

Section de l'Ingénieur



E. CANDLOT

CHAUX

CIMENTS ET MORTIERS

GAUTHIER-VILLARS

MASSON & C^{IE}

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

DES

AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE

SOUS LA DIRECTION DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT

E. CANDLOT — Chaux, Ciments et Mortiers

*Ce volume est une publication de l'Encyclopédie
scientifique des Aide-Mémoire : L. ISLER, Secrétaire
Général, 20, boulevard de Courcelles, Paris.*

N° 325 B

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT.

CHAUX CIMENTS ET MORTIERS

PAR

ED. CANDLOT

Ingénieur
Directeur de la Compagnie parisienne
des Ciments Portland artificiels

PARIS

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-ÉDITEUR	MASSON ET C ^{ie} , ÉDITEURS, LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE
Quai des Grands-Augustins, 55	Boulevard Saint-Germain, 120
(Tous droits réservés)	

PREMIÈRE PARTIE

CHAUX HYDRAULIQUE

Historique. — Jusqu'au commencement du XIX^e siècle, on se servait, comme matériaux d'agrégation des maçonneries, de chaux grasse et de pouzzolane ; la chaux hydraulique était inconnue, ou du moins, on ne savait pas en apprécier les qualités.

Les premières observations relatives à la chaux remontent à la construction du phare d'Eddystone en 1756.

Ce fut Collet-Descotils qui, en 1813, montra le premier le rôle de la silice dans la chaux. Mais c'est incontestablement Vicat qui donna sur les chaux hydrauliques des indications positives. Ses études, conduites avec une méthode et une précision remarquables, permirent de déterminer d'une manière certaine les causes de l'hydraulicité des chaux ; puis Vicat montrait que l'on rencontrait en France, dans presque toutes les régions, des gisements de calcaires propres à fabriquer de très bonnes chaux hydrauliques ; il indiquait également comment il était possible de

fabriquer de la chaux artificiellement par un mélange de calcaire et d'argile. La première fabrique de chaux, montée sur ses conseils par M. de Saint-Léger à Issy-les-Moulineaux, existe encore.

On peut dire qu'il y a peu de découvertes qui aient porté des fruits aussi rapides que celle de Vicat. En quelques années, on vit des fabriques de chaux se créer de tous les côtés et cette industrie, qui prit naissance vers 1830, devint rapidement très florissante.

Propriétés chimiques. — Les calcaires à chaux hydraulique se composent de carbonate de chaux et d'argile ; ils contiennent seulement des traces d'autres matières telles que l'oxyde de fer, la magnésie, l'acide sulfurique.

Quand ces calcaires sont chauffés, l'acide carbonique commence par disparaître, puis l'argile réagit sur une partie de la chaux ainsi mise en liberté ; c'est à la température de 1 000 à 1 200° que ces réactions se produisent.

La chaux cuite se présente sous la forme de roches légères, spongieuses, d'une couleur grise ou jaune clair suivant que la teneur en oxyde de fer est plus ou moins grande.

Quand on arrose ces roches avec une certaine quantité d'eau, il se produit rapidement un échauffement de toute la masse ; en même temps, celle-ci se boursoufle, éclate, se désagrège de

plus en plus et finalement se réduit en poudre très fine.

Ces phénomènes sont dus à la chaux libre contenue dans la chaux cuite ; en absorbant rapidement de l'eau pour se transformer en hydrate de chaux, elle détermine la pulvérisation spontanée des roches et les amène ainsi à un état propre à l'emploi. La silice contenue dans le calcaire s'est combinée à la chaux pour former du silicate tricalcique ; l'alumine s'est combinée également avec trois équivalents de chaux.

Les grains d'argile sont extrêmement fins et répartis dans toute la masse du calcaire ; par suite de leur combinaison avec la chaux, ils donnent naissance à des grains également très petits de silicate et d'aluminate de chaux qui, après l'extinction, se trouvent répartis uniformément dans la chaux en poudre.

Quand la chaux est mise au contact de l'eau, les réactions sont, pendant un certain temps, presque nulles ; les silicates et les aluminates, par suite du grand excès de chaux hydratée au milieu de laquelle ils se trouvent, ne s'hydratent que très lentement ; l'aluminate cristallise en fixant 3 équivalents d'eau ; le silicate se dédouble en silicate monocalcique et en hydrate de chaux. C'est ce silicate monocalcique qui, par sa cristallisation, détermine le durcissement des chaux ; l'aluminate, dans la plupart des chaux, ne joue qu'un

rôle secondaire. Cependant, quand il existe en proportion relativement importante, il cristallise assez rapidement et provoque une prise rapide de la chaux.

Indice d'hydraulicité. — Toutes les chaux sont loin d'avoir les mêmes qualités; les unes font prise en quelques heures et durcissent rapidement; d'autres ne commencent à présenter quelque dureté qu'après plusieurs jours.

Ces variations tiennent à la quantité plus ou moins grande d'argile contenue dans le calcaire; on conçoit, en effet, très facilement que les seuls éléments actifs étant le silicate et l'aluminate de chaux, le durcissement d'une chaux est d'autant plus rapide qu'elle contiendra une plus grande proportion de ces éléments.

Vicat a classé les chaux en chaux faiblement hydrauliques, chaux moyennement hydrauliques, chaux hydrauliques proprement dites, chaux éminemment hydrauliques; ce qui caractérise chaque classe de chaux, d'après Vicat, c'est, d'une part, la prise, d'autre part, l'indice d'hydraulicité, c'est-à-dire le rapport de l'argile à la chaux.

Les chaux faiblement hydrauliques ont un indice compris entre 0,10 et 0,16, elles font prise du seizième au trentième jour.

Les chaux moyennement hydrauliques ont un indice compris entre 0,16 et 0,31, elles font prise du dixième au quinzième jour.

Les chaux hydrauliques proprement dites ont leur indice compris entre 0,31 et 0,42, elles font prise du cinquième au neuvième jour.

Les chaux éminemment hydrauliques ont un indice compris entre 0,42 et 0,50, elles font prise du deuxième au quatrième jour.

Au delà, on a les chaux limites, c'est-à-dire celles dans lesquelles l'argile est en proportion assez grande pour saturer toute la chaux sous l'influence d'une température élevée ; nous en parlerons quand il sera question de grappiers.

La classification de Vicat n'est plus guère employée en pratique ; on divise maintenant les chaux en chaux légères et chaux lourdes ; les premières ont un poids de 0^{kg},500 à 0^{kg},650 au litre ; dans les secondes, on comprend toutes celles qui ont un poids supérieur à 0^{kg},700 au litre.

L'indice des chaux légères est généralement inférieur à 0,30. Dans les chaux lourdes, on trouve des indices de 0,31 jusqu'à 0,50.

La durée de prise ne concorde pas toujours avec l'indice ; une chaux peut parfaitement prendre plus rapidement qu'une autre à indice plus élevé ; la teneur en alumine et les soins apportés à la fabrication ont une influence très sensible sur la prise.

