dite de feu) . . . . .	»	19.67	»	6.83	7.30	33.67	14.73	9.46
— brune de Bessan (Hérault) . . . . .	8.70	»	»	»	4.50	38.50	18.35	14.90
Trass d'Andernach . . . . .	3.00	»	»	»	»	46.60	20.60	12.00
— . . . . .	2.33	»	1.00	»	8.57	46.25	20.71	5.58

Les pouzzolanes, réduites en poudre et mélangées avec la chaux, forment des mortiers qui durcissent rapidement, même sous l'eau. On les mélange à la chaux dans la proportion volumétrique de un ou deux de pouzzolane pour un de chaux.

*Pouzzolane artificielle.* — On peut fabriquer une pouzzolane artificielle en cuisant dans un four à briques à la température du rouge sombre un mélange de une partie en volume de chaux grasse éteinte en pâte molle, et quatre parties d'argile. Le mélange est maintenu à la consistance de la pâte à briques et moulé sous forme de briques grossières qu'on fait sécher, qu'on cuit et qu'on pulvérise.

La pouzzolane artificielle permet de donner aux mortiers le degré d'énergie hydraulique dont on a besoin.

**Mortiers ou liants hydrauliques spéciaux.**

*Mortier silicaté.* — On peut obtenir un mortier hydraulique acquérant rapidement une grande dureté par le procédé suivant dû à M. Kulhmann.

On fait un mélange de :

100	parties de chaux grasse ;
50	— de sable ;
15	— d'argile ;
5	— de silicate de potasse en poudre.

Ce mortier a permis de construire des citernes parfaitement étanches.

*Mastic Dihl.* — Ce mastic est employé pour le rejointoiement des dallages dans les endroits humides ou encore pour le rejointoiement des parements de maçonnerie de pierre de taille qui doivent être peints à l'huile ou encore lorsque ces parements sont exposés à l'air marin (cas des phares).

Il est composé de neuf parties de brique pilée ou plus simplement d'argile cuite, et d'une partie de litharge (oxyde de plomb). On les gâche avec de l'huile de lin ou plus simplement de l'huile de noix à raison de un litre d'huile pour quatre kilos de mastic. Les parties où le mastic doit être appliqué doivent être préalablement enduites d'une matière grasse pour éviter que l'huile de lin du mastic soit absorbée par les pores de la pierre et que, par suite, le mastic devienne trop sec.

Ce mastic acquiert rapidement une grande dureté.

*Ciment à l'oxychlorure de zinc.* — Ce ciment durcit assez vite, ne tache pas la pierre, et par suite permet de la raccommoder. Il acquiert une dureté comparable à celle du marbre. Il a été très employé ces dernières années pour la confection des briques d'agglomérés de liège dites « briques métallisées ».

On le fabrique en gâchant de l'oxyde de zinc en poudre

avec une solution d'oxychlorure de zinc. On s'oppose aux fendillements qui peuvent se produire en arrosant deux ou trois fois les enduits avec la solution d'oxychlorure. L'oxyde de zinc et la solution d'oxychlorure se trouvent tout dosés dans le commerce.

*Mastic hydraulique ordinaire.* — Ce mastic peut être employé pour rejointoyer les corniches des murs exposés à la pluie.

Il se compose d'une partie de chaux vive éteinte, de préférence dans du sang de bœuf, et de deux parties de ciment à prise demi-lente, auquel on ajoute de la très fine limaille de fer.

*Mastic des fontainiers.* — On prend deux litres de bon vinaigre dans lesquels on fait infuser pendant 24 heures 20 kilos de limaille de fer, fraîche et non rouillée, 1<sup>k</sup>,500 de sel marin et une gousse d'ail. On peut y ajouter un peu d'urine qui, d'après certains fontainiers, communique au mélange la propriété d'adhérer plus fortement.

Ce mastic s'emploie de suite et devient d'une dureté extraordinaire qui ne fait que croître avec le temps. Il donne aux joints de conduite d'eau une étanchéité parfaite.

*Mastic des boulons de scellements.* — On gâche avec de de l'huile de lin un mélange de 1 partie de chaux hydraulique, 2 parties de poudre de tuileaux et une demi-partie de limaille de fer.

*Mastic de fer.* — On gâche légèrement un mélange de 50 parties de limaille de fer et une de sel ammoniac en poudre. Ce mastic est surtout employé pour les joints de chaudière.

*Ciment blanc anglais ou plâtre aluné.* — Ce ciment qui prend en deux heures environ et acquiert de suite une dureté considérable, se fait en gâchant du plâtre ordinaire avec une solution d'alun de potasse dans des proportions telles que, pour 10 parties de plâtre, l'eau de gâchage continue 1 partie d'alun. On laisse durcir le mélange, on le cuit et on le triture.

Ce ciment résiste parfaitement pendant assez longtemps à l'action de l'eau. Il est susceptible de recevoir toutes sortes de colorations.

### **Silico-ciment.**

On donne ce nom à un produit nouveau qui est un mélange intime de sable et de ciment, finement broyé. Ce produit est sans intérêt spécial, c'est un ciment affaibli dont la vente à meilleur compte que le ciment ordinaire s'impose et dont l'emploi est restreint aux chantiers avoisinant l'usine productrice.

## CHAPITRE XVII

### **Mortiers.**

Généralités. — Emploi des ciments à prise lente; composition des mortiers les plus employés. — Sables : sable siliceux. — Sable calcaire. — Sable argileux. — Grosseur du sable. — Eaux employées pour les mortiers. — Mortiers de chaux. — Mortier de trass. — Mortiers de ciment. — Calcul du vide d'un sable. — Volume des pâtes de ciment et de chaux. — Exemples. — Fabrication des mortiers. — Gâchage à bras. — Prix de revient. — Procédés mécaniques. — Manège à roues, malaxeur à bras, à manège ou à vapeur, machine système Michel. — Durcissement et résistance des mortiers. — Mortiers bâtards.

On appelle mortier un composé renfermant plusieurs matières, les unes liantes, les autres inertes, qui, additionné de la quantité d'eau voulue, donne une pâte liquide. Cette pâte en durcissant sous l'influence de combinaisons chimiques, adhère aux matériaux diverses de construction et remplit les vides laissés entre ces matériaux.

Il ne suffit pas d'avoir de bons produits hydrauliques pour faire de bons mortiers. Il faut que les ouvriers qui les emploient soient bien guidés par les chefs de chantiers et ne s'écartent pas des règles que nous allons donner. Les entrepreneurs ne doivent pas oublier que c'est à eux de prendre leurs mesures contre les fabricants pour le cas d'une livraison défectueuse, car la plupart du temps on se fie sur les marques et on ne fait pas d'essais; d'ailleurs, souvent les travaux étant pressés, on n'a pas le temps d'en faire. De leur côté, Messieurs les ingénieurs et architectes ne peuvent tenir

compte de ces détails, soit de réception des ciments, soit d'emploi, et refusent simplement de recevoir les travaux exécutés. Il est donc de toute nécessité pour l'entrepreneur, en cas de contestation, de pouvoir justifier qu'il a fait des matériaux un emploi rationnel.

**Emploi des ciments à prise lente.** — L'entrepreneur ne devra jamais oublier que quel que soit le renom de la marque employée et le succès obtenu par son emploi dans des constructions précédentes, il risque toujours que le fabricant, dans le but de ne pas manquer une commande pressée, lui livre des ciments frais, non reposés. Or, la condition du silotage pendant environ six semaines est d'intérêt primordial pour tous les ciments en général, et en particulier pour les ciments naturels, qu'ils soient à prise lente ou à prise rapide.

Nous conseillons aux entrepreneurs d'avoir des silos où ils emmagasineront la quantité de ciment qui leur est nécessaire pour un mois environ. Il seront sûrs d'avoir des ciments reposés et homogènes.

Le ciment et le sable doivent être mélangés à sec et sur une aire dure, jamais les mortiers ne devront être préparés sur la terre nue, le rabot pouvant ajouter de la terre au mortier et fausser les mélanges.

La quantité d'eau de gâchage ne devra jamais dépasser le volume du ciment contenu dans le mortier. On devra tenir compte de l'humidité des sables employés et déduire cette quantité de l'eau de gâchage.

Éviter de préparer de trop fortes quantités de mortier, de peur que l'ouvrier, ne jugeant plus son mortier assez pâteux, lui ajoute une nouvelle quantité d'eau. Cette eau détruirait le commencement de combinaison chimique de la silice et de l'alumine avec la chaux et enlèverait au mortier ainsi rebattu une partie de son énergie.

Avoir soin de saturer d'eau les surfaces sur lesquelles on doit appliquer le mortier.

Tableau de la composition de quelques mortiers de ciment Portland.

NATURE DES MORTIERS ET TRAVAUX AUXQUELS ON LES EMPLOIE LE PLUS COMMUNÉMENT	N <sup>os</sup>	DOSAGES				QUANTITÉ D'EAU nécessaire pour amener le mortier à la consistance voulue	VOLUMES DE MORTIER obtenus par le mélange précédent.		POIDS DE PORTLAND ET VOLUMES de sable pour un m. c. de mortier de mortier non tassé.	
		PORTLAND	SABLE	POIDS DU PORTLAND	VOLUMES DE SABLE		NON TASSÉ	TASSÉ	PORTLAND	SABLE
				kilogr.	m. c.	litres.	m. c.	m. c.	kilogr.	m. c.
<b>Mortier de Portland pur.</b> . . . . .	1	1	0	1350	0.00	370	0.80	1690	0.00	0.00
<b>Mortiers très gras, pour enduits verticaux, chap- pes de quais dans les gares, rejointements, etc.</b> . . .	2	1	1	1350	1.00	400	1.53	855	0.66	0.66
<b>Mortiers ordinaires, pour chappes de trottoirs et enduits de toutes sortes, bassins, cuves à vin et de tanneries.</b> . . . . .	3	1	2	1350	2.00	450	2.22	490	0.73	0.73
	4	1	3	1350	3.00	600	3.17	355	0.80	0.80
	5	1	4	1350	4.00	680	3.80	305	0.91	0.91
<b>Mortiers ordinaires, pour grosse maçonnerie hy- draulique et étanche, bétons, etc.</b> . . . . .	6	1	5	1350	5.00	780	4.75	255	0.95	0.95
	7	1	6	1350	6.00	780	5.40	215	0.95	0.95
	8	1	7	1350	7.00	910	6.65	185	0.95	0.95
<b>Mortiers maigres, pour moulages, voûtes, rocaill- lages d'aires, etc.</b> . . . . .	9	1	8	1350	8.00	1000	7.60	160	0.95	0.95
	10	1	9	1350	9.00	1125	8.55	140	0.95	0.95
	11	1	10	1350	10.00	1100	9.50	127	0.95	0.95

Ne jamais laisser sécher brusquement les mortiers employés soit en enduits, soit en revêtements, mais les maintenir humides pendant plusieurs jours, soit en les recouvrant pour les protéger du soleil, soit en les arrosant fréquemment. Pour les dallages, aussitôt que la prise a eu lieu, on recouvre le dallage de sable qu'on maintient humide pendant une semaine.

**Sables.** — Les sables employés pour les mortiers hydrauliques peuvent se diviser en trois qualités : 1° les sables siliceux ; 2° les sables calcaires ; 3° les sables argileux.

*Sable siliceux.* — C'est le meilleur de tous les sables et le seul à employer dans une construction importante. Le meilleur sable siliceux est le sable de rivière. Le sable siliceux de carrière a l'inconvénient de contenir de la terre. Quant au sable de mer, il présente l'inconvénient d'être en général trop fin et trop régulier ; on peut néanmoins l'employer en prenant la précaution de le laisser se laver par les pluies. Pour reconnaître s'il contient encore une quantité appréciable de sel marin pouvant nuire au mortier, il suffit de l'agiter avec un peu d'eau, puis d'y verser un peu d'acide azotique et quelques gouttes de nitrate d'argent ; si le sable contient encore du sel marin, on voit se former immédiatement un précipité blanc de chlorure d'argent.

*Sables calcaires.* — Ces sables peuvent donner de bons résultats, pourvu qu'ils ne contiennent pas de calcaires tendres ou des débris de coquillages en trop fortes proportions. Les calcaires compacts concassés, donnent un très bon sable qu'on peut même employer pour des constructions importantes, lorsque le sable siliceux de rivière vient à manquer.

*Sable argileux.* — On peut employer pour des constructions d'importance secondaire des sables argileux dont la teneur en argile ne dépasse pas 10 p. 100. Au delà de cette proportion, le sable forme pâte avec l'eau et ne peut plus être employé.



rescences salines. Son emploi, de même que celui des eaux saumâtres, doit être évité pour la construction des habitations ou des édifices. Toutefois, pour le gâchage des mortiers destinés aux travaux à la mer, il paraît résulter des recherches de MM. Chatoney et Rivot qu'il y a tout avantage à préconiser l'emploi d'eau de mer.

Nous donnons ici la composition des eaux des mers qui baignent la France d'après les chimistes dont nous donnons les noms :

PRINCIPES CONTENUS	PRÈS DE	COTE		MER	MANCHE
	BAYONNE	DE LA MÉDITERRANÉE		DU NORD	
	— Bouillon- Lagrange et Vogel	Bouillon- Lagrange et Vogel	Laurent	— Marceet	— Schweitzer
Chlorure de sodium . . .	25.10	25.10	27.22	26.60	27.059
— de potassium . .	"	"	0.01	1.23	0.765
— de magnésium . .	3.50	5.25	6.14	5.15	3.666
Bromure de magnésium . .	"	"	"	"	0.029
Sulfate de magnésie . . .	5.78	6.25	7.02	"	2.295
— de soude . . . . .	"	"	"	4.66	"
— de chaux . . . . .	0.15	0.15	0.10	0.15	0.033
Carbonate de chaux . . .	0.20	0.15	0.20	"	1.406
Acide carbonique . . . . .	0.23	0.11	Traces	"	Traces

**Mortiers de chaux.** — Pour les travaux ordinaires, on emploie, en général, le dosage de 200 à 250 kil. de chaux par mètre cube de sable.

Pour les travaux soignés ou exposés à l'humidité, on emploie le dosage de 300 kil. par mètre cube de sable.

Pour les travaux à l'eau, on va jusqu'à 350 kil., mais ce dosage est rarement dépassé et peut être tenu pour un maximum.

Ces dosages sont pratiques et sont beaucoup inférieurs à ceux que donnerait le calcul.

En effet, théoriquement la quantité de chaux à incorporer au sable pour faire le mortier devra être telle que la pâte de chaux remplisse totalement les vides du sable. Or, pour

du sable tel que nous l'avons défini sous le n° 3, le vide pour un mètre cube de sable est d'environ  $0^{\text{m}^3},400$ . D'autre part, un mètre cube de chaux fournit environ  $0^{\text{m}^3},680$  de pâte de chaux, ce qui porte à environ 1,100 kil. (chiffre variable suivant la densité de la chaux) le poids de chaux susceptible de donner 1 mètre cube de pâte. Dans ces conditions, le poids de chaux capable de remplir en pâte les vides d'un mètre cube de sable sera

$$1100 \times 0,400 = 440^{\text{k}} \text{ de chaux environ.}$$

En pratique on n'emploie jamais de dosages aussi élevés.