Fabrication. Extraction. — L'exploitation des carrières de pierres à chaux a une impor-

TABLEAU DES PRINCIPALES CHAUX HYDRAULIQUES

Désignation	Sable siliceux	Silice	Alumine	Oxyde de fer	Chaux	Magnésie	Acide sulfurique	Perte au feu	Produits non classés	Indice hydraulique
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
Saint-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 Moulinaux (Seine)	2,40	19,45	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-Inférieure)	//	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 (Alpes-Maritimes)	//	22,55	5,00	2,60	57,75	0,60	1,35	10,15	//	0,48
Le Teil (Ardèche)	//	23,13	1,72	0,73	63,76	0,97	//	9,69	//	0,39

Le Teil (Ardèche)	0,30	19,05	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
Tournai (Belgique)	"	19,75	3,44	1,16	61,85	0,60	0,45	12,55	0,20	0,37
Tournai (Belgique)	"	22,20	3,30	1,20	58,50	1,15	0,72	12,40	0,53	0,43
Tournai (Belgique)	"	10,20	4,32	1,88	58,12	1,11	0,34	24,00	"	0,25
Sauveterre (Lot-et-Garonne)	"	15,10	5,00	1,80	57,00	3,90	1,40	15,8	"	0,35
Seilley (Aube)	"	18,90	6,23	1,87	58,75	1,29	0,54	12,10	0,32	0,42
Saint-Bernard (Aube)	"	17,80	5,51	1,39	60,10	0,50	0,65	13,88	0,17	0,39
Ancy-le-Franc	"	20,50	4,70	1,30	61,00	1,00	0,50	10,80	0,20	0,41
Xeuilley (Meurthe-et-Moselle)	"	15,40	7,72	2,78	54,30	1,18	0,93	18,03	"	0,43
Vitry (Marne)	"	14,70	6,10	2,30	62,65	0,73	0,53	12,60	0,29	0,33
Virieu (chaux légère) (Ain)	"	22,40	5,75	2,70	56,10	1,50	1,00	10,55	"	0,50
Virieu (chaux lourde)	"	26,65	6,50	2,85	51,80	1,40	1,30	9,50	"	0,63

tance assez grande ; il est nécessaire, en effet, d'apporter le plus grand soin au choix des pierres puisque c'est de là que dépendra la qualité de la chaux. Il est rare que, dans une carrière, toutes les pierres aient une composition régulière. Généralement, il existe une série plus ou moins grande de couches ayant chacune une composition déterminée.

Quand les variations ne sont pas trop grandes entre les diverses couches, on les abat toutes à la fois sur une certaine longueur et il se produit ainsi un certain mélange des pierres ; si leur composition est trop différente il faut exploiter chaque banc séparément et faire subir à chaque nature de pierre le traitement qui lui convient.

L'abatage doit être dirigé de telle sorte qu'il se produise le moins possible de débris ; ceux-ci sont, en effet, inutilisables. Aussi le cassage des gros blocs se fait-il toujours à la main de manière à obtenir des morceaux aussi réguliers que possible.

Cuisson. — Les fours à chaux ont des formes très diverses. En France principalement, on ne paraît avoir obéi à aucune considération théorique sérieuse pour adopter une forme plutôt qu'une autre. On s'en est rapporté le plus souvent à l'opinion de vieux chauxourniers plus ou moins expérimentés.

Les fours à longue flamme sont très peu uti-

lisés, surtout en France où il n'en existe plus ; nous en donnerons seulement quelques exemples.

Le four Fanehjelm (*fig. 1*) fonctionne avec gazogènes situés à la partie inférieure du four ; il a 12 mètres de hauteur sans la cheminée ; la production est de 10 à 30 tonnes de chaux cuite en 24 heures suivant la grandeur du four.

Dans le four de Rüdersdorf, on emploie du charbon gras qui est brûlé sur des grilles qui se trouvent disposées autour de la partie inférieure du four (*fig. 2*). Suivant

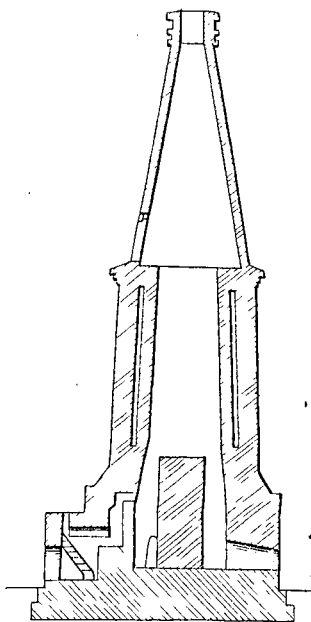


Fig. 1

la dimension du four le rendement est de 5 à 13 tonnes en 24 heures.

Les fours à courte flamme, c'est-à-dire ceux avec lesquels on emploie un combustible ne don-

nant pas ou peu de flamme et qui est mélangé directement dans le four avec les pierres, ont, en général, une forme ovoïde. Les fours du Teil

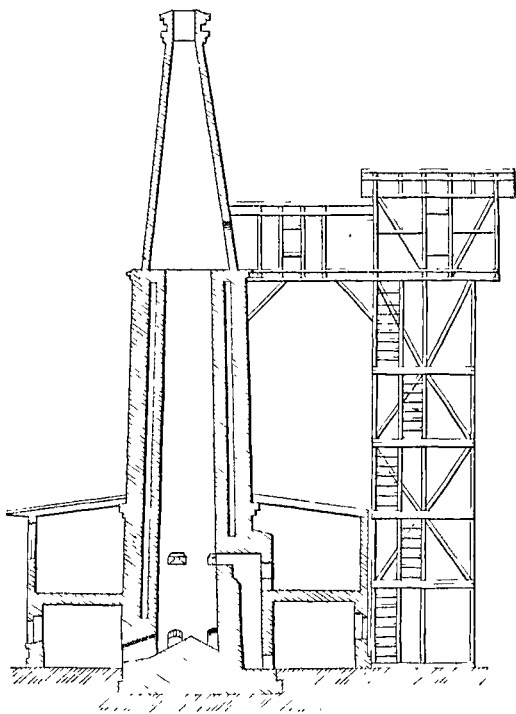


Fig. 2

peuvent être considérés comme le type de ce genre de four ; ils ont 12 à 14 mètres de hauteur, 1^m,50 au gueulard et 1^m,80 à la grille. (fig. 3).

Le four est muni d'un couvercle qui permet de modérer le feu et d'arrêter, s'il est nécessaire, pendant quelques heures, la combustion.

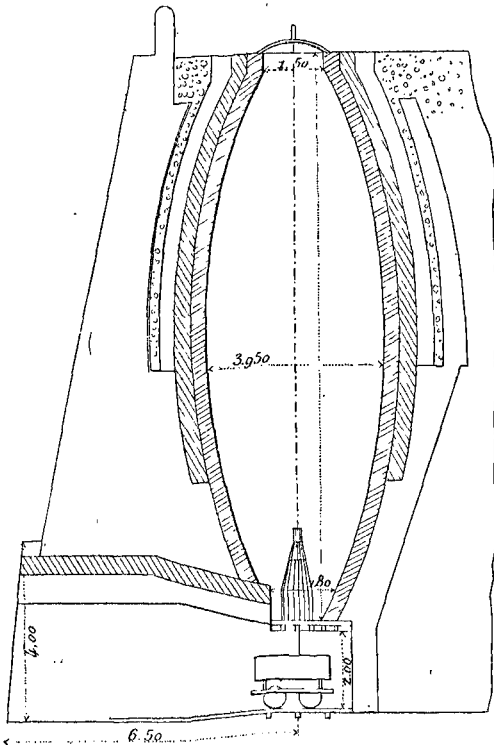


Fig. 3

Sur la grille est disposé une sorte de cône assez élevé formé de barreaux reliés par des

cercles et destiné à faciliter l'entrée de l'air dans le four.

On charge le four pendant le jour seulement ; à intervalles réguliers, on tire une certaine quantité de chaux cuite, puis on remplit le four de couches alternatives de combustible et de pierres. Pendant la nuit, on ferme le four à l'aide du couvercle mobile.

Comme combustible, on emploie généralement l'anhracite ou un charbon maigre à 10-12 % de matières volatiles ; quelquefois on se sert du coke. Suivant la qualité du combustible, la proportion qui est nécessaire pour la cuisson varie de 120 à 180 kilogrammes par tonne de chaux cuite. La forme du four et l'habileté du chaudiournier ont aussi une influence très sensible sur la dépense du combustible.

Le four de Malain (*fig. 4*) a des dimensions à peu près semblables à celles des fours du Teil ; il a 1^m,25 au gueulard, 2^m,40 au ventre et 1^m,50 à la grille. La disposition adoptée pour le défournement est assez pratique, car elle permet de recevoir directement la chaux dans les wagonnets et laisse un libre accès à l'air.

Les fours de Louvières à Vitry (établissements de M^{me} veuve Roze Robert) sont du même genre que ceux du Teil (*fig. 5*).