**Mortier de trass.** — On obtient un excellent mortier en mélangeant en volume :

4	parties de	chaux hydraulique
5	—	trass.
5	—	sable.

**Mortiers de ciment.** — Nous donnons ici deux tableaux qui nous ont été communiqués par la maison Thorrand, Nicolet et C<sup>ie</sup>, indiquant, pour un dosage en poids déterminé, le dosage en volume correspondant et la quantité d'eau nécessaire pour le gâchage, le volume de mortier mis en place et la quantité de ciment entrant dans un mètre cube de mortier.

### Ciment prompt.

DOSAGE EN POIDS		DOSAGE EN VOLUME		QUANTITÉ D'EAU DE GÂCHAGE	VOLUME DU MORTIER une fois mis en place	QUANTITÉ DE CIMENT entrant dans 1 m <sup>3</sup> de mortier
Ciment	Sable	Ciment	Sable	Mortier ordinaire	Mortier ordinaire	Mortier ordinaire
Kilos	Volume 1 <sup>m3</sup>	Volume	Volume	Litres	Litres	Kilos
100		1	12	210	880	113
200	1	1	6	240	920	216
300	1	1	4	255	960	312
400	1	1	3	270	1.010	396
500	1	1	2.2	280	1.050	476
600	1	1	1.8	295	1.100	545
700	1	1	1.5	320	1.140	614
800	1	1	1.3	350	1.190	672
900	1	1	1.2	375	1.240	725
1.000	1	1	1.1	400	1.290	775
1.100	1	1	1	430	1.335	814

## Ciment portland artificiel.

DOSAGE EN POIDS		DOSAGE EN VOLUME		QUANTITÉ D'EAU DE GACHAGE		VOLUME DU MORTIER une fois mis en place		QUANTITÉ DE CIMENT entrant dans 1 m <sup>3</sup> de mortier	
Ciment	Sable	Ciment	Sable	Mortier ordinaire	Mortier pour dallage	Mortier ordinaire	Mortier pour dallage	Mortier ordinaire	Mortier pour dallage
Kilos	Volume 1 <sup>m3</sup>	Volume	Volume	Litres	Litres	Litres	Litres	Kilos	Kilos
100	1	1	12	210	140	880	780	113	128
200	1	1	7	240	146	920	815	216	245
300	1	1	5	255	148	960	840	312	357
400	1	1	3.5	270	152	1.010	880	396	456
500	1	1	2.8	280	160	1.050	910	476	550
600	1	1	2.3	290	165	1.100	975	545	615
700	1	1	2.0	300	180	1.140	1.010	614	693
800	1	1	1.8	310	200	1.190	1.075	672	744
900	1	1	1.6	330	225	1.240	1.130	725	792
1.000	1	1	1.4	355	255	1.290	1.200	775	833
1.100	1	1	1.3	380	275	1.335	1.260	814	869
1.200	1	1	1.2	405	305	1.390	1.310	860	924
1.300	1	1	1.1	430	330	1.450	1.360	895	950
1.400	1	1	1	465	360	1.550	1.420	903	985

**Calcul du vide d'un sable.** — On remplit avec le sable à essayer une éprouvette de 1 litre de capacité, et on verse ensuite, au moyen d'une éprouvette graduée, une quantité d'eau suffisante, pour que cette eau vienne affleurer le dessus du sable. Le volume de l'eau versée est égal à celui des vides.

Il ne faut pas oublier que les sables mouillés éprouvent un tassement de  $\frac{1}{20}$  environ et par conséquent, pour obtenir un mètre cube de mortier, il faudra calculer sur 1<sup>m3</sup>, 05.

**Poids spécifique d'un sable.** — On obtient en pratique très approximativement le poids spécifique d'un sable :

On pèse 100 grammes de sable bien sec, et on les verse dans une éprouvette graduée contenant 100 centimètres cubes d'eau. La différence de niveau, après introduction du sable, donne exactement le volume occupé par ces 100 grammes. En divisant 100 par cette différence de volume, on a le poids spécifique du sable. En général, ce poids spécifique est de 2,50 environ. Connaissant le poids spécifique, il est facile de déduire le vide.

En effet, supposons qu'on ait pesé à part un litre de sable bien sec et qu'on ait trouvé comme poids 1,400 grammes; le volume réel occupé par le sable sera :

$$\frac{1,400}{2,6} = 0,537$$

le vide sera donc  $1000 - 0,537 = 463$  centimètres cubes.

**Volume des pâtes de ciment et de chaux.** — On admet, en pratique, que le rendement en pâte d'un ciment portland s'obtient en multipliant le poids de ciment employé par 0,33 et en ajoutant au chiffre ainsi trouvé le volume de l'eau de gâchage.

*Exemple :* 50 kil. de ciment gâchés avec 13 litres d'eau donneront

$$50 \times 0,33 + 13 = 16,50 + 13 = 29,500 \text{ de pâte.}$$

D'une manière générale, pour obtenir le volume de pâte d'une chaux ou d'un ciment, il faut commencer par chercher le poids spécifique du produit employé.

Supposons une chaux de bonne qualité ayant pour poids spécifique 2,7. Le volume absolu de 1 kil. de poudre sera

$$\frac{1000}{2,7} = 370 \text{ centimètres cubes.}$$

Le gâchage en pâte ferme d'une chaux hydraulique exige environ 0<sup>k</sup>,500 d'eau par kilogramme de chaux. Le volume de la pâte sera donc

$$370 + 0,500 = 870 \text{ centimètres cubes.}$$

Il est maintenant facile de calculer les proportions d'un mortier.

Prenons un sable pesant 1,400 grammes par litre et dont le volume du vide soit de 463 centimètres cubes; le ciment employé est du ciment portland qui devra être gâché avec 450 grammes d'eau par kilogramme pour être amené à la consistance voulue.

Le volume d'un kilogramme de pâte de ce ciment sera

$$1000 \times 0,330 + 450 = 780 \text{ centimètres cubes.}$$

La quantité du ciment nécessaire pour un litre de mortier, étant donné que le sable a 463 centimètres cubes de vide, sera :

$$\frac{463}{780} \times 1000 = 593 \text{ grammes.}$$

L'eau de gâchage sera

$$593 \times \frac{450}{1000} = 266 \text{ cent. cubes.}$$

Il est évident qu'on devra avoir comme vérification

$$\frac{1400}{2,6} + \frac{593}{3,40} + 266 = 1000.$$

Volume réel du sable.	+	Volume réel du ciment.	+	266	=	1000.
				Volume d'eau.		

En réalité, on trouve

$$537 + 191 + 266 = 994 \text{ cent. cubes.}$$

Cette légère erreur provient de ce qu'on a pris pour le volume occupé par 1.000 gr. de ciment, le chiffre de 330 centimètres cubes, alors qu'en réalité le volume occupé est légèrement plus élevé.

*Remarque.* — On a pu observer que nous prenons comme eau de gâchage une quantité supérieure à celle qui devrait être théoriquement employée. 1 kilogramme de Portland n'aurait dû être gâché qu'avec 250 gr. d'eau et nous indiquons 450 grammes. Cela tient au fait que l'eau ajoutée en plus n'est pas destinée à réduire le ciment en pâte, mais bien à être absorbée par les grains du sable suivant la nature même de ce sable. C'est par une expérience directe sur un litre de sable auquel on ajoute la proportion de ciment voulue qu'on détermine cette quantité d'eau.

*Exemple numérique du calcul d'un mortier de chaux.* — Supposons toujours un sable dont le poids spécifique soit 2,6. Le poids du litre de sable sec a été trouvé de 1400 grammes. Le vide sera donc de 463 centimètres cubes. La chaux employée a pour poids spécifique 2,7. Le volume

de la pâte gâchée avec 500 centimètres cubes par kilogramme de chaux en poudre sera

$$\frac{1000}{2,7} + 500 = 370 + 800 = 1170 \text{ centimètres cubes.}$$

La quantité de chaux par litre de mortier sera :

$$\frac{463}{1170} \times 1000 = 395 \text{ grammes.}$$

L'eau de gâchage sera :

$$395 \times \frac{800}{1000} = 316 \text{ centimètres cubes.}$$

Comme vérification :

$$\frac{1400}{2,6} + \frac{395}{2,7} + 316 = 537 + 146 + 316 = 999^{\text{es}}$$

*Conclusions.* — De ce qui précède, on peut remarquer que la densité apparente d'un produit hydraulique n'influe pas sur le rendement en mortier. Le poids spécifique seul a de l'influence.

Plus un ciment est fin, plus la proportion d'eau de gâchage sera élevée.

Quand un mortier sera destiné à être comprimé fortement, la proportion sera faible, le mortier devra être gâché serré et avoir la consistance d'une terre humide.

### Fabrication des mortiers.

Lorsqu'on a déterminé les proportions du mortier, on fait les dosages, ce qui consiste à mesurer d'après des unités données (seaux, gamattes, brouettes, sacs ou wagonnets) les quantités de chaux ou de ciment et de sable qui doivent entrer dans les mortiers.

*Gâchage du mortier de chaux à bras.* — On prépare une cuve en planches ou en pierre dure, de façon à ne pas mélanger de terre au mortier. On gâche d'un coup environ 3 brouettes de sable qu'on étale en forme de cratère

arrondi et on verse dans ce cratère le nombre de sacs de chaux nécessaire. On mélange ensuite à sec, on reforme le cratère et on verse la quantité d'eau que l'expérience et le calcul ont indiqué. On brasse le tout avec un rabot en fer qu'on pousse avec force en le maintenant à plat, de façon à écraser les mottes et qu'on ramène à soi en le maintenant sur le tranchant, de façon à labourer le mortier et bien mélanger ses éléments. Pendant qu'un ouvrier manœuvre le rabot, un autre remue le tas à la pelle.

La confection du mortier est terminée quand la pâte obtenue présente un aspect homogène et qu'on ne voit plus de particules de chaux non mélangées au sable.

*Prix de revient.*

Dans une entreprise assez importante (Reconstruction de l'usine Villeneuve) que nous avons dirigée en 1899, les expériences suivies pendant plusieurs jours à diverses reprises nous ont donné les moyennes suivantes :

Le sable était mesuré dans des brouettes calibrées et chaque broyée était de 0<sup>m3</sup>, 600.

Le cube de mortier journalier était de 81 broyées ou 48<sup>m3</sup>, 600.

Le nombre de manœuvres employés était de 20, dont le salaire journalier était en moyenne de 3 fr.

La dépense était donc de 60 fr.

Le prix de revient du mortier  $\frac{60}{48.600} = 1 \text{ fr. } 23^c$ .

A ce chiffre il faut ajouter les frais de surveillance, et d'usure du matériel, ce qui porte le prix de revient de la main-d'œuvre du mètre cube de mortier à 1 fr.50 environ.

**Procédés mécaniques.** — Dans les entreprises un peu importantes, on prépare toujours le mortier par des moyens mécaniques.

Le plus connu est le manège à roue (fig. 118) dans lequel de grandes roues au nombre de deux et plus souvent quatre écrasent les matières et les mélangent intimement. Des

râteaux en fer ramènent le mortier sous les roues. Quand on juge le mortier suffisamment gâché, on ouvre une

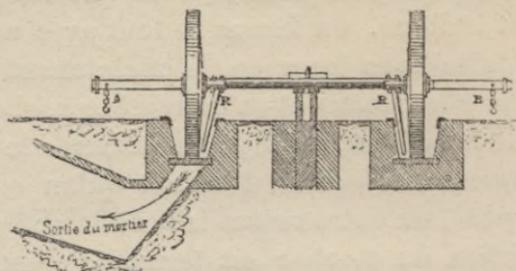


Fig. 118. — Manège à roues pour la fabrication du mortier.

trappe placée au fond de l'auge et le mortier tombe sous l'appareil où il est repris par des brouettes ou des wagonnets.

**Tonneau malaxeur vertical à bras, à manège ou à vapeur.** — Le manège à roues est remplacé de préférence dans les grands chantiers par les tonneaux malaxeurs (fig. 119, 119 bis, 120, 121). Ce sont des cylindres en tôle.

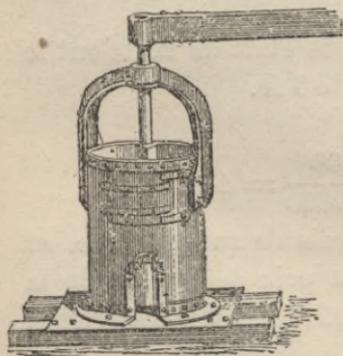


Fig. 119. — Malaxeur à mortier à bras.

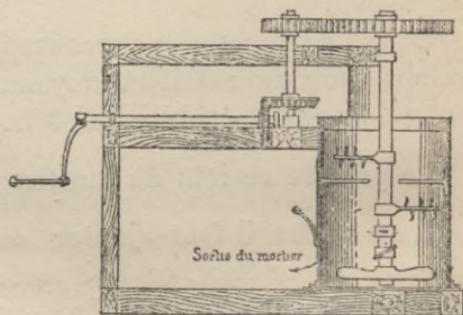


Fig. 119 bis. — Malaxeur à manège.

Un arbre vertical est situé dans l'axe et porte des bras de fer armés de griffes. La paroi du cylindre porte elle-même des bras fixes contrariant le mouvement des matières provoqué par les bras mobiles de l'arbre vertical.

Au bas de l'appareil, se trouvent deux portes de sortie pour les mortiers fabriqués.

Nous signalerons encore le malaxeur à auge tournante employé aux travaux du port d'Anvers.

Enfin toutes les mélangeuses et gâcheuses mélangeuses de ciment artificiel cru (procédé par voie sèche) peuvent servir à la fabrication du mortier.

D'après les renseignements qui nous ont été donnés, le

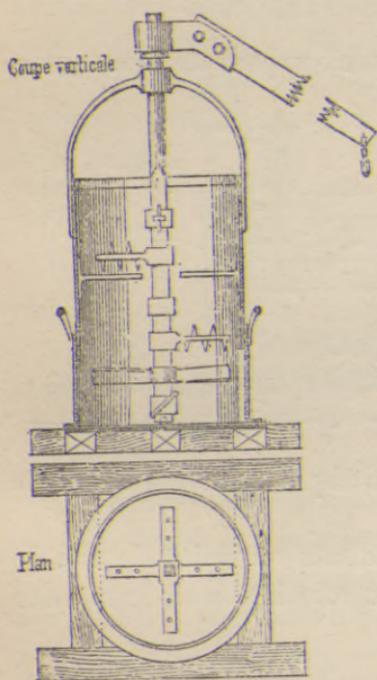


Fig. 120. — Malaxeur à manège.

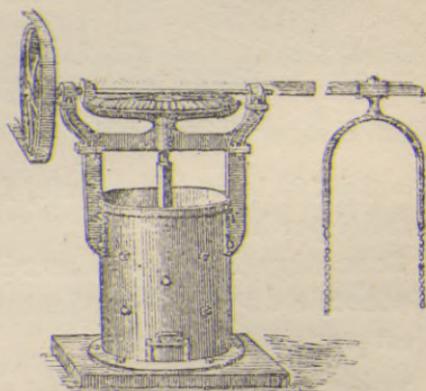


Fig. 121. — Malaxeur à mortier, à vapeur ou à manège.

prix de revient de la main-d'œuvre du gâchage du mortier par les procédés mécaniques serait :

Mortier fabriqué au manège à roues, mù par la vapeur : de 1 fr. 15 à 1 fr. 25 le mètre cube ;

Mortier fabriqué au manège à roues, mù par un cheval, dont nous avons parlé pour la confection des briques de ciment artificiel cru : de 1 fr. 75 à 2 fr. le mètre cube ;

Mortier fabriqué au tonneau malaxeur mù par la vapeur : de 1 fr. 20 à 1 fr. 50 le mètre cube.

**Manège horizontal à hélice, système Michel** (fig. 122). — Ce manège est mù par la vapeur et se compose

d'une trémie, où on jette à la pelle le sable et le ciment et d'une hélice logée dans une auge carrée où se fabrique le mortier. Les matières sont mélangées dans la trémie au moyen de palettes et s'en échappent pour tomber dans l'auge où elles sont arrosées d'eau au moyen d'un robinet et d'un tube arrosoir.

Un pareil manège avec 2 chevaux-vapeur de force, mar-

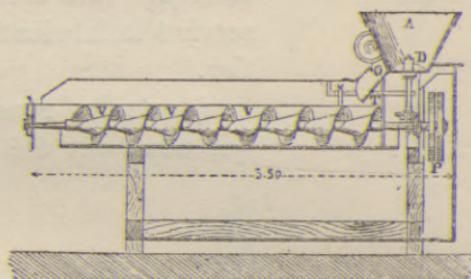


Fig. 122. — Manège à hélice, système Michel.

chant à 160 tours par minute, fabrique 3 mètres cubes de mortier par heure.

Ce manège donne de bons résultats au point de vue de l'économie du prix de revient du mortier, mais le mortier n'est pas très bien gâché.

**Mortiers bâtards.** — On appelle ainsi le mélange de chaux et de ciment destiné à confectionner les mortiers. Ces mortiers bâtards ont été étudiés principalement par M. Dyckerhoff.

Ce savant a démontré que l'addition, en petite quantité, de chaux grasse à un mortier maigre de ciment portland, lui donnait une onctuosité favorable à l'emploi, et augmentait notablement la résistance.

Au contraire, pour les mortiers riches, l'addition de chaux est plutôt nuisible.

M. Dyckerhoff recommande le mélange

2 de ciment,  
4 de chaux grasse,  
14 de sable.

Dans l'ordre inverse, le ciment ajouté aux mortiers de chaux en accélère la prise et en augmente la résistance.

Dans tous les cas, les mortiers bâtards doivent être bien brassés, de manière que le mélange soit bien intime.

**Durcissement et résistance des mortiers.** — Il résulte des travaux de MM. Dyckerhoff, Böhme et Alexandre, que le froid même à 6° au-dessous de zéro n'a d'autre importance pour le mortier de ciment que le retardement de la prise.

Il n'en est pas de même pour les mortiers de chaux.

D'une manière générale, et quoique la question soit controversée, il faut éviter le rebattage des mortiers quel que soit le genre de travaux auxquels ils sont destinés.

La résistance à l'écrasement des mortiers est considérable et atteint rapidement celle de la pierre.

La résistance à la traction est faible, il est toutefois difficile d'assigner des limites minima.

Les mortiers éprouvent des tassements dont il faut tenir compte, lorsqu'ils sont soumis à des charges importantes.

M. Vicat a trouvé qu'un mortier de chaux éminemment hydraulique acquérait une résistance à la compression de 144 kil. par centimètre carré avec un tassement de 0<sup>m</sup>,0071 par mètre de hauteur.

**Durcissement des mortiers.** — Quant à la cause du durcissement des mortiers, elle a été étudiée successivement par Vicat, Rivot et Chatonay, Fuchs et Pettenkoffer, Frenig et finalement par M. Le Chatelier.

Des études de M. Le Chatelier, il ressort que l'élément constitutif du ciment, et celui qui joue le rôle le plus actif dans la prise, est le silicate tricalcique  $\text{SiO}_2 \cdot 3\text{CaO}$ .

Le silicate bicalcique  $\text{SiO}_2 \cdot 2\text{CaO}$  se réduit en poudre lorsqu'il se refroidit et c'est à sa présence que serait due la pulvérisation spontanée de certaines roches de ciment lors du défournement.

L'aluminate de chaux qui existe dans le ciment portland

en quantités variables n'influerait que sur la prise et serait sans effet sur le durcissement ultérieur.

Le sulfate de chaux ajouté au ciment en petites quantités, ralentit la prise et augmente sa résistance.

Voir à ce sujet les travaux de M. Le Chatelier (*Recherches expérimentales sur la constitution des mortiers hydrauliques*. — *Annales des mines* (mai et juin 1887) et de M. Candlot (*Chaux et Ciments*).

## CHAPITRE XVIII

### **Bétons.**

Définitions. — Proportion de cailloux et de mortier. — Composition des divers bétons. — Fabrication du béton. — Bétonnière Krantz. — Bétonnières verticales. — Bétonnière Carrey. — Emplois du béton. — Emploi sous l'eau. — Bétons agglomérés. — Procédé Coignet. — Malaxage du béton Coignet. — Bétonnière Franchot. — Qualités des bétons agglomérés.

On appelle béton un mélange de mortier hydraulique avec de petits matériaux, des cailloux, des briques cassées, des débris de carrière, etc., concassés, de façon à ne pas présenter plus de 3 à 4 centimètres de côté.

La pierre cassée employée à la fabrication des bétons devra être exempte de poussière et de préférence bien lavée.

**Proportions de cailloux et de mortier.** — On commencera par mesurer les vides existant entre les cailloux; on emploie comme pour le sable un vase de capacité connue que l'on remplit de cailloux et qu'on arrose d'assez d'eau pour qu'elle affleure la surface. En général, le vide pour des pierres cassées de 0<sup>m</sup>,04 de côté est de 40 p. 100.

Lorsqu'on veut un béton absolument imperméable, on augmente d'un quart environ le volume du mortier à lui incorporer.

Nous donnons ici un tableau dressé par MM. Claudel et Laroque donnant la composition des bétons employés pour divers travaux hydrauliques :

NUMÉROS D'ORDRE	BÉTONS	MORTIER	CAILLOUX	EMPLOIS DE CES BÉTONS
1	Béton gras . . . . .	0 <sup>m</sup> 3,55	0 <sup>m</sup> 3,77	Pour radiers, réservoirs, etc., soumis à une pression d'eau considérable.
2	Béton ordinaire . . . .	0,52	0,78	Pour les ouvrages de maçonnerie des eaux et égouts de la ville de Paris.
3	Béton ordinaire . . . .	0,48	0,84	Pour les travaux de navigation dans Paris, fondations de piles de ponts, de murs de quais, etc.
4	Béton un peu maigre.	0,45	0,90	Pour fondations d'édifices sur terrains humides et mouvants.
5	Béton maigre . . . . .	0,38	1,00	Massifs, fondations, etc., sur terrain sec et mouvant.
6	Béton très maigre . . .	0,20	1,00	
7	Béton ordinaire . . . .	0,50	1,00	Pour blocs artificiels faits avec mortiers de chaux du Teil, ports de Marseille, de Toulon et d'Alger.
8	Béton moyennement gras . . . . .	0,56	0,90	Jeté dans des enceintes asséchées.
9	Béton très gras . . . .	0,57	0,85	Immergé frais à la mer.

### Fabrication du béton.

1° *A bras*. — Lorsqu'on a établi la composition du béton, on dispose un plancher en bois analogue à celui dont nous avons parlé pour la confection du mortier. On amène les pierres et le mortier par brouettes jaugées.

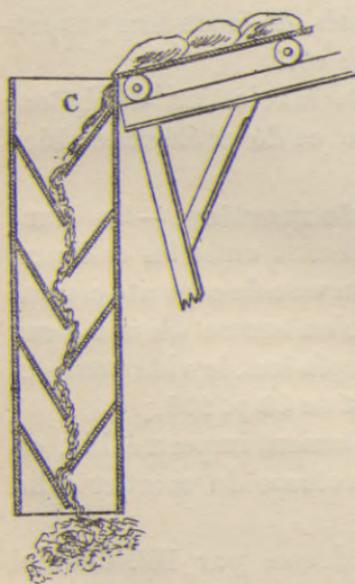


Fig. 123. — Couloir à béton de M. Krantz.

On commence par verser une première brouette de cailloux qu'on étale sur le plancher, puis on verse dessus une brouette de mortier, puis des cailloux et ainsi de suite, de façon à faire une série de couches stratifiées. On retourne alors le tas à la pelle, puis on l'étale à nouveau au moyen d'un rabot à 3 dents. Le brassage est terminé lorsque

les cailloux sont complètement enrobés de mortier.

2° *Couloir à béton*. — Cet appareil a été imaginé par M. Krantz, ingénieur des ponts et chaussées; il consiste en un coffre rectangulaire en madriers jointifs, renfermant une série de chicanes inclinées en sens inverse. On jette le mortier et la pierre cassée par l'ouverture supérieure, et le béton coule en cascade et arrive bien mélangé à la partie inférieure de l'appareil (fig. 123).

Cet appareil fonctionne parfaitement, et, bien qu'il soit suffisant pour les besoins d'un chantier d'importance moyenne, ne coûte que 150 fr. environ.

3° *Bétonnière verticale*. — C'est une modification du sys-

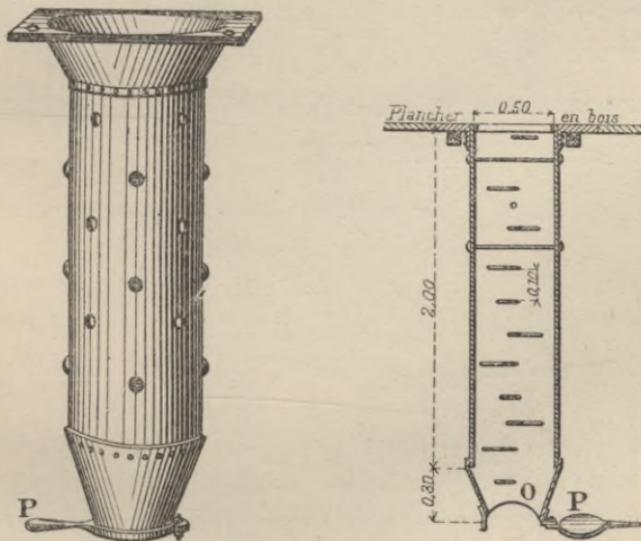


Fig. 124. — Bétonnière verticale. Fig. 125. — Bétonnière verticale (coupe).

tème précédent. Elle se compose d'un cylindre en tôle de 2 à 3 mètres de hauteur et de 0<sup>m</sup>,50 à 0<sup>m</sup>,60 de diamètre. A l'intérieur se trouvent une série de croisillons de fer remplaçant les chicanes de l'appareil Krantz (fig. 124 et 125).

**Bétonnière Carrey.** — Cette bétonnière se compose de deux élévateurs à godet venant puiser le sable et les pierres

dans des récipients continuellement alimentés (fig. 126).

Le ciment est versé à la partie supérieure dans une trémie munie d'une vis distributrice. Le mélange pierre,

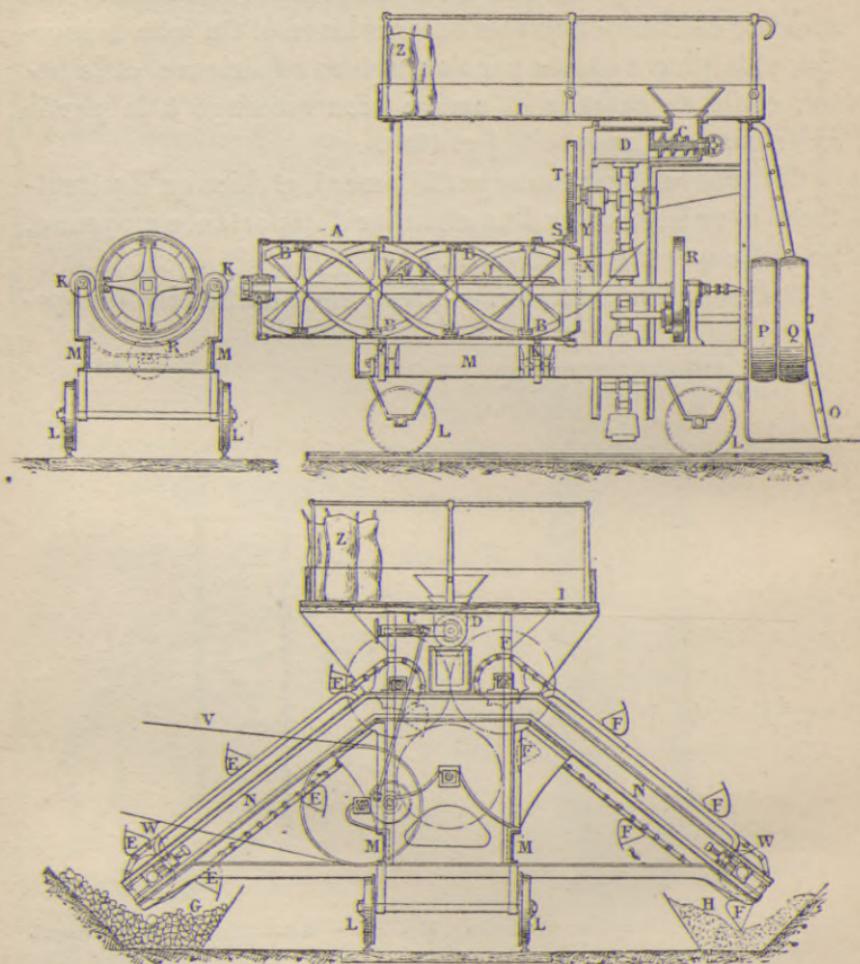


Fig. 126. — Bétonnière Carrey.

sable et ciment, est versé dans un cylindre horizontal tournant à 20 tours par minute et muni de bras intérieurs disposés en hélice allongée.

Le mélange sec est, dès son introduction dans le cylindre, énergiquement brassé et c'est ensuite vers le milieu de sa

course que l'eau lui est ajoutée en quantité voulue, au moyen d'un tuyau percé de petits trous formant arrosoir.

### Emploi du béton.

Lorsqu'on emploie le béton en fondations ou à l'air, on l'étale au fond des tranchées par couches de 0<sup>m</sup>,20 environ que l'on dame soigneusement. Pour les travaux très soignés, on diminuera l'épaisseur des couches et on la réduira à 0<sup>m</sup>,10. Il faut, autant que possible ne pas s'interrompre lorsqu'une couche est commencée, pour ne pas risquer d'avoir dans le béton une fente correspondant à la ligne d'interruption. Quand une couche précédemment posée est déjà sèche, lorsqu'on est sur le point d'y poser la couche supérieure, il est bon de l'enduire auparavant de mortier frais.

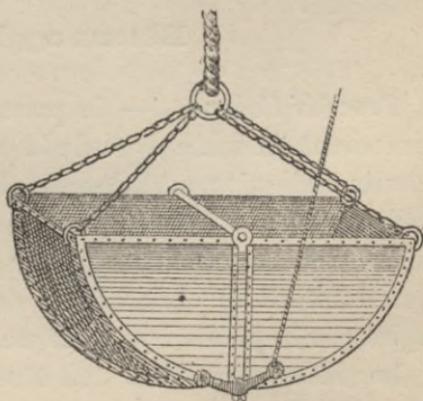


Fig. 127. — Caisse à couler le béton.