A Échoisy, dans les usines de M. Nivel, on trouve des fours d'une forme très différente ; ils

ont une section rectangulaire avec un diamètre

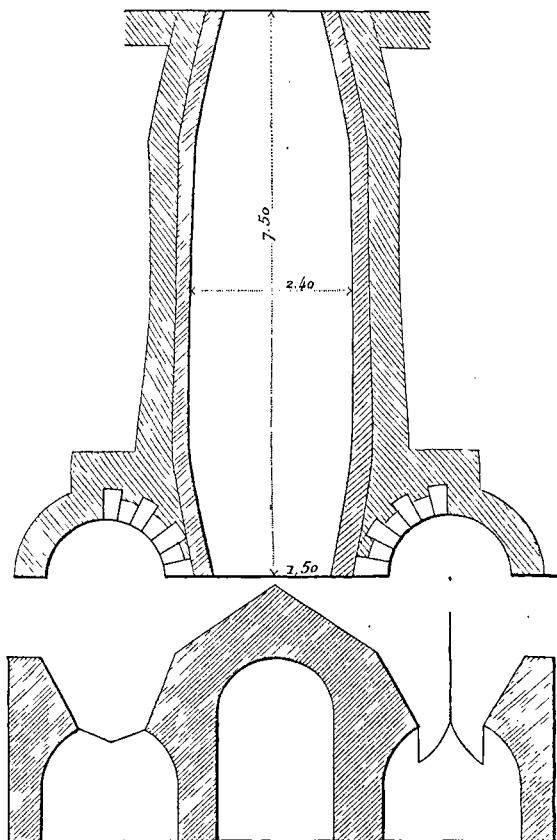


Fig. 4

plus grand à la grille qu'au gueulard ; leur hau-

E. CANDLOT — Chaux, Ciments et Mortiers

teur total est de 8 mètres avec 6 mètres seule-

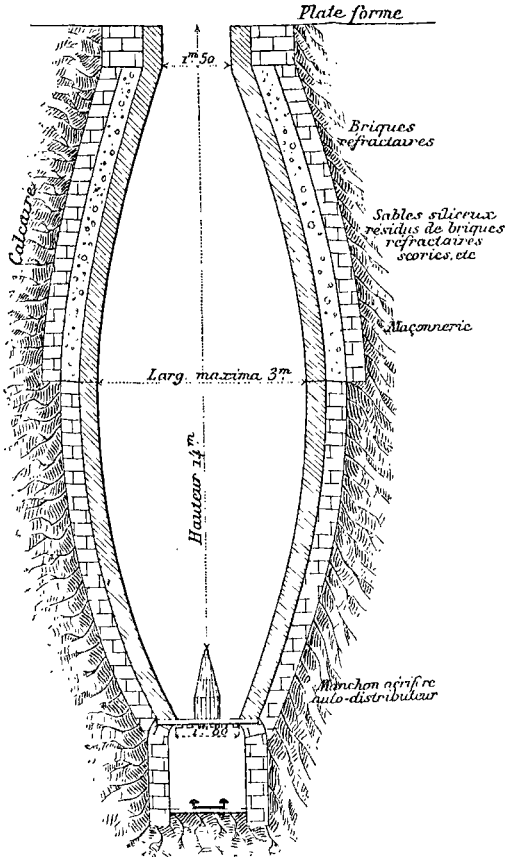


Fig. 5

ment pour la cuve proprement dite (fig. 6).

Il n'y a aucune raison sérieuse pour donner aux fours une forme ovoïde ; c'est, au contraire, une cause de mauvais fonctionnement. La forme

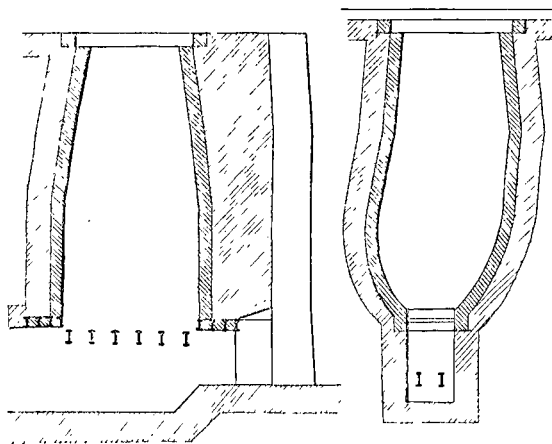


Fig. 6

cylindrique est bien préférable et nous avons obtenu de très bons résultats avec un four dont nous donnons un aperçu (fig. 7) et dont les dimensions principales sont : hauteur 10 mètres, diamètre 2^m,50, cheminée 4 à 6 mètres.

Extinction. — La chaux sortant des fours est triée, on enlève les incuits reconnaissables à leur teinte et à leur poids, puis on la porte aux salles d'extinction.

Pendant très longtemps, l'extinction s'est faite dans de simples hangars et, dans beaucoup

d'usines, il n'existe pas d'autre installation. On apporte la chaux sous le hangar, on la répand sur le sol en couche de $0^m,10$ à $0^m,15$, puis on l'ar-

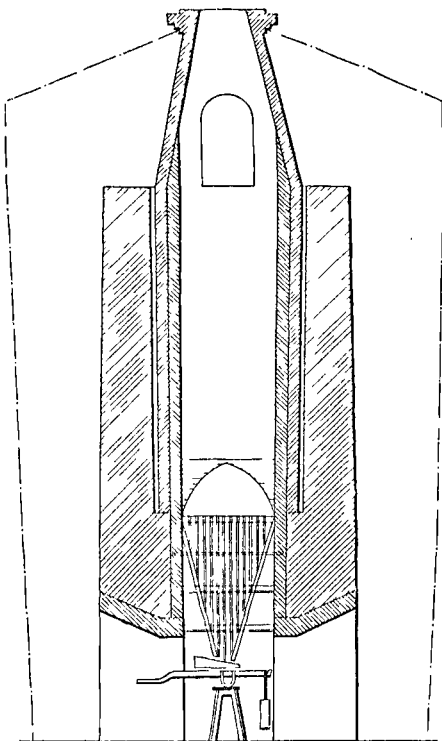


Fig. 7

rose de manière que toutes les pierres soient bien humectées ; cette opération est faite très rapidement et aussitôt on relève la chaux et on la re-

jette sur le tas. Le tas d'extinction doit être assez grand pour que la chaux puisse y séjourner pendant 8 à 10 jours au moins.

Il importe que la chaleur du tas se maintienne aussi grande que possible ; c'est pourquoi on doit le faire assez large et assez élevé.

Aussitôt la chaux rejetée sur le tas, on la recouvre d'une légère couche de chaux déjà éteinte, de manière à éviter encore la déperdition de chaleur. L'extinction de la chaux se fait bien plus vite et plus complètement si elle se produit dans un milieu à température voisine de 100°.

Dans les usines mieux outillées, les salles d'extinction sont constituées par de grandes chambres ou silos dans lesquelles la chaux s'éteint beaucoup mieux, en même temps que les opérations se trouvent facilitées. La chaux est tantôt déversée sur des wagonnets plates-formes sur lesquels s'opère l'arrosage, puis elle est jetée dans les fosses ; ou bien le wagonnet l'amène devant l'orifice des silos, la chaux est répandue sur le sol, arrosée et jetée à la pelle dans le silo.

Dans les installations perfectionnées, les silos sont en ciment armé ; le fond est disposé en forme de trémie ; en dessous de ces trémies est disposée une courroie sur laquelle tombe la chaux éteinte qui est entraînée ainsi automatiquement aux bluteries.

L'extinction est une des opérations les plus importantes dans la fabrication de la chaux ; si on emploie trop d'eau, l'extinction se fait mal, la chaux ne s'échauffe pas, elle ne s'éteint qu'en partie et une grande quantité reste en grumeaux qui ne parviennent pas à se dessécher. Avec trop peu d'eau, on obtient une chaux très dangereuse car elle renferme une grande proportion de chaux caustique. Enfin si la chaux est restée trop peu de temps à l'extinction elle ne s'éteint qu'en partie. Dans beaucoup d'usines, on laisse la chaux à l'extinction pendant un ou deux jours seulement puis on la blute et on fait passer aux meules toutes les parties refusées par les bluteries. De pareils produits ne peuvent évidemment inspirer aucune confiance, car ils contiennent à la fois des incuits et de la chaux caustique en proportion souvent très élevée.