*Emploi sous l'eau.* — Lorsqu'on emploie le béton sous l'eau, l'opération est plus délicate. On emploie le coulage à la trémie ou le coulage par caisses.

Le coulage à la trémie s'opère par de grands tuyaux en bois ou en tôle, ayant à la partie supérieure un entonnoir. Le tout est supporté par des bateaux ou des échafaudages. On y verse le béton, qui va se répandre sur le fond et on promène la trémie partout où on veut verser le béton.

Le coulage par caisses est plus pratique et moins défectueux. La caisse, de capacité et de forme variables, est en tôle et suspendue par une corde; une deuxième corde permet de l'ouvrir à volonté et de déposer sur le fond le béton qu'elle renferme (fig. 127).

La caisse est suspendue à un treuil, l'immersion se fait sans secousse, de façon à éviter le délayage du mortier et la formation de la « laitance ». La caisse doit être complètement remplie, et la surface du béton rendue la plus lisse possible pour s'opposer à la pénétration de l'eau. On ouvre la caisse lorsqu'elle est à 0<sup>m</sup>,30 du fond.

Les « caissées » sont étendues les unes sur les autres jusqu'à ce qu'elles atteignent la hauteur voulue en formant une sorte de cône. Il faut s'opposer à ce que la laitance reste entre les couches de béton dont elle empêcherait l'adhérence; on l'enlève souvent au moyen de pompes.

### Bétons agglomérés.

*Procédé Coignet.* — Ce procédé consiste à mélanger intimement du sable avec de la chaux hydraulique ou de la chaux ordinaire additionnée de ciment portland en quantités variables. Gâcher ensuite ce mélange avec le moins d'eau possible et le comprimer fortement dans des moules qui subiront le choc répété de pilons ou sur lesquels on agira par la presse hydraulique.

Le sable le meilleur doit être propre, assez fin, à arêtes anguleuses et vives.

Le dosage adopté pour les travaux publics, égouts, murs de soutènement, réservoirs, etc., est le suivant :

Sable de rivière . . . . .	4 <sup>m</sup> 3
Chaux éminemment hydraulique . . . . .	175 <sup>k</sup>

ou avec des chaux ordinaires :

Sable . . . . .	4 <sup>m</sup> 3
Chaux . . . . .	125 <sup>k</sup>
Ciment portland . . . . .	50 <sup>k</sup>

**Malaxage du béton Coignet.** — Ce malaxage qui doit être très énergique, peut se faire si les travaux ne sont pas importants au moyen du malaxeur Coignet.

C'est un cylindre ouvert à sa partie supérieure et présen-

tant à la partie inférieure une ouverture annulaire; à l'intérieur, le cylindre porte de solides couteaux.

Un arbre vertical porte des couteaux recourbés croisant les couteaux fixes du cylindre.

Le mélange est amené par une noria ou souvent jeté à la pelle dans le cylindre; la sortie est retardée par le fait de l'ouverture annulaire qui peut elle-même être obturée plus ou moins par un cercle en fer.

Pour les travaux plus importants, on emploie la bétonnière Franchot, qui peut servir aussi pour la fabrication des bétons ordinaires. Nous empruntons sa description à l'ouvrage de M. Oslet sur les *Fondations, mortiers et maçonneries* (fig. 128 et suivantes).

1° La coupe du corps a la forme d'un *oméga* ( $\omega$ ); il se compose de deux *cylindres siamois* dans lesquels tournent des hélices conjuguées, c'est-à-dire à pas enchevêtrés.

2° Le double corps est horizontal et couché sur un essieu en fer entre deux roues, comme un canon sur son affût, lorsqu'on le transporte d'un lieu à un autre, mais il est incliné comme une charrette dételée lorsqu'on l'installe sur le chantier. Cette disposition permet de charger les matières plus près du sol, tandis qu'elles sont amenées, par la trituration et par le mouvement des hélices, à l'autre extrémité du double corps et assez haut pour être déversées immédiatement dans une brouette ou du moins pour former un tas important sans gêner le service, quand même le béton ne serait pas employé de suite.

3° Une grande facilité de locomotion résultant de ce que l'appareil reste toujours monté sur ses roues. Il suffit, en effet, de remonter les limonnières amovibles pour le déplacer.

4° L'exhaussement des organes mécaniques et leur éloignement du point où s'opère le chargement des matières pulvérulentes, d'où résulte : la commodité d'installation de la courroie motrice et la conservation des organes les plus délicats.

5° La facilité de la surveillance et du nettoyage, attendu

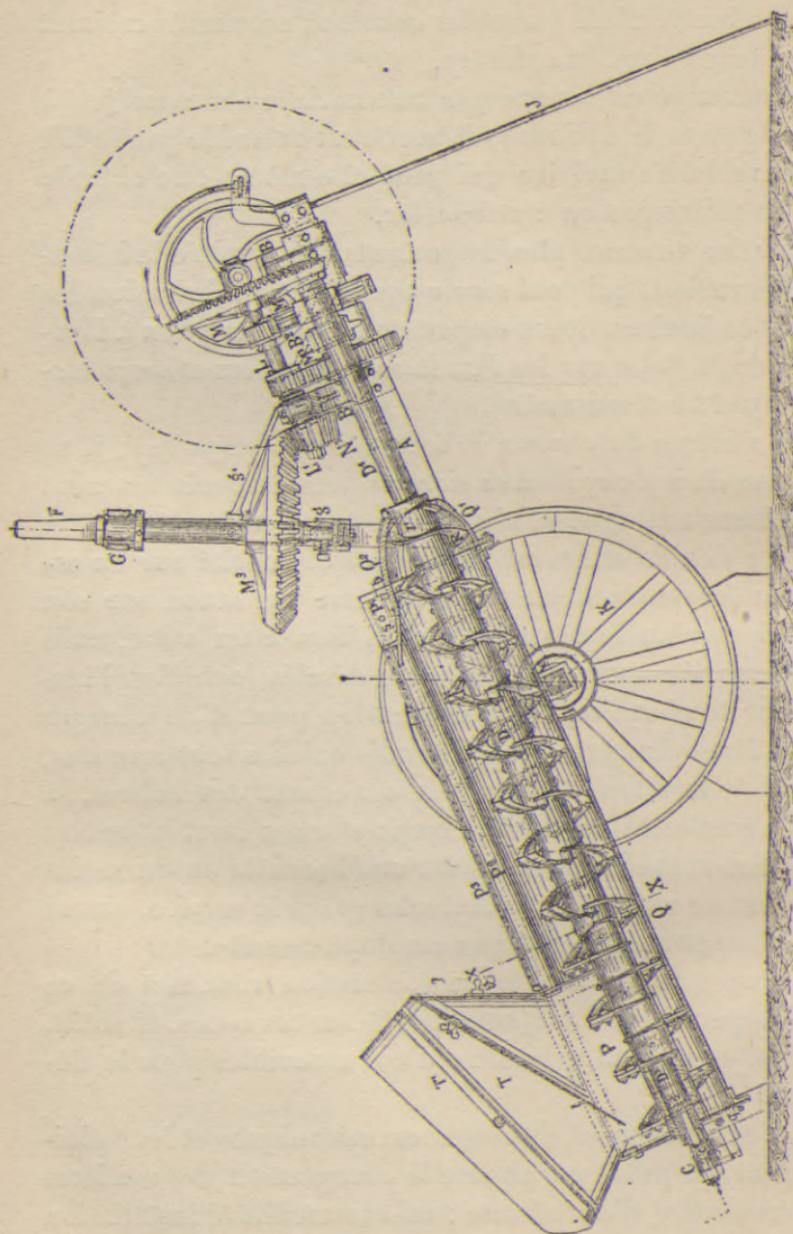


Fig. 128. — Bétonnière Franchot. — Élévation de la coupe suivant YY de la figure 129, installée pour la marche et munie de son pivot d'axe. On voit en coupe une des deux issues rétrécies ou ovoïdes Q1, à travers lesquelles le mortier est pressé au moyen de l'escargot tournant Rr. On voit également la chape p en coupe.

que les matières se préparent en partie à découvert,

6° La simplicité et la facilité du changement des or-

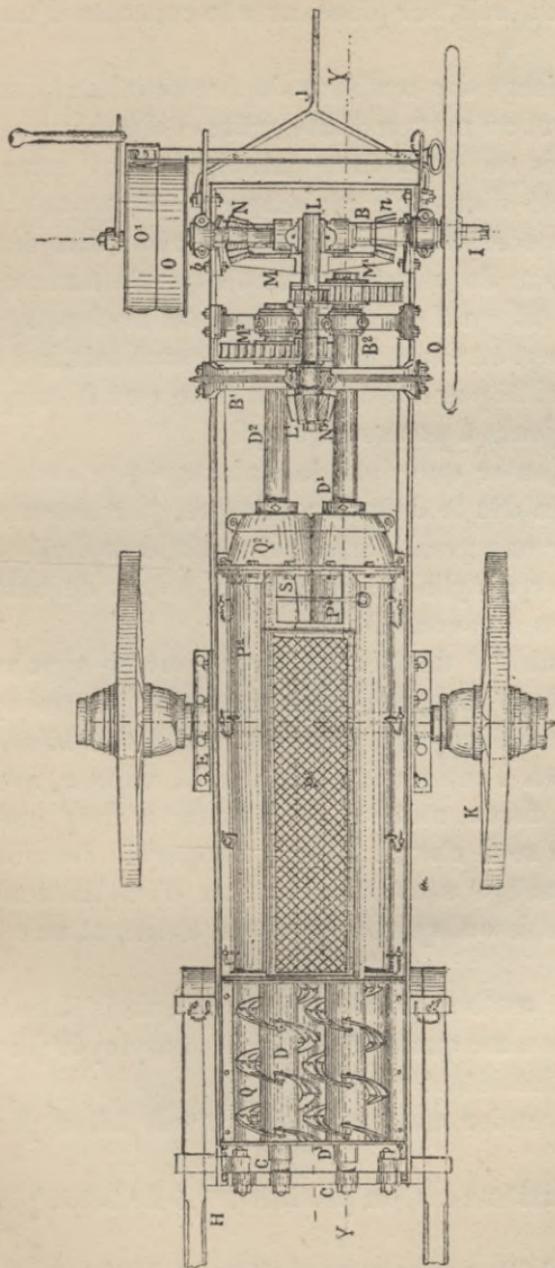


Fig. 120. — Vue en plan de la bétonnière ramenée à l'horizontalité laissant voir les hélices.  
La trémie T et l'attèle supposées enlevées.

ganes les plus exposés à l'usure (les hélices se composant

de barrettes en fer laminé dont le remplacement peut se faire à peu de frais, sur place, sans le concours d'un mécanicien).

7° Le tamisage des matières s'opère simultanément avec le chargement au moyen d'une grille et d'une vanne régulatrice; mais ce qu'il faut principalement remarquer, c'est la sûreté d'un bon malaxage résultant de la trituration par *ascensum*, qui reste pour ainsi dire indépendante des soins du chargeur, tandis que le malaxage par *descensum*, tel qu'il s'effectue dans les anciens appareils verticaux, peut être très négligé, et tout à fait insuffisant, si l'on ne veille pas constamment à ce que le corps vertical soit toujours à peu près rempli.

On doit ajouter que dans le malaxage par *ascensum* le béton est bon dès le début, tandis que, par *descensum*, il faut repasser une grande partie des matières dont on avait rempli le corps cylindrique vertical avant de mettre le mécanisme en mouvement.

8° La possibilité de faire servir un même type moyen, qui a été adopté de préférence sous le n° VI (ce système avec attèle et débrayage, pèse environ 2.000 kilos, roues comprises), en l'actionnant soit par la vapeur, avec une dépense de force motrice de quatre à cinq chevaux; soit par un seul cheval attelé, l'appareil recevant une attèle de manège sans modification d'installation; soit enfin par trois ou quatre hommes tournant aux manivelles.

Le produit est bon dans les trois cas, mais il reste proportionnel, comme quantité, à la force employée (la vitesse seule des hélices étant modifiée).

Dans le premier cas, on produit 6<sup>m3</sup> de béton plastique par heure.

Dans le deuxième cas, on produit 1<sup>m3</sup>,5 de béton plastique par heure.

Dans le troisième cas, on produit 0<sup>m3</sup>,5 de béton plastique par heure.

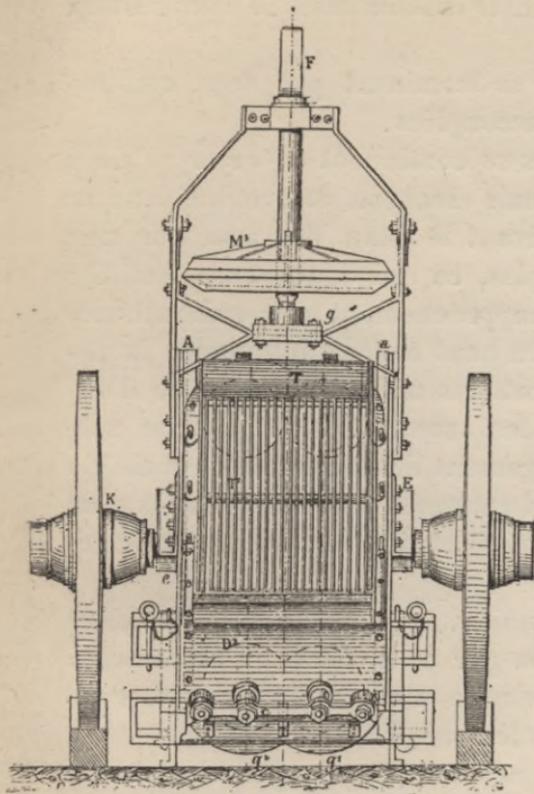


Fig. 130. — Projection d'avant en arrière faisant voir l'extrémité des axes du côté de l'avant.

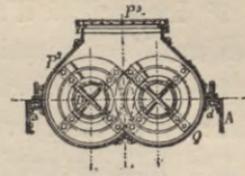


Fig. 132. — Coupe suivant XX de la figure 128 faisant voir les barrettes hélicoïdales montées sur manchons en fer creux.

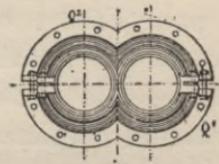


Fig. 133. — Vue de côté des cylindres jumeaux en  $\omega$  des ovoïdes  $Q^1$   $Q^2$  accouplés, mais divisés en deux pièces, suivant les axes.



Fig. 134. — Projection de l'escargot sur un plan perpendiculaire à l'axe.

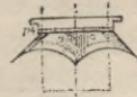


Fig. 135. — Vue en avant de la chape mobile formant double entonnoir pour faire pénétrer le béton dans les ovoïdes.

Cette plaque est montée à coulisse sur les hausses latérales P<sup>2</sup> pour faciliter le nettoyage; on la fixe au moyen d'une broche transversale s.

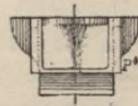


Fig. 136. — La même chape, vue en plan.

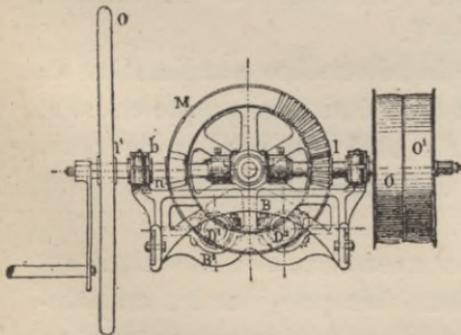


Fig. 131. — Projection d'arrière en avant des mécanismes de mouvement (perpendiculaire aux axes).