La quantité d'eau généralement employée pour arroser la chaux est de 10 % environ. Le temps nécessaire pour obtenir une extinction complète varie suivant la composition des calcaires.

Grappiers. — Quand on blute la chaux éteinte on obtient un résidu de matières ayant échappé à l'extinction et composé d'incuits reconnaissables à leur teinte et à leur légèreté et de surcuits ; ce sont ces surcuits que l'on nomme grappiers. Les véritables grappiers sont obtenus avec des chaux d'indice de 0,30 à 0,40 ; ils

proviennent de parties siliceuses disséminées dans la masse des calcaires et qui, par suite d'une température élevée, ont pu se combiner avec une quantité de chaux suffisante pour former du silicate tricalcique. Quand la chaux est entièrement combinée dans les grappiers, ceux-ci ne peuvent s'éteindre et ils restent, par conséquent, en morceaux. Toutefois, certains grappiers peuvent encore contenir une certaine quantité de chaux libre qui, emprisonnée dans une masse fondue, n'a pu subir le contact de l'eau. Il est donc prudent d'arroser de nouveau les grappiers et de les remettre en tas pour permettre à toute la chaux libre de s'éteindre.

Quelquefois les grappiers sont complètement éteints au bout de quelques semaines. Avec certaines espèces de chaux, il faut, au contraire, laisser les grappiers une année à l'extinction pour être assuré que toute la chaux est éteinte.

Avec les chaux à indice élevé, dépassant 0,40, les grappiers n'ont plus la même nature. Ce sont des surcuits qui constituent un véritable ciment naturel. Ces chaux demandent des soins tout particuliers ; ce sont elles que Vicat appelait chaux limites parce qu'elles peuvent produire à la fois du ciment et de la chaux. Les calcaires avec lesquels elles sont fabriquées n'étant pas très réguliers, il en résulte que des parties à indice de 0,40, par exemple, cuits trop fortement,

fondent et résistent alors pendant très longtemps à l'extinction. Si on n'y prend pas garde et si, considérant ces surcuits comme du ciment, on les réduit en poudre, on aura infailliblement un produit qui, après l'emploi, gonflera et désagrègera les maçonneries par suite de l'extinction tardive de la chaux libre.

Blutage. — La chaux reprise aux tas ou aux chambres d'extinction est portée aux bluteries. On la déverse généralement sur une grille à barreaux espacés de 0^m,05 à 0^m,06 au dessous de laquelle se trouve la fosse d'un élévateur à godets. Les gros morceaux qui ont échappé à l'extinction sont ainsi éliminés et on évite qu'ils ne détériorent les toiles des bluteries.

Cette grille est souvent remplacée par un épierreur, sorte de trommel composé de barreaux assez espacés et incliné convenablement pour permettre le rejet des gros morceaux sur le côté.

La poudre prise par l'élévateur est déversée dans la bluterie. Celle-ci se compose d'un tambour à section hexagonale de 3 à 6 mètres de longueur ; il est garni de toile métallique dont la finesse varie suivant la qualité des produits ; quelques fabricants se contentent de la toile n° 50, d'autres emploient des toiles à 60, 70 et même 80 (*fig.* 8) ; un cylindre en tôle perforée placé intérieurement, relie les gros morceaux et protège les toiles. La poudre fine tombe dans une

trémie au-dessous de laquelle sont fixés des ensachoirs ; la chaux, ainsi mise en sacs de 50 kilogrammes chacun, est prête à être expédiée.

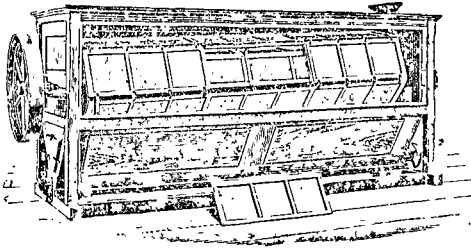


Fig. 8

Les ensachoirs sont parfois automatiques ; c'est-à-dire que l'écoulement de la poudre s'arrête dès que le sac contient 50 kilogrammes de chaux (fig. 9). M. Branget, fabricant de chaux à Malain, a imaginé une bluterie à vent qui paraît donner des résultats satisfaisants.

Les rejets des bluteries sont traités de différentes façons suivant que l'on produit uniquement de la chaux légère ou bien lorsque l'on fabrique en même temps de la chaux lourde et du ciment de grappiers. Dans le premier cas, les rejets sont renvoyés au tas d'extinction, ou bien ils sont remis à l'extinction séparément. Plus tard, on les blute de nouveau et les rejets sont définitivement éliminés ; ou bien encore on envoie les rejets aux broyeurs, généralement des meules,

et la poudre fine est renvoyée aux bluteries qui reçoivent les produits de l'extinction. Cette manière d'opérer est surtout utilisée avec les chaux moyennement hydrauliques dont les grappiers

ne sont pas très riches en argile.

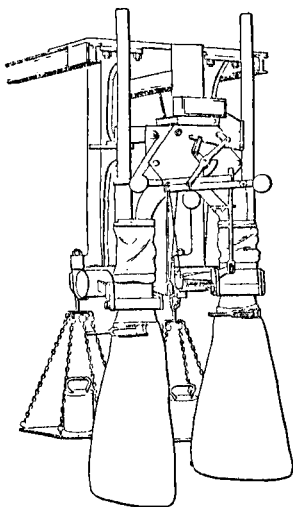


Fig. 9

Quand les calcaires employés pour la fabrication ont des indices assez élevés, les rejets des bluteries sont composés des parties les plus argileuses qui ont subi un commencement de vitrification et ont résisté ainsi à l'extinction ; les unes contenant assez d'argile sont de véritable ciment et résiste-

raient indéfiniment à l'extinction ; les autres ont un indice voisin de celui du ciment, mais contiennent encore un excès de chaux ; ce sont les chaux limites si redoutées et contre lesquelles Vicat prescrivait de se mettre en garde ; avec une extinction prolongée, ces grappiers finissent par se réduire en poudre.

Dans une fabrication soignée, on doit donc re-

mettre à l'extinction pendant un temps plus ou moins long ces rejets. En général, on se contente de faire passer les grappiers provenant du premier blutage dans des meules écartées de quelques millimètres de manière à écraser seulement les parties assez tendres et à dépouiller les grappiers durs de l'enveloppe de poudre éteinte dont ils peuvent être entourés. Après blutage, la poudre obtenue constitue la chaux lourde ; les rejets sont considérés comme du ciment devant résister à une extinction plus prolongée ; on les réduit en poudre fine et ce ciment est conservé en silos pendant plus ou moins longtemps.

On obtient ainsi des produits assez hétérogènes ; les grappiers se composent, en effet, non seulement des parties vitrifiées qui sont bien du ciment, mais aussi des incuits, de la chaux noyée, des débris de fours, des cendres de combustible, etc.

Chaux lourde. — Dans beaucoup d'usines, notamment celles de la région du sud-est de la France, en Suisse et en Belgique, la chaux cuite est, après une extinction plus ou moins prolongée, passée entièrement aux broyeur, on obtient ainsi des chaux dont le poids au litre atteint 1 kilogramme et pourrait être plutôt considérées comme des ciments naturels. Ces produits peuvent être de bonne qualité si l'extinction est bien complète, mais on conçoit que des négligences

dans cette partie de la fabrication puissent avoir des conséquences très fâcheuses.

Chaux hydraulique artificielle. — Quand Vicat eut montré que l'hydraulicité des chaux était due à la combinaison de la chaux avec la silice et l'alumine, il indiqua comment on pouvait produire artificiellement de la chaux hydraulique par des mélanges de chaux grasse et d'argile. Une usine créée sur les indications de Vicat aux Moulineaux, près de Paris, en 1826, et qui existe encore, livre une chaux artificielle de bonne qualité et a pu soutenir la concurrence des chaux naturelles. Toutefois cet exemple ne fut pas imité et ce n'est que dans ces dernières années que d'autres tentatives ont été faites dans la même voie. Il existe une fabrique de chaux artificielle à Haubourdin près de Lille et une autre à Rivet près d'Alger.