BOERO. — CHAUX HYDRAULIQUES.

9° La facilité d'augmenter indéfiniment la compression des matières plastiques.

Les *cylindres siamois* se terminent par deux embouchure rétrécies, ovoïdes accouplées.

Les hélices conjuguées se continuent en escargot dans l'intérieur des ovoïdes, mais escargots et ovoïdes peuvent se séparer en deux, suivant le plan des axes par une manœuvre des plus simples, ce qui donne toute facilité : 1° pour l'écart ou le rapprochement des embouchures ovoïdes par le calage. (On peut encore augmenter la résistance à la sortie des matières malaxées au moyen d'obturateurs coulissant sur les axes  $D^1$   $D^2$ ); 2° pour le nettoyage; 3° pour le changement des escargots en fonte de fer. D'ailleurs les ailettes extrêmes des escargots les plus exposées à l'usure peuvent recevoir des doublages de rechange en fer.

*Nettoyage de la bétonnière.* — Lorsque la bétonnière fonctionne par courroie ou par manivelles, on remonte, si l'on veut, légèrement la roue d'angle  $M^3$  pour éviter de faire tourner inutilement le pivot  $F$ .

A défaut de moteur par courroie ou par cheval, on monte une manivelle sur l'extrémité de l'axe  $r$  et une seconde en  $r^1$  de manière à employer, au besoin, quatre hommes, deux à chaque manivelle, pour faire fonctionner la bétonnière. A la rigueur, on peut n'employer que deux hommes en réduisant un peu l'ouverture de la vanne  $t$  d'entrée au fond de la trémie  $T$ .

Il faut avoir soin de caler la bétonnière par l'arrière au moyen d'une chambrière ou d'un étau quelconque en bois, qu'on place de préférence du côté des poulies de commande afin de laisser libre à l'arrière un espace le plus large possible.

Quand on triture du béton avec chaux et ciment, il est indispensable de détruire deux fois par jour les empâtements des hélices, après en avoir ralenti le mouvement au moyen de petites bèches en fourchettes en fer emmanchées

au bout d'un bâton flexible, afin d'éviter tout accident si on laisse engager l'outil entre les hélices.

Pour opérer un nettoyage à fond de la bétonnière, après avoir détaché les empâtements des hélices, on ouvre la porte d'avant  $q^1$ ,  $q^2$ , on jette de l'eau sur les hélices, qu'on fait en même temps tourner au rebours au moyen d'une manivelle.

*Légende détaillée des organes d'une bétonnière  
représentés par les fig. 128 à 136.*

- Aa. — Longerons en fer méplat fortifiés par des cornières  $d$  servant de bâti général au malaxeur.  
 B b B<sup>1</sup> B<sup>2</sup>. — Chaises de l'arrière portant les mécanismes.  
 C. — Traverse de l'avant portant les pivots des axes  $d^1$   $d^2$ .  
 c. — Crapaudine.  
 D. — Noyau-lanterne cylindre en fer.  
 D<sup>1</sup> D<sup>2</sup>. — Arbres en fer prolongeant le noyau D du côté de la commande ou de l'arrière.  
 D<sup>3</sup>. — Arbre en fer prolongeant le noyau D du côté de l'avant.  
 d. — Pivot logé dans l'axe D<sup>3</sup>.  
 E. — Échantignolle.  
 e. — Bride de l'échantignolle.  
 F. — Arbre vertical pouvant recevoir l'attèle du cheval et faisant avec l'axe du malaxeur un angle de 65 degrés.  
 G. — Bâti maintenant l'axe F.  
 g. — Crapaudine reliée au bâti G.  
 g<sup>1</sup>. — Liens rattachant G aux longerons A.  
 H. — Brancards amovibles.  
 I. — Essieu droit.  
 J. — Chambrière en forme de V maintenant le malaxeur pendant le service dans sa position inclinée à 25 degrés.  
 K. — Roues montées sur l'essieu I.  
 LL<sup>1</sup>. Petit arbre horizontal intermédiaire.  
 Z. — Arbre horizontal primitif commandé par la poulie O.  
 Z<sup>1</sup>. — Arbre symétrique pouvant recevoir une manivelle et un volant O.  
 M. — Roue d'angle intermédiaire montée sur l'arbre LL<sup>1</sup>.  
 M<sup>1</sup> M<sup>2</sup>. — Roues droites commandant les arbres D<sup>1</sup> D<sup>2</sup> qui tournent dans le même sens.  
 M<sup>3</sup>. — Roue d'angle montée sur le pivot F de l'attèle.  
 N. — Pignon primitif commandant la roue d'angle M.

N<sup>1</sup> N<sup>2</sup>. — Pignons intermédiaires commandant les roues M<sup>1</sup> M<sup>2</sup>.

N<sup>3</sup>. — Pignon à l'extrémité de l'intermédiaire LL<sup>1</sup>, commandé par M<sup>3</sup> en cas d'attèle de cheval.

n. — Pignon recevant l'action de la manivelle du volant.

o. — Volant monté sur l'arbre L<sup>1</sup>, pour faire marcher le malaxeur par manivelle.

On peut également monter une seconde manivelle sur l'arbre Z.

OO<sup>1</sup>. — Poulies dont une folle recevant par courroie la transmission de mouvement d'un moteur extérieur.

P. — Réceptacle des matières à triturer à l'entrée et à l'origine des hélices du malaxeur.

P<sup>2</sup>. — Hausses latérales ou flancs portant le grillage P<sup>3</sup>.

P<sup>3</sup>. — Couvercle à grillage placé au-dessus des matières en trituration.

P<sup>4</sup>. — Couvercle complétant le périmètre du malaxeur avec ses issues Q.

Q. — Bassin en forme d' $\omega$  faisant corps avec les longerons.

Q<sup>1</sup>. — Partie ovoïde postérieure du bassin.

Q<sup>2</sup>. — Partie ovoïde supérieure du bassin.

q<sup>1</sup> q<sup>2</sup>. — Porte d'avant servant à la vidange du malaxeur.

Rr. — Escargot tournant comprimant les matières à leur sortie par les ovoïdes Q<sup>1</sup> Q<sup>2</sup>.

T. — Trémie ou réceptacle extérieur du sable pouvant être surmonté d'une grille de tamisage T<sup>1</sup> et portant une coulisse *t* servant à faire varier l'ouverture de l'introduction dans le bassin inférieur P.

t<sup>1</sup>. — Porte ou regard servant à surveiller l'introduction des matières et à désobstruer au besoin.

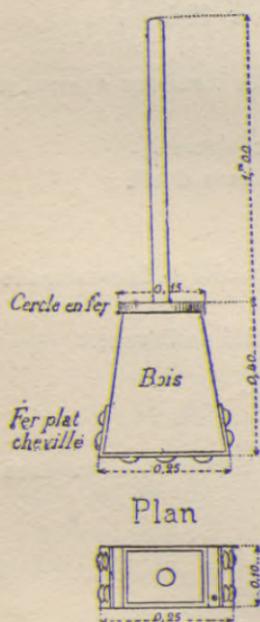


Fig. 137. — Dame pour bétons.

**Qualités des bétons agglomérés.** — Les bétons ainsi agglomérés et pilonnés avec le pilon dont nous donnons le dessin (fig. 137) ont des résistances à l'écrasement et à l'usure supérieures à celles des meilleures pierres naturelles. La résistance à la gelée et aux intempéries est complète. Le feu a peu d'action sur eux. L'économie pouvant résulter de leur emploi est très grande; et, pourvu que les dosages soient bien surveillés, cet emploi ne comporte pas d'aléas.

## CHAPITRE XIX

### **Ciments armés.**

Définitions. — Théorie du ciment armé. — Système à attaches. — Système Hennebique. — Système Cottancin. — Métal déployé. — Système Bonna, système Bordenave, système Bousseron. — Poutre Coignet. — Poutre spéciale pour bétons de liège.

Ce système de construction, très en faveur depuis quelques années, consiste à emprisonner à l'intérieur des ouvrages des barres de fer ou même d'acier qui formeront en quelque sorte le squelette de la construction.

Il a été démontré que le fer se conserve parfaitement intact dans le ciment. Des barres de fer, restées enrobées de ciment pendant trente ans, en ont été retirées sans présenter de traces d'oxydation et ayant encore la teinte bleue caractéristique qu'elles ont au sortir du laminoir.

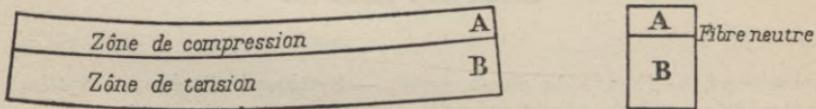
Le ciment adhère au fer d'une manière remarquable. De plus, les coefficients de dilatation du fer et du ciment sont sensiblement les mêmes. Mais l'enveloppe de ciment formant calorifuge, empêche les barres de fer de prendre une dilatation brusque qui, en cas d'incendie, disloquerait les ouvrages.

La théorie du ciment armé n'a pas encore été établie, et toutes les méthodes de calculs reposent sur des conventions empiriques et sur des expériences faites sur des poutres ou des dalles d'essai. Les expériences peuvent servir à vérifier les théories, mais non à les établir.

### Théorie du ciment armé.

On pose comme convention que dans le béton de ciment armé, le fer supporte seulement les efforts de tension et de cisaillement. Le béton supportera seulement les efforts de compression.

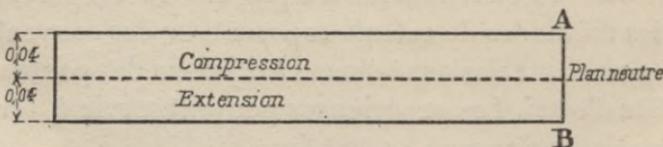
Supposons une poutre en ciment armé et examinons comment les éléments doivent être répartis.



Il est évident que dans cette poutre, la partie comprimée sera la partie supérieure A. La partie qui subira l'effort de tension sera la partie inférieure B. Le simple raisonnement permet encore de voir que c'est à la partie plus basse que l'effort de tension est maximum et que par conséquent les barres de fer devront se trouver le plus bas possible. Au contraire, le ciment qui devra presque seul résister à la compression devra se trouver ramassé vers le sommet de la poutre.

On pourra, dès lors, calculer cette poutre d'après la méthode employée pour le calcul d'une poutre évidée ou à treillis. Dans le cas qui nous occupe, l'indéformabilité sera obtenue au moyen de montants noyés dans le ciment.

Si, au lieu d'une poutre, nous avons affaire à une dalle, le raisonnement est le même. Dans une dalle, le plan neutre passe par le milieu de la pièce et les efforts sont répartis comme l'indique la figure ci-contre :



Par suite, les treillis de toute nature devront donc se trouver aussi bas que possible et près de B.

Les coefficients de résistance qu'on admet en pratique sont :

Pour le fer 10 kil. par millimètre carré de section.

Pour le béton, on admet une résistance à la compression de 25 à 30 kil. par centimètre carré.

Il ne faut pas oublier que le fer n'est efficacement protégé par le ciment que si la couche qui l'enrobe a au moins 2 centimètres d'épaisseur.

**Système à attaches.**

— C'est en appliquant ces principes que les constructeurs ont imaginé les divers systèmes que nous allons passer en revue.

Les premiers emplois du béton armé ont consisté à noyer, dans les bétons de fondation, des barres de fer formant un véritable réseau s'enchevêtrant et faisant du béton un monolithe.

On emprisonna ensuite dans du mortier de ciment une série de barres parallèles croisées par une deuxième série réunie à la première par de petites attaches de treillageur; ce fut le système avec attaches (fig. 138).

Les constructeurs américains ont supprimé les barres marquées ABC, etc... de la deuxième série et les ont ou bien remplacé par des barres de section plus faible, ou même complètement supprimées, en donnant aux barres de la première série une section plus forte et augmentant l'épaisseur du béton. Ils sont même arrivés à former de véritables ouvrages de serrurerie assemblés par boulons et rivets.

En France, trois systèmes se partagent actuellement la

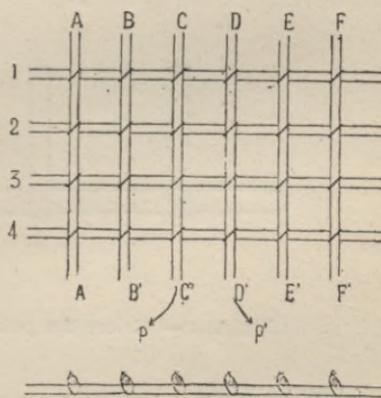


Fig. 138. — Plaque du système avec attaches.

faveur des ingénieurs, le système Hennebique, le système Cottancin et enfin le métal déployé.

**Le système Hennebique.** — Dans ce système, M. Hennebique supprime, comme dans le système américain, les barres transversales et il se contente de placer à la partie inférieure du plancher, des barres longitudinales travaillant à la tension. Ces barres sont reliées à la partie du massif travaillant à la compression au moyen d'étriers, jouant le

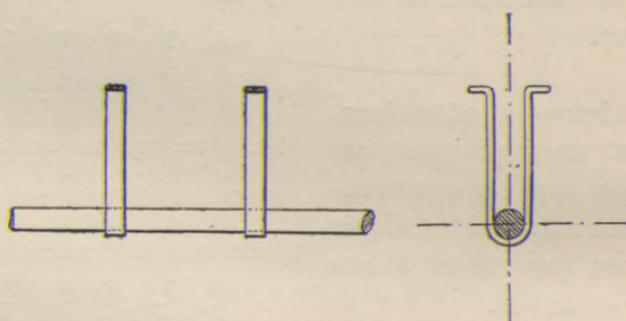


Fig. 139. — Étriers des poutres du système Hennebique.

rôle de treillis. L'effort à supporter se trouve ainsi réparti dans toute la masse (fig. 139).

**Système Cottancin.** — M. Cottancin est resté dans le système français, constitué par deux séries de barres de faible section, avec cette différence, qu'il forme une chaîne continue avec une seule barre de métal de faible section, et de n'importe quel profil. Il supprime ainsi les attaches au point de croisement, et forme la trame d'un véritable réseau continu. Dans ce système, le ciment ne peut plus travailler à la traction comme dans le système à attaches, ou le ciment devant travailler à l'adhérence des barres entre elles, travaille en ces points d'attache à la traction. Dans le système Cottancin, le ciment ne travaille donc qu'à la compression et à la protection du fer contre les agents extérieurs. Dans ces conditions, le système Cottancin est celui

dont le calcul se rapproche le plus du calcul des constructeurs métalliques ordinaires (fig. 140).

Dans la plupart des applications, le treillis Cottancin est constitué par des barres de fer rond de 4 millimètres de diamètre.

D'après les expériences du laboratoire des Ponts et Chaussées exécutées par M. Durand-Claye, inspecteur général, et Debray, ingénieur en chef, à la demande du ministre des Travaux publics, il faut dans le système de treillis avec attaches une épaisseur de 0<sup>m</sup>,15 de ciment et 0<sup>m</sup>,0012 de section de fer pour porter avec une plaque, une charge de 1,200 kil. avant la limite d'élasticité, tandis que la même charge est supportée par une plaque système P. Cottancin, de 0<sup>m</sup>,032 d'épaisseur de ciment et renfermant seulement une section de métal de 0<sup>m</sup>,0004.

Une deuxième expérience a montré que sur une portée de 1 mètre, une plaque de 0<sup>m</sup>,40 de largeur et de 0<sup>m</sup>,04 d'épaisseur avec la même section de métal porterait sur le milieu 51 kil. dans le cas du système à attaches, et 1,200 kil. dans le système Cottancin.

**Métal déployé.** — Le métal déployé peut donner toute satisfaction aux entrepreneurs et même aux ingénieurs que la prudence empêcherait d'employer le ciment armé en raison de l'indétermination des formules de résistance à employer.

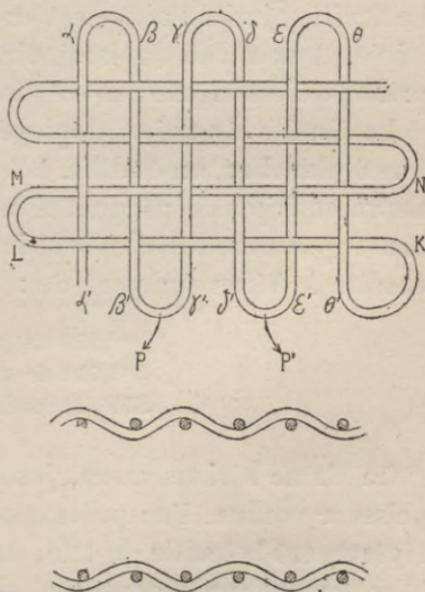


Fig. 140. — Plaque du système Cottancin sans attaches et avec réseau continu.

Le système consiste dans la pose de fers à plancher analogues à ceux en usage et ne laissant, par suite, place à aucun aléa.

Sur ces fers à plancher, on dépose des feuilles d'un métal spécial.

Ces feuilles de tôle ont été passées d'abord sous une première machine à cisailer qui découpe sur toute la largeur de la tôle des entailles parallèles et disposées en quinconce. La feuille ainsi entaillée est ensuite passée au laminoir et étirée. A sa sortie du laminoir, elle présente l'aspect d'un grillage à losanges sans solutions de continuité.

La feuille de métal déployé ayant été déposée sur les fers à plancher, on établit, à 2 centimètres en dessous, un cintre en frises de parquet cloué sur des traverses qui viennent reposer sur les ailes inférieures des poutrelles. On coule ensuite le béton composé de :

0<sup>m</sup>3,850 de gravillon.

0<sup>m</sup>3,500 de sable.

250<sup>k</sup> de portland.

On dame sérieusement, jusqu'à ce qu'on ait obtenu l'épaisseur voulue. Une précaution à prendre est de soulever légèrement la feuille de tôle, de façon qu'elle ne repose pas directement sur la poutrelle, mais sur un lit de ciment.

Ce système permet de calculer très simplement les planchers et cela avec toutes garanties de sécurité. Il donne une remarquable économie, surtout pour les grandes portées et les grandes surcharges, ce qui se comprend si on réfléchit que le poids mort est, dans ce système, réduit presque au strict minimum.

**Tuyaux en ciment armé.** — On applique le ciment armé aux canalisations et à la construction d'égouts.

Le système Bonna emploie des aciers profilés en croix. Le système Bordenave emploie des aciers profilés en I.

**Poutres, système Boussiron.** — Dans ce système dont

nous donnons le dessin ci-contre, les membrures tendues sont en fer rond, les montants sont en fer plat, les deux

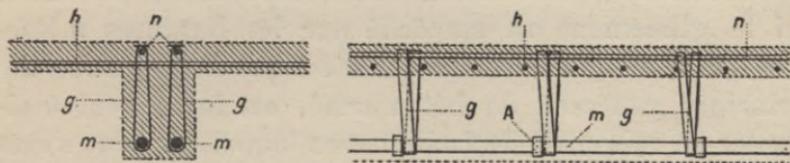


Fig. 141 et 142. — Système Boussiron.

branches du montant se relèvent sur toute la hauteur de la poutre, et chacune d'elles se rabat à angle droit du côté de l'autre à la partie supérieure du hourdis.

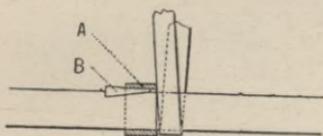


Fig. 143.

Entre ces deux branches passent des barres *n* en fer rond. Des fers *h* traversent le hourdis et assurent la liaison de la membrure supérieure et des montants, le glisse-

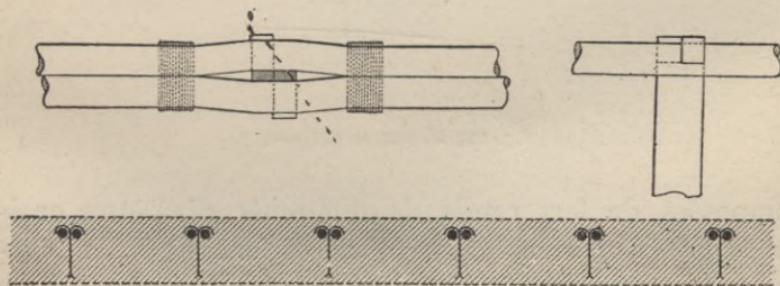


Fig. 144 et 145. — Hourdis système Boussiron.

ment longitudinal des fers plats est empêché par des bagues serrées au moyen d'un coin (fig. 141, 142, 143).

Pour les hourdis de ce système, fig. 144-145, ils sont armés à la partie inférieure par deux fers ronds ligaturés en-

semble. Les montants sont en fer plat, et passent entre les deux fers ronds. A leur partie inférieure ils se divisent en deux branches, que l'on courbe autour de chacun des fers. Ici le glissement est empêché par les ligatures mêmes des fers ronds. Ce système qui n'est que l'application des principes généraux du béton armé, est intéressant à signaler en raison de la facilité avec laquelle il peut s'exécuter sans travail d'ajustage ni de poinçonnage. Une forge et une cisaille permettent de l'exécuter, même dans les régions n'offrant aucune ressource au point de vue industriel.

**Poutre Coignet.** — M. Coignet emploie des poutres

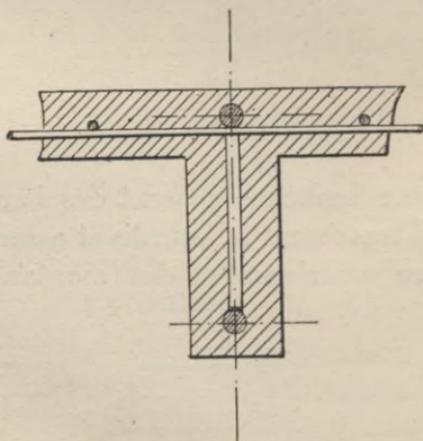


Fig. 146 — Poutre Coignet.

composées de fers ronds de différents diamètres croisés perpendiculairement par d'autres fers ronds; la jonction est faite par des attaches de treillageur. Voir le *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils*, mois de mars 1894 (fig. 146).

En m'inspirant de la poutre système Coignet, j'avais fait fabriquer, il y a cinq ans, une poutre ayant 8 mètres de portée et dont on trouvera ci-contre les dessins (fig. 147-148).

A la partie inférieure se trouvaient 3 fers de 0<sup>m</sup>,020 de diamètre. Le hourdis proprement dit était composé de

Section de la poutre

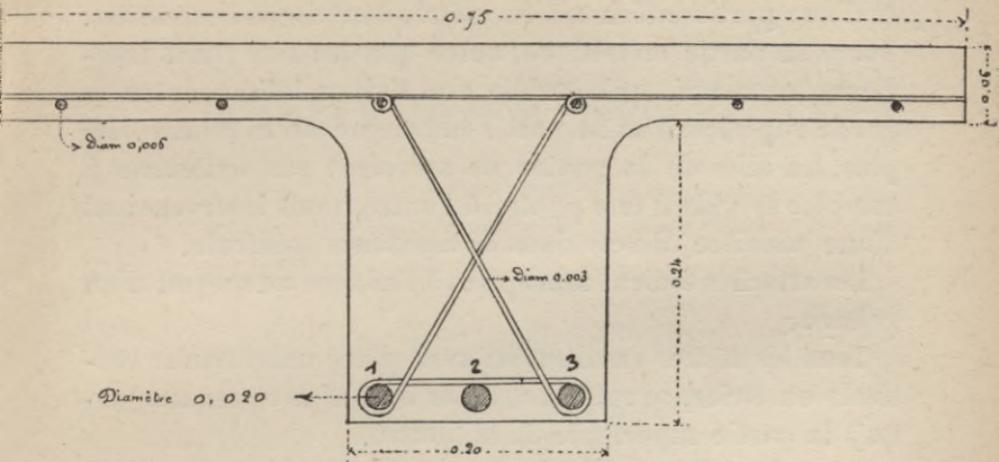


Fig. 147. — Poutre armée spéciale.

petits fers de 0<sup>m</sup>,06 de diamètre et ces tiges supérieures étaient reliées aux grosses tiges constitutives de la poutre,

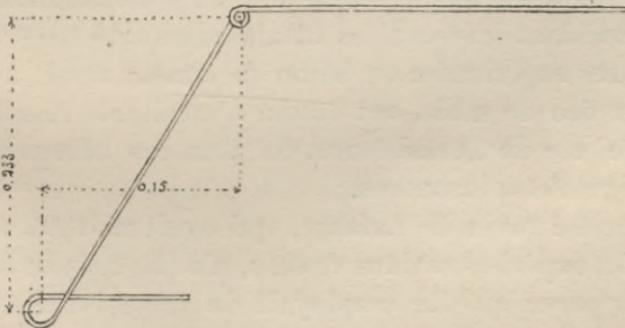


Fig. 148. — Poutre armée spéciale. Élévation d'une attache.

au moyen d'attaches en fil de fer de 3 millimètres, espacées entre elles de 0<sup>m</sup>,10 environ. L'expérience démontrait que l'espacement de ces attaches avait une grande influence sur la résistance, aussitôt qu'on les espaçait de

plus de 0<sup>m</sup>,10, la résistance de la poutre diminuait rapidement.

Théoriquement, ce système de poutre se composait donc d'une partie supérieure en béton soumis à la compression, et d'une partie inférieure en métal, soumise à l'extension. Toute la partie métallique, autre que les fers ronds inférieurs, ne servait qu'à établir une liaison intime entre la partie supérieure et la partie inférieure de la poutre. De plus, les ailes de la poutre ne servaient pas seulement à combler le vide d'une poutre à l'autre, mais intervenaient d'une manière directe dans la résistance générale.

Les attaches étaient fabriquées à l'avance au moyen d'un gabarit.

Tous les mètres environ, on avait placé une attache verticale ou étrier, se rattachant à la tige n° 2 et venant jusqu'à la partie supérieure de la poutre.

Avec du béton ordinaire, une pareille poutrelle n'eût pas donné de bons résultats à cause de son poids énorme et de sa sonorité. La poutre avait été prévue pour l'emploi du béton de liège. On fabriqua la poutre en béton de liège dosé convenablement et damé sérieusement. Les expériences paraissaient devoir donner de bons résultats lorsqu'un accident imprévu les fit abandonner.

D'autres expériences en béton de ciment armé, avec du liège au lieu de sable, ont donné d'excellents résultats au point de vue de la résistance. De plus, ces bétons avaient l'avantage d'être insonores.

La Société Pavin de Lafarge, qui avait en 1894 tenté à Alger des expériences dans ce sens, n'a pas obtenu de bons résultats parce qu'elle employait du liège imbibé d'eau par un trempage de 24 heures; il s'en est suivi une sorte de fermentation et le liège s'est réduit en poussière.

Ces expériences mériteraient d'être reprises et pourraient donner lieu à de nombreuses applications.

# TABLE DES MATIÈRES

---

PRÉFACE.....	Pages, V
--------------	-------------

## CHAPITRE PREMIER

### **Fabrication de la chaux hydraulique.**

Historique. — Carrières à chaux. — Étages géologiques. — Exploitation des carrières. — Grosses mines. — Emplacement des grosses mines. — Capacité et forme des poches. — Emploi des explosifs Favier. — Percement des galeries d'une grosse mine. — Séchage des poches et chargement. — Abatage, recassage des calcaires abattus. — Mines acidées. — Appareil à siphon. — Amorçage. — Cas de roches fissurées. — Séchage de la poche. — Chargement. — Travail des mines acidées. — Prix de revient. — Petites mines. — Prix de revient.....	1
---	---

## CHAPITRE II

### **Cuisson des calcaires.**

Combustibles. — Étude d'un four à chaux. — Appareil Prat. — Four Schoffer. — Grilles.....	23
---	----

## CHAPITRE III

### **Extinction de la chaux.**

Généralités. — Etude de l'extinction. — Blutage. — Ventilateur Blackmann. — Pèse-sacs. — Bluterie à tamis coniques. — Prix de revient. — Blutage par ventilation.....	32
---	----

## CHAPITRE IV

**Propriétés physiques et chimiques  
de la chaux hydraulique.**

	Pages.
Généralités. — Classification des chaux. — Indice d'hydraulicité. — Exemple numérique. — Analyse des chaux les plus connues. — Chaux limite. — Prix. — Densité. — Finesse.....	46

## CHAPITRE V

**Essais des chaux.**

Prise. — Aiguille Vicat. — Résistance. — Briquettes. — Machine du Dr Michaelis. — Machine de Guillot frères. — Essais à la compression. Machine d'essai. — Appareil à marteaux de Böhme. — Résistance à la compression. — Essais à chaud. — Appareil Le Chatelier. — Conditions des fournitures de chaux au service colonial. — Conseils pratiques pour les conditions de réception d'une chaux hydraulique.....	51
--	----

## CHAPITRE VI

**Analyse chimique.**

Généralités. — Recherche de la silice. — Alumine et fer. — Séparation de l'alumine et du fer. — Liqueur titrée au permanganate de potasse. Exemple numérique. — Dosage de la chaux. — Dosage de la magnésie. — Dosage de l'acide sulfurique. — Dosage de l'eau non combinée. — Dosage de l'eau combinée. — Dosage de l'acide carbonique. — Dosage direct de l'acide carbonique. — Dosage du sable.	
Exemple d'une analyse de calcaire à chaux hydraulique. — Analyse d'une argile ou d'un calcaire très argileux. — Analyse d'un mortier de chaux. — Composition d'un laboratoire pour essais de chaux et ciments. — Four d'essai.....	64

## CHAPITRE VII

**Ciments de grappiers.**

Grappiers. — Aspect. — 1 <sup>re</sup> Blutage. — 2 <sup>e</sup> Blutage. — Sablette. — Broyeur finisseur Dana. — Ciment blanc véritable de grappiers, sa densité, sa composition chimique. — Ciment gris de grappiers. — Silotage des chaux lourdes et des ciments de grappiers. — Composition des ciments de grappiers. — Résistances moyennes à la traction et à la compression.	82
---	----

## CHAPITRE VIII

**Données sur une usine à chaux fabriquant  
100 tonnes de chaux hydraulique par jour.**

	Pages.
Usine. — Appareils, force motrice. — Choix des machines. — Capital à mettre en œuvre. — Coupe d'une usine modèle.....	91