La fabrication de la chaux artificielle est semblable à celle du ciment, il faut toutefois une moins grande perfection de mélange et, d'autre part, le broyage des matières cuites est moins onéreux. Mais, somme toute, il y a peu d'écart entre le prix de revient de la chaux artificielle de bonne qualité et celui du ciment et on peut se demander si cette fabrication est bien rationnelle ; elle ne peut convenir en tous cas que dans certaines régions où les chaux naturelles n'arrivent que grevées de frais de transport assez élevés.

En général, les installations des fabriques de chaux, en ce qui concerne l'extinction, le blutage et le broyage ne sont pas toujours très bien conçues ; on pourrait améliorer et simplifier beaucoup ces diverses opérations ; même les usines citées comme modèles laissent encore à désirer sur bien des points.

La chaux doit être très fine, elle ne doit laisser aucun résidu sur le tamis de 324 mailles, 2 à 3 % sur celui de 900 et moins de 20 % sur celui de 4900 mailles.

Principales usines de chaux. — Les principales usines de chaux sont les suivantes :

- Pavin de Lafarge, au Teil ;
- Valette Vialard à Cruas ;
- Contes-les-Pins, près Nice (Alpes-Maritimes) ;
- Thorrand Durandy et Cie, près Nice (Alpes-Maritimes) ;
- Sauveterre-la-Lémance (Lot-et-Garonne) ;
- Saint-Astier (M. Eymery) (Dordogne) ;
- Marans (Vendée) ;
- Échoisy (Charente) ;
- Paviers et Trogues (Indre-et-Loire) ;
- Usines de Beffes (Cher) ;
- Senonches (Eure-et-Loir) ;
- Laigle (Orne) ;
- Les Louvières (Marne) ;
- Vitry-le-François (Pavin de Lafarge) (Marne) ;
- Société des Chaux de l'Aube (Aube) ;
- Xeuilley (Meurthe-et-Moselle) ;
- Virieu-le-Grand (Ain) ;
- Béon (Ain) ;
- Montalieu et Bouvesse (Isère).

DEUXIÈME PARTIE

CIMENTS

CHAPITRE PREMIER

CIMENTS NATURELS

I. CIMENTS PROMPTS

Les ciments prompts sont les premiers ciments qui aient été connus. Ce furent les ciments anglais de Parker et de Médina employés dès 1796, puis les ciments français de Pouilly (Côte-d'Or), de Guéthary (Basses - Pyrénées), de Boulogne-sur-Mer, que l'on fabriquait vers la fin du dix-huitième siècle.

Actuellement les ciments prompts se fabriquent en France principalement dans la région de Vassy, dans l'Isère, aux environs de Marseille et dans le sud-ouest, dans les départements du Lot, du Lot-et-Garonne et de la Dordogne. Il s'en faut de beaucoup que les ciments de ces diverses provenances aient les mêmes qualités. Ceux de la région de Grenoble, et dont les plus renommés sont ceux de la Porte de

France, sont considérés comme bien supérieurs à tous les autres. Ils sont fabriqués avec des calcaires argileux de composition assez régulière, d'un indice peu supérieur à celui des ciments Portland.

Les ciments de la région de Marseille connus sous le nom de ciments de la Bédoule, de Roquefort, de la Valentine, sont fabriqués avec des calcaires très riches en argile et de composition assez variable. On produit encore des ciments prompts en Italie et en Suisse mais en quantité assez faible.

Ciments romains. — Des ciments à indice élevé, cuits à une température modérée, sont fabriqués en quantités considérables aux Etats-Unis, ce sont les ciments de Rosendale ; l'Autriche et la Russie produisent aussi ces ciments en assez grande quantité. La prise de ces ciments est lente ; ils contiennent généralement une proportion assez forte de magnésie.

Propriétés chimiques. — Tous ces produits, aussi bien ceux qui sont à prise rapide que ceux à prise lente, sont caractérisés par une densité assez faible et par une couleur jaune clair ou jaune brun. Le ciment, au moment où il vient d'être gâché a une teinte claire ; mais par la suite, à mesure que le mortier durcit et reste au contact de l'air, il devient de plus en plus couleur brun foncé. Ce changement de couleur

est dû à la mise en liberté d'oxyde de fer que ces ciments contiennent en proportion assez élevée ; le ferrite de chaux, qui existe dans le ciment en poudre, est décomposé peu à peu au contact de l'air, la chaux se carbonate et le fer est mis en liberté.

La teneur en argile des calcaires à ciments prompts varie entre 25 et 35 % ; la proportion d'alumine est toujours assez élevée ; dans le ciment cuit, on en trouve de 8 à 12 %. L'indice d'hydraulicité est compris entre 0,60 et 1,10. Certains ciments romains contiennent des doses très fortes de magnésie ; les ciments américains de Rosendale sont dans ce cas.

Nous donnons, à la page suivante, la composition de quelques ciments prompts.

Fabrication. — La fabrication de ces ciments est très simple. Le calcaire venant de la carrière est porté directement aux fours. Ceux-ci sont généralement de capacité assez restreinte ; ils sont analogues aux fours à chaux ; quelquefois ils sont surmontés d'une cheminée peu élevée.

Aux États-Unis, les ciments naturels sont cuits dans de grands fours cylindriques de 10 à 12 mètres de hauteur et 3 à 4 mètres de diamètre.

La cuisson est continue ; on emploie très peu de combustible car il suffit de chasser l'acide carbonique du calcaire ; une proportion de 12 à

CIMENTES PROMPTS

Désignation	Résidu sableux	Silice	Alumine	Oxyde de fer	Chaux	Magnésie	Acide sulfurique	Perte au feu	Produits non dosés	Indice d'hydrau-licité
L'Albarine	2,40	25,45	9,25	3,85	47,85	1,45	0,70	8,95	"	0,72
Guéthary	"	25,10	8,85	3,05	53,80	1,15	1,15	6,85	"	0,63
La Valentine	4,45	24,55	10,85	5,20	47,85	1,60	1,60	3,95	"	0,74
Roquefort	0,85	27,20	11,05	4,45	48,05	1,40	1,65	5,35	"	0,79
Vassy	"	22,60	8,90	5,30	52,69	1,15	3,25	6,11	"	0,60
Isère	"	21,70	8,29	3,71	52,68	3,52	3,56	6,20	0,34	0,50
Pouilly	2,00	26,80	10,39	4,61	46,10	1,72	1,74	6,40	0,24	0,80
Yonne	"	23,40	12,90	3,30	47,70	1,05	3,30	8,35	"	0,76
Zumaya (Espagne)	10,70	30,80	7,82	5,13	33,04	0,93	2,90	8,20	0,48	1,17
Schmidte (Russie)	"	14,72	8,56	2,70	36,74	22,26	"	10,70	"	0,44
Podolsk (Russie)	"	12,57	2,76	1,16	48,20	15,10	"	"	"	0,26
Rosendale (États-Unis)	"	24,30	7,22	5,06	33,70	20,94	"	"	"	0,67

13 % du combustible rapportée au ciment cuit est généralement suffisante ; et encore utilise-t-on presque toujours des combustibles de qualité inférieure.

Le ciment cuit, dont on enlève seulement les plus gros incuits, est passé aux broyeurs et aux bluteries. Presque toujours il est nécessaire de laisser le ciment séjourner un certain temps en silos. Il se trouve, en effet, dans les calcaires des parties plus riches en chaux qui, en s'éteignant, produiraient des gonflements si on ne prenait la précaution de laisser la poudre en silos.

II. CIMENTS SURCUITS LENTS ET DEMI-LENTS

En dehors des ciments naturels lents, à faible cuisson, connus en Russie, en Autriche et en Allemagne notamment, sous le nom de ciments romains, on fabrique en France des ciments à prise lente et demi-lente avec des calcaires naturels cuits à une plus haute température.

Ces ciments sont généralement fabriqués dans les usines qui produisent également du ciment prompt ; ce sont les mêmes calcaires qui sont utilisés, mais ils sont cuits plus fortement. Pour ralentir la prise, on ajoute, aux pierres cuites, au moment de la mouture, une quantité plus ou

moins grande de grappiers de chaux hydraulique.

Ces ciments sont vendus sous le nom de ciment Portland, bien qu'ils diffèrent complètement comme composition et fabrication de ce produit. M. Gobin, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, dans une étude sur les ciments de l'Isère, a montré très judicieusement qu'il conviendrait d'appeler ces produits ciments mixtes.

Dans certaines régions, les calcaires sont cuits fortement et broyés sans aucune addition de matières étrangères ; tels sont les ciments dits du Valbonnais, dans l'Isère, ceux d'Allas, en Dordogne.

La fabrication de ces ciments n'offre rien de particulier. On emploie seulement une proportion plus grande de combustible.

Un séjour prolongé en silos est absolument nécessaire pour permettre d'atténuer les effets de la chaux libre que ces ciments contiennent toujours.

Principales usines françaises :

Dumarcet, à Provency (Yonne) ;
Millot, à Marsy et Sainte-Colombe (Yonne) ;
Joudrier et C^{ie}, à Vassy (Yonne) ;
Prévoist, à Vassy (Yonne) ;
Bougault, à Vassy (Yonne) ;
Landry frères, à Venarey (Côte-d'Or) ;
Journault, à Marigny-le-Cahouet (Côte-d'Or) ;
Détang, à Pouilly (Côte-d'Or) ;

Société Romain Boyer, à la Bédoule (Bouches-du-Rhône) ;

Négrel-Martini, Roquevaire (Bouches-du-Rhône) ;

Société Pavin de Lafarge, La Bédoule (Bouches-du-Rhône) ;

Société des Ciments de la Porte de France, Grenoble (Isère) ;

Allard, Niellet et C^{ie}, Voreppe (Isère) ;

Vicat et C^{ie}, Saint-Laurent-du-Pont et Uriage (Isère) ;

Guingat et C^{ie}, Grenoble (Isère) ;

Berthelot, à Vif (Isère) ;

Pelloux et C^{ie}, Valbonnais (Isère) ;

Allas de Berbiguières (Dordogne) ;

Sauveterre (Lot-et-Garonne).

CHAPITRE II



CIMENTS ARTIFICIELS

I. CIMENT PORTLAND

La découverte du ciment Portland est attribuée à un anglais, J. Apsdin, briquetier des environs de Leeds. Cependant on n'a que peu de renseignements sur le produit qu'il fabriquait et la première usine sur laquelle on ait des données positives est celle de Frost établie à Swanscombe en 1825.

Le nom de ciment Portland avait été donné à ce produit parce qu'il permettait d'obtenir des mortiers ayant la dureté et la couleur de la pierre renommée de Portland ; mais jamais il n'y a eu de fabrique de ciment dans cette localité.

Pendant très longtemps le ciment Portland a été fabriqué en Angleterre d'après des règles purement empiriques. La première usine dans laquelle on ait suivi une méthode basée sur l'observation scientifique fut celle établie par le fils de L. Vicat à Grenoble en 1857. Les établis-

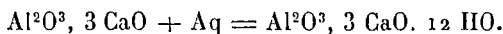
sements de Boulogne-sur-Mer furent créés en 1859 par Dupont et Demarle ; vers la même époque, on installait des usines en Allemagne et en Russie. C'est surtout à partir de 1880 que l'industrie du ciment prit un essor considérable. En Allemagne principalement, une grande quantité d'usines, dont quelques-unes très importantes, furent créées, ainsi qu'en Russie, en Autriche, en Suisse. Dans ces dernières années, les États-Unis ont commencé à s'occuper de la fabrication du ciment Portland et c'est maintenant dans ce pays que se trouvent les usines les plus importantes.

Propriétés chimiques. — Le ciment Portland est composé essentiellement de chaux, de silice et d'alumine. Ce sont les seuls composés actifs ; il contient, en outre, de l'oxyde de fer, de la magnésie, de l'acide sulfurique, quelquefois de la potasse, de la soude, du manganèse, de l'acide titanique, mais en très faible proportion. L'indice d'hydraulicité, d'après la classification de Vicat, est de 0,44 environ. Le rapport de la chaux à la silice, à l'alumine et à l'oxyde de fer est, dans presque tous les ciments Portland, très voisin de 2.

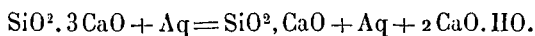
Le mélange des éléments qui constituent le ciment doit être toujours parfaitement intime ; sous l'influence de la chaleur, l'acide carbonique disparaît d'abord, puis l'alumine réagit

sur la chaux et ensuite la silice ; il se forme de l'aluminate tricalcique et du silicate tricalcique de chaux. Pour que la réaction soit complète, il faut que la masse subisse un commencement de fusion. L'oxyde de fer, uni probablement à une partie des autres éléments, forme un fondant qui favorise la combinaison de la silice et de l'alumine avec la chaux.

Quand le ciment en poudre est mis en contact avec l'eau, les réactions suivantes se produisent : l'aluminate de chaux s'hydrate en fixant 12 équivalents d'eau suivant la formule

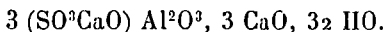


C'est la cristallisation de ce sel qui détermine la première prise du ciment. Puis le silicate de chaux s'hydrate à son tour, mais il se dédouble en silicate monocalcique et chaux hydratée :



L'aluminate de chaux, qui a une influence très nette sur la prise, paraît n'avoir, au contraire, qu'un rôle très secondaire sur le durcissement ultérieur du mortier. Les ciments acquièrent autant de dureté quand ils ne contiennent que très peu d'alumine. C'est le silicate monocalcique et l'hydrate de chaux qui donnent surtout au ciment la grande résistance qu'il acquiert avec le temps.

Le ciment Portland fait prise généralement en quelques heures ; mais diverses circonstances ont une grande influence sur la rapidité de prise. La présence, soit dans l'eau de gâchage, soit dans le ciment lui-même, de sels ayant une action chimique sur la chaux a pour conséquence de ralentir ou d'activer la prise. Le chlorure de calcium et le sulfate de chaux ralentissent la prise ; le premier de ces sels se combine vraisemblablement avec la chaux pour former de l'oxychlorure de calcium, le second forme avec l'aluminate de chaux un sel double dont la formule est



Les carbonates de soude et de potasse accélèrent la prise, de même que tous les sels qui attaquent la chaux pour former une combinaison simple.

C'est à l'action du chlorure de calcium et du sulfate de chaux qu'il faut attribuer ce fait que le ciment prend moins vite quand il est gâché avec de l'eau de mer. Le chlorure de sodium, à la dose de 30 grammes par litre, n'a aucune action sur le ciment.

L'accélération de la prise par l'emploi de solutions contenant du carbonate de soude ou de potasse est utilisée parfois en hiver pour permettre de maçonner quand le froid est très vif.

La température agit, en effet, d'une manière très sensible sur la prise et cela se conçoit parfaitement puisque la prise est due à des réactions chimiques. Au-dessous de zéro, la prise est presque complètement arrêtée, tandis qu'elle devient très rapide dès que la température dépasse 25 à 30°.

Le durcissement du ciment suit une progression très rapide pendant une semaine environ ; il a atteint à ce moment environ les deux tiers de sa résistance finale ; à partir de quatre semaines la progression devient très lente et souvent on trouve peu de différences entre les résultats constatés après un mois ou après plusieurs années. L'allure du durcissement n'est d'ailleurs pas la même pour tous les ciments ; les uns ont des résistances relativement faibles pendant les premières semaines et par la suite ils progressent et atteignent une grande dureté ; un ciment un peu éventé serait dans ce cas. En général, un accroissement rapide de résistance est l'indice d'un bon ciment fabriqué soigneusement. On craignait beaucoup autrefois les ciments qui atteignaient en quelques jours des résistances élevées ; il n'était pas rare, en effet, de voir de pareils ciments donner par la suite des résistances décroissantes et arriver au bout de quelques mois ou de quelques années à une destruction complète. Les ciments qui présentent ce

phénomène contiennent de la chaux libre, c'est-à-dire que, par suite de mélange imparfait ou d'une erreur de dosage, toute la chaux n'a pu se combiner à la silice et à l'alumine ; la chaux restée en liberté et soumise à la température très élevée de cuisson du ciment ne peut plus s'hydrater que très lentement ; elle reste inerte dans le mortier et ce n'est qu'après un temps quelquefois très long qu'elle commence à s'éteindre ; le gonflement provoqué par cette extinction est assez fort pour que 1 % de chaux libre dans le ciment amène la dislocation du mortier.