## DEUXIÈME PARTIE

**CIMENTS NATURELS, CIMENTS MIXTES,  
CIMENTS ADDITIONNÉS**

## CHAPITRE IX

**Fabrication des ciments : romain, prompt, roquefort.**

Historique. — Fabrication. — Choix des calcaires. — Cuisson. — Combustibles. — Frittes, mâchefers. — Prise. — Composition chimique. — Analyses. — Essais des ciments prompts. — Résistance. — Densité. — Spécimen d'essai officiel. — Destruction des mortiers. — Prix de revient. — Emplois du ciment prompt. — Mode d'emploi. — Prix du ciment. — Remarque sur la rapidité de prise des mortiers de ciment prompt.....	99
--	----

## CHAPITRE X

**Ciment Valentine. — Portland à prise demi-lente.  
Ciments mixtes.**

Ciments naturels. — Fours. — Cuisson. — Fours intermittents. — Fabrication. — Propriétés. — Composition chimique. — Densité, finesse, résistance. — Analyse de quelques ciments connus. — Emploi du ci-demi-lent. — Portlands mixtes. — Ciments mixtes de Portland et de grappiers. — Composition de quelques ciments mixtes. — Ciments additionnés. — Fabrication. — Composition. — Moyen de reconnaître les fraudes.....	111
--	-----

## TROISIÈME PARTIE

## CIMENT PORTLAND ARTIFICIEL

## CHÂPITRE XI

## Historique.

	Pages.
Historique. — Différents procédés. — Procédé par voie sèche. — Choix des matières premières. — Tourelle séchoir. — Poudre rectificatrice. Mélangeuses. — Renseignements pratiques. — Analyse rapide de ciment cru. — Broyage. Concasseur Blake. — Concasseur Gates. — Moulin à boulets frappeurs. — Moulin de Jenisch. — Moulin Gruson. — Broyeur Moustier. — Blutage. — Plan incliné à secousses. — Séparateur Stag. — Presse Dorsten. — Presse Biatrix. — Presse Boulet. — Procédé par voie humide. — Installation d'une usine. — Délayeurs spéciaux. — Four séchoir anglais. — Séchoirs à cylindre Moller et Pfeiffer. — Procédé par double cuisson.....	119

## CHAPITRE XII

**Traitement des briques de ciment artificiel cru, obtenues par voie sèche ou par voie humide.**

Wagonnets porteurs. — Séchoirs. — Séchoirs tunnel. — Fours à ciment. — Fours ordinaires. — Four anglais. — Four allemand. — Four français. — Chargement des fours. — Fours séchoirs. — Étude d'un four Hoffmann. — Fonctionnement. — Fours coulants. — Four Dietzsch. — Four Schoffer ou de Aalborg. — Four R. — Four Hauenschild. — Four Du Pasquier. — Four de l'usine Villeneuve. — Four rotatif..	164
---	-----

## CHAPITRE XIII

**Tirage des fours. — Triage et trituration des roches.**

Incuits et roches. — Poussières jaunes et grises. — Triage. — Pulvérisation des roches. — Concassage. — Préparateurs. — Cylindres lamineurs. — Broyeur Bourdais. — Broyeur Weidknecht. — Finisseurs. — Broyeur à boulets. — Broyeur Morel. — Broyeur Le Phénix. — Tubes finisseurs. — Moulin Griffin. — Moulin Taylor. — Moulins ordinaires. — Blutage, ensilage, embarilleur Moustier.....	188
---	-----

## CHAPITRE XIV

**Propriétés du ciment portland.**

Propriétés physiques. — Finesse, poids spécifique. — Poids spécifique	
---	--

des divers produits hydrauliques. — Essais à l'iodure de méthyle. — Mesure du poids spécifique. — Appareil Le Chatelier. — Densité ap- parente. — Prise. — Règles de la commission des méthodes d'essai. — Règles suisses et allemandes. — Briquettes de mortier. — Essais de rupture par traction. — Essais à la compression. — Porosité, perméa- bilité, adhérence. — Essais de déformation, essais à l'eau de mer. — Essais chimiques. — Analyses. — Propriétés chimiques. — Règles de M. Le Chatelier pour la limite supérieure de la teneur en chaux. — Action des cendres des combustibles. — Analyse des cendres. — Com- position des ciments artificiels : français, anglais, allemands et belges, d'après M. Candlot. — Composition particulière de quelques marques de ciment. — Comparaison entre les divers produits hydrauliques ..	206
---	-----

### CHAPITRE XV

Devis et cahier des charges pour la fourniture du ciment portland au service des ponts et chaussées. — Réception du ciment dans les di- vers services de Saïgon.....	236
--	-----

### CHAPITRE XVI

Ciments de laitier. — Pouzzolanes. — Pouzzolane artificielle. — Mortier silicaté. — Mastic Dihl. — Ciment à l'oxychlorure de zinc. — Mastic hydraulique. — Mastic des fontainiers. — Mastic des boulons de scellement. — Ciment blanc anglais. — Plâtre aluné. — Silico- ciment.....	256
--	-----

### CHAPITRE XVII

#### Mortiers.

Généralités. — Emploi des ciments à prise lente ; composition des mor- tiers les plus employés. — Sables : sable siliceux. — Sable calcaire. — Sable argileux. — Grosseur du sable. — Eaux employées pour les mortiers. — Mortiers de chaux. — Mortier de trass. — Mortiers de ciment. — Calcul du vide d'un sable. — Volume des pâtes de ciment et de chaux. — Exemples. — Fabrication des mortiers. — Gâchage à bras. — Prix de revient. — Procédés mécaniques. — Manège à roues, malaxeur à bras, à manège ou à vapeur, machine système Michel. — Durcissement et résistance des mortiers. — Mortiers bâtards.....	262
---	-----

### CHAPITRE XVIII

#### Bétons.

Définitions. — Proportion de cailloux et de mortier. — Composition des divers bétons. — Fabrication du béton. — Bétonnière Krantz. —	
---	--

	Pages.
Bétonnières verticales. — Bétonnière Carrey. — Emplois du béton. — Emploi sous l'eau. — Bétons agglomérés. — Procédé Coignet. — Malaxage du béton Coignet. — Bétonnière Franchot. — Qualités des bétons agglomérés.....	279

## CHAPITRE XIX

### Ciments armés.

Définitions. — Théorie du ciment armé. — Système à attaches. — Sys- tème Hennebique. — Système Cottancin. — Métal Deployé. — Sys- tème Bonna, système Bordenave, système Boussiron. — Poutre Coignet. — Poutre spéciale pour bétons de liège.....	293
--	-----

## CATALOGUE DE LIVRES

SUR LA

# CONSTRUCTION ET LES TRAVAUX PUBLICS

PUBLIÉS PAR

LA LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE, CH. BÉRANGER

SUCESSEUR DE BAUDRY ET C<sup>ie</sup>.

PARIS, 15, RUE DES SAINTS-PÈRES,

LIÈGE, 21, RUE DE LA RÉGENCE

---

*Le Catalogue complet est envoyé franco sur demande.*

---

### **Annales de la construction.**

Nouvelles Annales de la construction, fondées par OPPERMAN. — 12 livraisons par an, formant 1 beau volume de 50 à 60 planches et 200 colonnes de texte.

Abonnements : Paris, 15 fr. — Départements et Belgique, 18 fr. — Union postale, 20 fr.

Prix de l'année parue, reliée, 20 fr.

### **Agenda Oppermann.**

Agenda Oppermann paraissant chaque année. Élégant carnet de poche contenant tous les chiffres et tous les renseignements techniques d'un usage journalier. Rapporteur d'angles, coupe géologique du globe terrestre, guide du mètreur. — Résumé de géodésie. — Poids et mesures, monnaies françaises et étrangères. Renseignements mathématiques et géométriques. — Renseignements physiques et chimiques. — Résistance des matériaux. — Electricité. — Règlements administratifs. — Dimensions du commerce. — Prix courants et séries de prix. — Tarifs des Postes et Télégraphes.

Relié en toile, 3 fr.; en cuir, 5 fr. — Pour l'envoi par la poste, 25 c. en plus.

### **Aide-mémoire de l'ingénieur.**

Aide-mémoire de l'ingénieur. Mathématiques, mécanique, physique et chimie, résistance des matériaux, statique des constructions, éléments des machines, machines motrices, constructions navales, chemins de fer, machines-outils, machines élévatoires, technologie, métallurgie du fer, constructions civiles, législation industrielle. Troisième édition française du Manuel de la Société « Hütte », par PHILIPPE HUGUENIN. 1 volume in-12 contenant plus de 1.200 pages avec 500 figures dans le texte, solidement relié en maroquin..... 15 fr.

## **Aide-mémoire français.**

Aide-mémoire français. Mécanique générale, électricité, par J. BUCHETTI, ingénieur E. C. Paris, 2<sup>me</sup> édition, 1 volume in-18 relié..... 10 fr.

## **Aide-mémoire des conducteurs des ponts et chaussées.**

Aide-mémoire des conducteurs et commis des ponts et chaussées, agents voyers, chefs de section, conducteurs et piqueurs des chemins de fer, contrôleurs des mines, adjoints du génie, entrepreneurs et, en général, de toute personne s'occupant de travaux, par J. EUG. PETIT, conducteur des ponts et chaussées, 1 volume in-12 avec de nombreuses figures dans le texte, solidement relié en maroquin..... 15 fr.

## **Traité de constructions civiles.**

Traité de constructions civiles. Fondations, maçonneries, pavages et revêtements, marbrerie, vitrerie, charpente en bois et en fer, couverture, menuiserie et ferrures, escaliers, monte-plats, monte-charges et ascenseurs, plomberie d'eau et sanitaire, chauffage et ventilation, décoration, éclairage au gaz et à l'électricité, acoustique, matériaux de construction, résistance des matériaux, renseignements généraux, par E. BARBEROT, architecte. 2<sup>e</sup> édition, 1 volume in-8<sup>e</sup>, avec 1554 figures dans le texte dessinées par l'auteur. Relié..... 20 fr.

## **Cours de construction.**

Cours pratique de construction, rédigé conformément au programme officiel des connaissances pratiques exigées pour devenir ingénieur. Terrassements, — ouvrages d'art, — conduite des travaux, — matériel, — fondations, — dragage, — mortiers et bétons, — maçonnerie, — bois, — métaux, — peinture, jaugeage des eaux, — règlement des usines, etc., par PRUD'HOMME. 4<sup>e</sup> édition, 2 volumes in-8<sup>e</sup>, avec 363 figures dans le texte..... 16 fr.

## **Maçonnerie.**

Architecture et constructions civiles. Maçonneries; pierres et briques; leur emploi dans les maçonneries; proportion des murs; fondations; murs de cave et murs en élévation; des moulures et des ordres; décoration des murs extérieurs des édifices; cloisons, planchers, voûtes; escaliers en maçonnerie; éléments de décoration intérieure; revêtement des sols; roches naturelles; chaux et ciments; du plâtre, produits céramiques, par J. DENFER, architecte, professeur à l'École centrale. 2 volumes grand in-8<sup>e</sup>, avec 794 figures dans le texte..... 40 fr.

## **Charpente en bois et menuiserie.**

Architecture et constructions civiles. Charpente en bois et menuiserie; les bois, leurs assemblages; résistance des bois; tableaux, calculs faits; linteaux et planchers; pans de bois; combles; étalements, échafaudages, appareils de levage; travaux hydrauliques, cintres, ponts et passerelles en bois; escaliers; menuiserie en bois; parquets, lambris, portes, croisées, persiennes, devantures, décoration, par J. DENFER, architecte, professeur à l'École centrale. 1 volume grand in-8<sup>e</sup>, avec 680 figures dans le texte..... 25 fr.

## **Terrassements, tunnels, etc.**

Procédés généraux de construction. Travaux de terrassement, tunnels, dragages et dérochements, par ERNEST PONTZEN. 1 volume grand in-8<sup>e</sup> avec 234 figures dans le texte..... 25 fr.

## **Calcul des terrassements.**

Note sur le calcul rapide des terrassements dans les avant-projets de chemins de fer, de routes, de canaux, par ARMAND MAHIELS, ingénieur civil. 1 brochure in-8<sup>e</sup>, avec figures dans le texte..... 1 fr.

## Construction des tunnels.

N. B. — Les études ci-dessous ont paru dans les *Annales de la Construction* et se vendent avec la livraison qui les renferme au prix de 2 fr. la livraison.

Le tunnel du Saint-Gothard, avec une planche. Livraison de mars 1876.....	2 fr.
Travaux du tunnel de l'Arberg, avec une planche. Livraison de juin 1885.....	2 fr.
Assainissement des voûtes de souterrains. Livraison de février 1891.....	2 fr.
Construction des souterrains du funiculaire de Glasgow, avec 1 planche. Livraison de mars 1898.....	2 fr.

## Le Bouclier dans la construction des souterrains.

Emploi du bouclier dans la construction des souterrains, par RAYNALD LEGOUZ, ingénieur des ponts et chaussées, détaché au service des égouts de la ville de Paris. 1 volume in-8° avec 337 figures dans le texte, relié..... 20 fr.

## Le Bouclier dans la construction des souterrains.

Le bouclier et les méthodes nouvelles de percement des souterrains, par RENÉ PHILIPPE, ingénieur des ponts et chaussées, avec une préface de M. L. BIÈRE, ingénieur des ponts et chaussées, adjoint à l'ingénieur en chef du Métropolitain de Paris. 1 volume in-8°, contenant 225 figures dans le texte. Relié..... 15 fr.

## Série de prix provinciale. — Aide-Mémoire.

Série de prix provinciale. Aide-Mémoire en 5 volumes, par ALBERT PASQUET, ingénieur architecte (*En préparation*).

Division de l'ouvrage :

- 1<sup>er</sup> volume : Terrassement. — Maçonnerie. — Plâtrerie.
- 2<sup>e</sup> — : Charpente. — Menuiserie. — Ameublement.
- 3<sup>e</sup> — : Couverture. — Ferblanterie. — Fumisterie.
- 4<sup>e</sup> — : Serrurerie. — Machines diverses. — Quincaillerie.
- 5<sup>e</sup> — : Peinture. — Vitrierie. — Décors.

*Vient de paraître* : Tome 1<sup>er</sup>, 1<sup>re</sup> partie. Terrassements, 1 vol. in-4° avec figure..... 4 fr.

**Complément à la Série de prix provinciale. Aide-mémoire.**

Formant dictionnaire des termes employés dans la construction, et comprenant les questions de droit relatives au bâtiment. 1 volume in-4° avec figures dans le texte..... 10 fr.

## Mesurage et Métrage.

Traité pratique et complet de tous les mesurages, métrages, jeu-geages de tous les corps, appliqué aux arts, aux métiers, à l'industrie, aux constructions, aux travaux hydrauliques, aux nivellements pour construction de routes, de canaux et de chemins de fer, drainage, etc., enfin à la rédaction de projets de toute espèce de travaux du ressort de l'architecture et du génie civil et militaire, terminé par une analyse et série de prix avec détails sur la nature, la qualité, la façon et la mise en œuvre des matériaux, par E. SERGENT, 8<sup>e</sup> édition, 2 volumes grand in-8° et 1 atlas de 47 planches in-folio..... 50 fr.

## Géométrie descriptive.

Cours de Géométrie descriptive. Perspective, ombres, courbes et surfaces, charpente. Professé à l'Ecole centrale des arts et manufactures, par CH. BRISSÉ, rédigé et annoté par H. PICQUET, examinateur d'admission et répétiteur de géométrie descriptive à l'Ecole Polytechnique. 1 volume grand in-8°, avec 300 figures dans le texte..... 17 fr. 50

## Coupe des pierres.

Traité pratique de la coupe des pierres, précédé de toute la partie de la géométrie descriptive qui trouve son application dans la coupe des pierres, par LEJEUNE. 1 volume in-8° et 1 atlas in-4° de 59 planches, contenant 381 figures..... 40 fr.

## Coupe des pierres.

Coupe des pierres, précédée des principes du trait de stéréotomie, par EUGÈNE ROUCHÉ, examinateur de sortie à l'École Polytechnique, professeur au Conservatoire des Arts et Métiers, et CHARLES BRISSE, professeur à l'École centrale et à l'École des Beaux-Arts, répétiteur à l'École Polytechnique. 1 volume grand in-8° et 1 atlas in-4° de 33 planches. 25 fr.

## Chimie appliquée à l'art de l'ingénieur.

Chimie appliquée à l'art de l'ingénieur. *Première partie* : Analyse chimique des matériaux de construction, par CH. LÉON DURAND-CLAYE, inspecteur général, ancien professeur et ancien directeur du Laboratoire à l'École des ponts et chaussées, et DERÔME, chimiste de ce Laboratoire. *Seconde partie* : Etude spéciale des matériaux d'agrégation, par RENÉ FEBET, ancien élève de l'École polytechnique, chef du Laboratoire des ponts et chaussées à Boulogne-sur-Mer, 1 volume grand in-8°, avec de nombreuses gravures dans le texte..... 15 fr.

## Ciments et chaux hydrauliques.

Ciments et chaux hydrauliques: Fabrication, propriétés, emploi, par E. CANDLOT, 2<sup>e</sup> édition revue et considérablement augmentée. 1 volume grand in-8°, avec figures dans le texte, relié..... 15 fr.

## Ciments.

N. B. — Les études suivantes ont paru dans les *Annales de la Construction* et se vendent avec la livraison qui les renferme au prix de 2 fr. la livraison.

La fabrication du ciment de laitier à l'usine de Vitry-le-François. Livraison de février 1896..... 2 fr.

Comparaison des mortiers de ciment et de chaux au point de vue de leurs applications dans les constructions. Livraison de mars 1896. 2 fr.

Recherches sur les phénomènes anormaux présentés par les ciments, en particulier en ce qui a rapport à la durée de prise. Livraison de novembre 1896..... 2 fr.

Moulin à ciment à meules verticales et sole tournante, système Duffield et Taylor, avec une planche. Livraison d'octobre 1896 du *Portefeuille des machines*..... 2 fr.

Note sur l'emploi du sable humide dans la fabrication des mortiers. Livraison d'août 1897..... 2 fr.

## Chaux et sels de chaux.

Chaux et sels de chaux appliqués à l'art de l'ingénieur, par GRANGE, agent voyer en chef du département de la Vienne. 1 volume grand in-8° avec figures dans le texte..... 18 fr.

## Congrès des Procédés de construction.

Congrès international des procédés de construction tenu en 1889 sous la présidence de M. Eiffel. Comptes rendus des séances et visites du Congrès, par AUGUSTE MOREAU et GEORGES PETIT, secrétaires du Congrès. 1 volume grand in-8°, avec de nombreuses gravures dans le texte et 8 planches..... 15 fr.

## Murs de soutènement.

Études théoriques et pratiques sur les murs de soutènement et les

ponts et viaducs en maçonnerie, par DUBOSQUE, sous-ingénieur des ponts et chaussées, ancien chef de bureau des travaux neufs à la Compagnie du Nord. 5<sup>e</sup> édition, revue, corrigée et augmentée. 1 volume in-8°, avec 15 planches et 141 figures, relié..... 15 fr.

### Murs de soutènement.

Tracé du profil des murs de soutènement et de pilastres de portes, par EUGÈNE JOYEUX, architecte. 1 volume in-8°, avec 56 figures dans le texte..... 5 fr.

### Consolidation des talus.

Traité de consolidation des talus, routes, canaux et chemins de fer, par R. BRUÈRE, ingénieur civil. 1 vol. in-12 et atlas in-8° de 25 pl. doubles..... 10 fr.

### Statique graphique.

Éléments de statique graphique, par EUGÈNE ROUCHÉ, examinateur de sortie à l'École Polytechnique, professeur de statique graphique au Conservatoire des arts et métiers. 1 volume grand in-8°, avec gravures dans le texte..... 12 fr. 50

### Statique graphique.

Statique graphique appliquée aux constructions, toitures, planchers, poutres, ponts, etc. Éléments du calcul graphique. — Des forces et de leur résultante. — Des moments fléchissants, des efforts tranchants. — Recherche des maxima. — Surcharge permanente concentrée et répartie. — Surcharge mobile. — Données pratiques sur le poids propre des toitures et sur leur surcharge accidentelle. — Poutres pleines. — Poutres à treillis, simples et multiples. — Centre de gravité. — Notions sur la résistance des matériaux. — Moments d'inertie. — Exemples et applications, par MAURICE MAURER, ingénieur, professeur agrégé à l'École polytechnique de Budapest. 1 volume grand in-8° avec figures et 1 atlas in-4° de 20 planches..... 12 fr. 50

### Statique graphique.

Application de la statique graphique. Règlements ministériels, charges des ponts et des charpentes, poutres droites, poutres courbes, pleines, à treillis, continues, ponts-grues, arcs métalliques, fermes métalliques, piles métalliques, influence du vent sur les constructions, leurs déformations, calcul des poutres pour le lançage et le montage, piles en maçonnerie, calcul des joints des poutres, formules et tables usuelles, par MAURICE KÖEHLIN, administrateur de la Société de Construction de Levallois-Perret, 2<sup>e</sup> édition. 1 volume grand in-8°, avec figures dans le texte et 1 atlas in-4° de 34 planches..... 30 fr.

### Statique graphique.

Éléments de statique graphique appliquée à l'équilibre des systèmes articulés par ARTHUR THIRÉ, ancien élève de l'École polytechnique, 1 volume grand in-8° et 1 atlas in-4° de 18 planches..... 10 fr.

### Cours de mathématiques.

Cours de mathématiques pures et appliquées, à l'usage des conducteurs des ponts et chaussées, agents voyers, chefs de section, architectes, conducteurs de travaux, entrepreneurs, etc., comprenant, *Arithmétique*, nombres entiers, fractions et nombres fractionnaires, progression, série, et logarithmes, applications. *Géométrie plane* : propriétés et tracé des figures planes, mesure et proportion des figures planes, trigonométrie, courbes diverses. *Géométrie de l'espace* : propriétés et constructions des figures de l'espace, mesure des figures de l'espace, géométrie descriptive, perspective. *Algèbre, analyse et géométrie analytique*. *Mécanique* : statique, dynamique, hydrostatique, hydrodynamique, par L. LANCELIN, ins-

pecteur général des ponts et chaussées. 1 volume in-8°, avec de nombreuses figures dans le texte, relié..... 10 fr.

### **Résumé des connaissances mathématiques.**

Résumé des connaissances mathématiques nécessaires dans la pratique des travaux publics et de la construction par E. MUSSAT, ingénieur des ponts et chaussées. 1 volume grand in-8° avec 133 figures dans le texte..... 10 fr.

### **Voirie. — De l'alignement.**

De l'alignement ou du régime des propriétés privées bordant le domaine public, par C. MORIN. 1 volume grand in-8°..... 15 fr.

### **Traité de topographie.**

Traité de topographie. — Appareils d'optique, applications de la géodésie à la topographie, instruments de mesure, levé des plans de surface, levés souterrains, théorie des erreurs, par ANDRÉ PELLETAN, ingénieur en chef des mines, professeur à l'École des mines. 1 volume grand in-8. avec 235 figures dans texte. Relié..... 15 fr.

### **Levé des plans et nivellement.**

Levé des plans et nivellement. Opérations sur le terrain, opérations souterraines, nivellement de haute précision, par LÉON DURAND-CLAYE, ingénieur en chef des ponts et chaussées, PELLETAN et LALLEMAND, ingénieurs des mines. 1 volume grand in-8° avec figures dans le texte. 25 fr

### **Nivellement général de la France.**

Instructions pour les opérations sur le terrain préparées par le Comité de nivellement, et publiées par le ministère des Travaux publics. 1 volume in-8°..... 5 fr.

### **Nivellement.**

Traité du nivellement, comprenant les principes généraux, la description et l'usage des instruments, les opérations et les applications, par DUPLESSIS. 1 volume in-8°, contenant 112 figures..... 8 fr.

### **Tables tachéométriques.**

Tables tachéométriques, donnant aussi rapidement que la règle logarithmique tous les calculs nécessaires à l'emploi du tachéomètre, par LOUIS POSS, ingénieur d'études de chemins de fer. 1 volume in-8° relié..... 10 fr.

### **Tachéométrie.**

Suppression du chainage, des règles à calcul, des tables tachéométriques et des tables logarithmiques dans le nivellement et le levé des plans, méthode donnant simultanément la configuration et le relief des terrains de toute étendue par la lecture directe des distances horizontales, des différences de niveau et des coordonnées rectangulaires des points visés par rapport à l'orientation de chaque station, par LOIR ERASME, agent voyer, 3<sup>e</sup> édition. 1 vol. in-8°, avec 3 planches..... 5 fr.

### **Courbes de raccordement.**

Tables pour le tracé des courbes circulaires de raccordement des voies de communication, par CHARLES GRIMMEISEN, ancien ingénieur. 1 volume in-12, avec figures dans le texte, relié..... 9 fr.

### **Courbes de raccordement.**

Tracé des courbes sans aucun chainage de cordes ni d'ordonnées et levé des profils en travers sans niveau, par LOIR ERASME, 3<sup>e</sup> édition, 1 brochure in-8<sup>o</sup>, avec 1 planche..... 1 fr.

### **Calcul des raccordements paraboliques.**

Calcul des raccordements paraboliques dans les tracés de chemin de fer comprenant de nombreuses tables numériques et la théorie complète des courbes à considérer en plan et en profil, par MAXIMILIEN DE LEBER, inspecteur au corps I. R. du contrôle des chemins de fer, avec une introduction par CHARLES BRICKA, ingénieur en chef des ponts et chaussées. 1 volume grand in-8<sup>o</sup> avec figures dans le texte et planches, relié. 23 fr.

### **Courbes de raccordement.**

Nouvelles tables pour le tracé des courbes de raccordement en arc de cercle (chemins de fer, canaux, routes et chemins), par CHAUVAC DE LA PLACE. 6<sup>e</sup> édition. 1 volume in-12, relié..... 7 fr. 50

### **Mouvement des terres.**

Théorie et pratique du mouvement des terres d'après le procédé Bruckner, par ERNEST HENRY, inspecteur général des ponts et chaussées. 1 vol. gr. in-8<sup>o</sup>..... 2 fr. 50

### **Cours de routes.**

Cours de routes professé à l'École des Ponts et Chaussées. Disposition d'une route, étude et rédaction des projets, construction, entretien, par CH.-LÉON DURAND-CLAYE, inspecteur général des ponts et chaussées. 1 vol. grand in-8<sup>o</sup> avec figures dans le texte..... 20 fr.

### **Routes nationales.**

Etat itinéraire des routes nationales de la France et de l'Algérie, publié par le Ministère des Travaux publics. 1 volume in-4. 1 atlas de 90 cartes départementales et une grande carte générale mesurant 0<sup>m</sup>,85 sur 0<sup>m</sup>,95..... 20 fr.

### **Chemins vicinaux.**

Traité pratique des chemins vicinaux. Généralités, personnel, assiette des chemins vicinaux, ressources de la voirie vicinale, exécution des travaux, comptabilité des chemins vicinaux, police de la voirie vicinale, police de roulage, objets divers, par ERNEST HENRY, inspecteur général des ponts et chaussées, ancien agent voyer en chef du département de la Marne. 1 volume grand in-8<sup>o</sup>..... 20 fr.

### **Réparation et entretien des chaussées.**

Réparation et entretien des chaussées en empierrement. Instructions pratiques à l'usage des ingénieurs, conducteurs, commis et agents voyers et plus spécialement à celui des cantonniers, par J. DUBOSQUE, sous-ingénieur des ponts et chaussées. Ouvrage approuvé par le Ministre des Travaux publics, 2<sup>e</sup> édition revue et mise à jour. 1 volume in-12, cartonné..... 1 fr. 50

### **Pavage en bois.**

Le bois et ses applications au pavage à Paris, en France et à l'étranger. Divers systèmes de pavage en bois ; bois employé au pavage ; étude des propriétés physiques, mécaniques, anatomiques et chimiques des bois ; conservation et préparation des bois ; fabrication des pavés ; en-

tretien et durée des pavages en bois ; pavage en bois dans les voies à tramways ; régime des sociétés de pavage en bois ; contrats et cahiers des charges ; fonctionnement du système de la régie, à Paris ; prix de revient, par ALBERT PETSCHÉ, ingénieur des ponts et chaussées, ancien ingénieur du service municipal de Paris. 1 volume in-8°, avec 223 figures dans le texte, relié..... 20 fr.

### **Asphalte.**

L'asphalte. Son origine, sa préparation, ses applications, par LÉON MALO, 2<sup>e</sup> édition ; entièrement refondue et mise au courant des derniers perfectionnements de l'industrie de l'asphalte. 1 volume in-12, avec 2 planches..... 3 fr. 50

### **Traité d'architecture.**

Traité d'architecture, par L. CLOQUET, architecte, ingénieur honoraire des ponts et chaussées, professeur à l'Université de Gand.

Tome I et II : *Éléments de l'Architecture*. 2 volumes grand in-8°, avec 2260 figures dans le texte..... 30 fr.

Tome III : *Hygiène, chauffage et ventilation*. 1 volume grand in-8°, avec 103 figures dans le texte..... 5 fr.

Tomes IV : *Types d'édifices*. 1 volume grand in-8° avec 535 figures dans le texte..... 20 fr.

Tome V : *Esthétique, Composition et Décoration*. 1 volume grand in-8° avec 880 figures dans le texte..... 20 fr.

### **Législation du bâtiment.**

Traité pratique de la législation des bâtiments et des usines. Voirie, mitoyenneté, clôtures, servitudes, assainissement, propriété, bornage, vente d'immeubles, contributions, location, réparations locatives, concours publics, honoraires, législation, jurisprudence, usages locaux, etc., à l'usage des architectes, des ingénieurs, des entrepreneurs, des conducteurs des ponts et chaussées, des agents-voyers, des propriétaires et des locataires, par E. BARBEROT, architecte. 1 volume in-8°, contenant plus de 1500 pages, avec de nombreuses figures dans le texte, relié. 20 fr.

### **Travaux maritimes.**

Cours de travaux maritimes professé à l'École nationale des ponts et chaussées par le baron QUINETTE DE ROCHEMONT, inspecteur des ponts et chaussées, et HENRI DESPREZ, ingénieur des ponts et chaussées. 2 volumes grand in-8° avec figures intercalées dans le texte et un atlas de 18 planches.







Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000297222