La présence de la chaux libre ne pouvait être décelée autrefois que par des essais prolongés et par les manifestations de gonflement dont nous venons de parler. Les travaux de M. Le Châtelier sur les ciments ont montré que l'on pouvait, en quelques heures, déceler la présence de quantités très faibles de chaux libre. On peut donc affirmer aujourd'hui qu'un ciment dans lequel on s'est assuré qu'il n'y avait pas de chaux libre et qui donne de fortes résistances après une et quatre semaines est d'excellente qualité ⁽¹⁾.

(1) A notre avis, le véritable critérium de la qualité d'un ciment est sa résistance en pâte pure à 7 jours et 28 jours. Si, par un essai à l'eau bouillante, on s'est assuré que le ciment ne contient pas de chaux libre et si, d'autre part, par un essai de tamisage, on a reconnu que la finesse de mouture était suffisante,

Nous indiquons, dans le tableau des p. 44 et 45, la composition chimique d'un certain nombre de ciments Portland des marques les plus connues.

Le poids spécifique du ciment Portland est compris entre 3,10 et 3,20. Les ciments pris dans le commerce accusent généralement 3,0 à 3,05; cela tient à ce qu'ils ont absorbé une certaine quantité d'eau et d'acide carbonique par un séjour plus ou moins prolongé en sacs ou en magasin.

La densité apparente est très variable suivant le volume et le degré de tassement. Si on verse

résistance du ciment pur est absolument concluante. Inutile de poursuivre les essais au delà de 28 jours, on peut être certain d'avance que les résistances après 3 mois, 6 mois, 1 an, 5 ans, 10 ans, seront à très peu près les mêmes; il n'y aura pas, en moyenne, 10 kilogrammes par centimètre carré d'écart et c'est parfaitement négligeable. Inutile non plus de s'astreindre à exécuter des essais avec des mélanges de ciment et de sable; c'est compliquer considérablement les essais que de faire intervenir un élément qui est par lui-même inerte et ne sert qu'à réduire la résistance du ciment. En vain prétend-on que, dans la pratique, le ciment s'emploie mélangé avec du sable. Dans un essai de réception d'un ciment, il n'y a pas du tout à s'inquiéter de la pratique; ce sont de simples essais de comparaison ou d'identification. D'ailleurs un ciment qui, en pâte pure, atteindra une certaine résistance, donnera, mélangé avec du sable, une résistance qu'il est facile à l'avance de prévoir; cette résistance est, en effet, fonction de la résistance du ciment pur et de la finesse de mouture.

CIMENTS PORTLAND

Désignation	Silice	Alumine	Oxyde de fer	Chaux	Magnésic	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
	22,30	8,04	3,71	58,68	2,20	2,23	2,55	0,25	0,04	100,00
Ciments anglais. . .	24,25	5,20	2,30	63,61	0,79	0,68	2,40	0,70	0,07	100,00
	23,15	7,83	3,37	61,40	1,07	1,47	1,45	//	0,24	100,00
	22,25	8,22	3,38	60,48	1,00	1,35	3,00	0,45	//	100,13
Ciments allemands. . .	21,60	6,30	4,30	62,72	0,98	1,02	2,95	0,30	//	100,07
	24,05	8,69	3,31	59,69	0,90	1,47	1,85	//	0,25	100,00
	22,60	7,01	4,04	63,11	1,79	0,37	1,08	//	//	100,00
Ciments allemands. . .	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
	22,40	7,30	2,70	62,83	1,21	1,58	2,25	0,10	//	100,37

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
	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
	22,62	8,76	2,66	61,46	2,92	1,52	"	"	0,06	100,00
Ciments américains ⁽¹⁾	21,96	8,29	2,67	60,52	3,43	1,49	"	"	1,64	100,00
	19,92	9,83	2,63	60,32	3,12	1,13	"	"	3,05	100,00
	23,08	6,16	2,90	62,38	1,21	1,66	"	"	2,61	100,00
	20,95	9,74	3,12	63,17	0,75	0,86	"	"	2,41	100,00
	22,00	6,50	3,20	62,10	2,10	1,10	1,70	"	0,30	100,00
Ciments russes . . .	22,42	6,28	3,62	62,82	2,09	1,29	"	"	1,48	100,00
	22,10	6,25	3,70	62,50	1,75	1,20	2,00	"	0,50	100,00
	21,31	8,05	3,67	64,85	1,21	0,16	"	"	0,75	100,00
	22,00	6,80	3,20	60,00	2,30	1,00	4,00	"	0,70	100,00

(1) D'après M. F. H. Lewis.

doucement le ciment dans une mesure d'un litre, on constate que le poids est, en général, de 1 000 à 1 200 grammes ; en prenant une mesure d'un hectolitre, on aurait 130 à 140 kilogrammes. Enfin, en remplissant les mesures à refus, c'est-à-dire en opérant par des secousses répétées un tassement aussi complet que possible de la poudre, on obtient avec une mesure d'un litre de 1 600 à 2 000 grammes.

Un ciment a une densité apparente d'autant plus grande qu'il est moulu moins finement ; aussi l'examen de la densité n'a-t-il que très peu d'intérêt et il est absolument nécessaire d'examiner en même temps la finesse de la poudre.

Autrefois les ciments étaient moulus très grossièrement ; ils laissaient un refus de 50 % sur un tamis de 4900 mailles, de 20 à 25 sur celui de 900 mailles par centimètre carré ; une grande partie du ciment restait ainsi inerte, car ces grains relativement volumineux ne parviennent pas à s'hydrater et n'ont aucune action sur la résistance. Les bons ciments sont moulus maintenant de telle sorte que le résidu sur le tamis de 4900 mailles ne dépasse pas 25 à 30 % et sur celui de 900 mailles 4 à 5 %. Dans certains pays, on va même beaucoup plus loin et on arrive à une finesse de 10 à 15 % sur le tamis de 4900 mailles. Il ne semble pas que

l'accroissement de résistance obtenu ainsi soit bien considérable et compense l'augmentation de prix de revient occasionnée par cette extrême finesse.

Le degré de dureté que peut atteindre un mortier de ciment est très variable suivant les conditions d'emploi, de milieu, la proportion de sable, etc. Pour comparer les ciments entre eux, on a établi des règles qui tendent à devenir les mêmes dans tous les pays. On fait des essais sur le mortier de ciment pur et sur le mortier composé d'une partie de ciment pour trois de sable normal, en poids. Ce sable normal est un sable siliceux naturel qui a été passé à un premier tamis de 64 mailles par centimètre carré qui élimine les gros grains et à un autre tamis de 124 mailles par centimètre carré qui élimine les grains fins. Le sable est ainsi de grosseur moyenne et doit être toujours identique (1).

Les épreuves portent sur la résistance à la traction et sur la résistance à la compression ; les éprouvettes sont rompues après 7 jours, 28 jours, 3 mois, 6 mois, 1 an, etc. L'essai normal est 7 jours et 28 jours.

Les bons ciments donnent, en pâte pure, 28 à 35 kilogrammes par centimètre carré après

(1) En réalité, il est loin d'en être ainsi et on n'a pas pu encore se mettre d'accord sur un sable normal unique donnant des résultats concordants.

7 jours, 35 à 45 kilogrammes à 28 jours, à la traction ; 300 à 400 kilogrammes à 7 jours et 5 à 600 à 28 jours à la compression. Pour le mortier 1 : 3, on a respectivement, 15 à 18^{kg} à 7 jours, 20 à 25^{kg} à 28 jours, à la traction et 180 à 200^{kg}, 250 à 300^{kg}, à la compression.

Fabrication. Matières premières. — Les matières les plus diverses peuvent être employées pour la fabrication du ciment ; il suffit qu'elles ne contiennent que du carbonate de chaux, de la silice, de l'alumine, peu d'oxyde de fer et des traces d'autres substances.

On emploie généralement, soit du carbonate de chaux pur et de l'argile, soit des marnes argileuses, soit des calcaires plus ou moins argileux.

En Angleterre, toutes les usines emploient de la craie et de l'argile ; en France, dans le Boulonnais, ce sont des marnes qui contiennent de 10 à 30 % d'argile ; en Allemagne, dans beaucoup d'usines, on utilise des calcaires purs très durs et de l'argile.

Le traitement que l'on fait subir à ces matières pour les mélanger intimement varie suivant leur constitution physique et suivant les conditions locales. Quand les calcaires sont tendres, facilement délayables dans l'eau, on emploie ce que l'on appelle la voie humide ; c'est-à-dire que l'on réduit en bouillie plus ou

moins épaisse le mélange de calcaire et d'argile.

Si les calcaires sont, au contraire, très durs, on les réduit en poudre fine et on agglomère ensuite cette poudre en briques ; c'est la voie sèche.

Dans le traitement par voie humide, il y a deux manières d'opérer. Tantôt on délaye la craie et l'argile avec une grande quantité d'eau dans des cuves où les matières sont énergiquement brassées à l'aide de herses ; la pâte très liquide ainsi obtenue s'écoule au dehors du délayeur en traversant un tamis à mailles serrées ; les parties qui ne peuvent se réduire en bouillie restent ainsi dans le délayeur. On opère avec une grande quantité d'eau, 70 à 80 % ; ou bien, si les matières sont très pures, c'est-à-dire ne contiennent pas de pierre, de sable, etc., on emploie 40 à 50 % d'eau seulement et l'on se contente d'obtenir une pâte épaisse contenant encore des grains assez volumineux ; les herses sont remplacées par des bouts de rails ou des pièces en forme de socs de charrue maintenus solidement sur des traverses (*fig.* 10). Au lieu de tamis, les déversoirs sont garnis de grilles à barreaux espacés de 0^m,01 à 0^m,02.

La pâte passe ensuite sous des meules ou dans des tubes broyeur où elle achève de se réduire en bouillie très fine.

Dans les usines françaises, la pâte est envoyée

à la sortie des délayeurs dans des bassins doseurs ; ce sont de grands réservoirs de 100 à 150 mètres cubes dans lesquels tournent des agitateurs qui, brassant continuellement la pâte, en assurent le mélange et l'homogénéité (fig. 10).

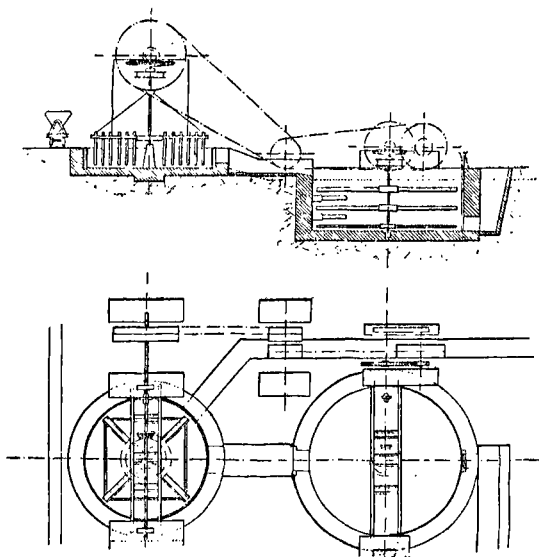


Fig. 10

Quand un bassin est rempli, on prélève un échantillon de pâte, on l'analyse et si le dosage n'est pas exact, on le corrige par l'addition de pâte plus argileuse ou plus calcaire. La régularité de dosage est ainsi absolument assurée, grâce à cet appareil très simple.

Les usines anglaises et allemandes qui utilisent la voie humide ne se servent jamais de bassins doseurs ; les matières sont pesées ou mesurées avant d'être envoyées au délayeur et si une erreur se produit, il n'est plus possible de la réparer.

La pâte sortant des délayeurs ou des bassins doseurs est envoyée dans de grands bassins où elle séjourne pendant plus ou moins longtemps ; elle perd par décantation et par évaporation une grande partie de son eau. Quand on peut l'enlever à la pelle, on la reprend à l'aide de wagonnets et on la porte aux séchoirs. Cette manière d'opérer tend à disparaître, surtout depuis que l'usage des fours-séchoirs s'est généralisé. Avec ces fours, on envoie directement la pâte au séchoir.

Dans beaucoup d'usines, on se contentait autrefois, et dans quelques-unes on se contente encore aujourd'hui, de sécher la pâte sur des aires chauffées en dessous par des gaz provenant de fours à coke plus ou moins rudimentaires ; la pâte sèche est cassée en morceaux aussi réguliers que possible. C'est là un procédé fort peu économique.

Dans les usines mieux outillées, on transforme la pâte en briques et celles-ci sont séchées dans des séchoirs tunnels dont nous parlerons plus loin.

Dans le procédé par voie sèche, les matières premières doivent être tout d'abord desséchées complètement à moins qu'elles ne soient déjà tout-à-fait sèches. Les systèmes de séchoir sont assez nombreux, les plus employés sont les séchoirs rotatifs de Möller et Pfeiffer, de Cummer ou de Fellner et Ziegler (*fig. 11*). Ce sont de grands cylindres en tôle tournant sur des galets et ayant une certaine inclinaison ; les matières à sécher,

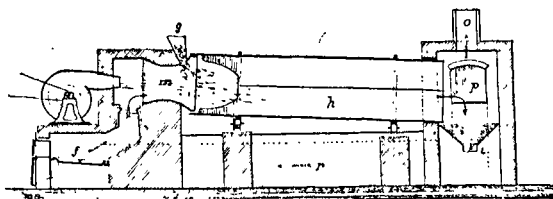


Fig. 11

préalablement concassées, pénètrent par l'extrémité la plus élevée et sortent par l'autre. Les gaz chauds produits par un foyer situé en dessous de l'arrivée des pierres sont injectés dans le cylindre par un fort courant d'air produit par un ventilateur. Le séchoir est ainsi parcouru par une grande quantité d'air à une température relativement pas très élevée ; la vapeur d'eau est entraînée immédiatement et on évite les condensations dans l'appareil. On peut vaporiser, avec ces séchoirs, 8 à 9 kilogrammes d'eau par kilogramme de charbon.

Les matières une fois sèches sont broyées finement ensemble ou séparément. Dans le premier cas, on pèse très exactement le calcaire et l'argile et on envoie le mélange au moulin ; le mélange s'opère en même temps que la réduction en poudre fine des matières. Dans le second cas, le calcaire et l'argile sont broyés à part et les poudres sont recueillies dans des silos d'où elles s'écoulent dans des appareils doseurs généralement automatiques ; le mélange intime des poudres s'opère à l'aide de vis ou de palettes montées sur un arbre horizontal tournant dans une cuve.

Comme il est difficile d'obtenir un mélange très régulier, surtout quand on utilise des matières de composition variable, on fait passer la poudre dans des appareils mélangeurs qui rectifient les différences de dosage.

La poudre fine, à la sortie des appareils de mouture et de mélange, est envoyée aux machines à briques. La mise en briques se fait de deux façons : la poudre sèche humectée avec 8 à 10 % d'eau dans une vis mélangeuse (*fig. 12*) est comprimée fortement à l'aide d'une presse dans laquelle la compression se produit généralement par chocs. La presse dite de Dorsten est une de celles que l'on trouve dans le plus grand nombre d'usines. Dans cet appareil, les pilons, au nombre de deux ou de quatre, sont soulevés par

des cames et retombent trois fois sur la même brique, chaque fois d'une hauteur plus grande; la compression est ainsi progressive. Le démou-

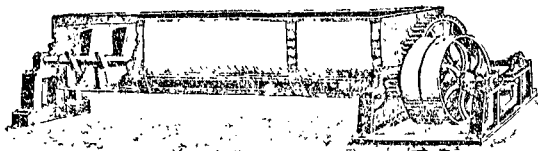


Fig. 12

lage s'opère automatiquement. Une presse à quatre pilons peut produire 3 500 à 4 000 briques à l'heure.

M. Lobin, constructeur à Aix, livre une

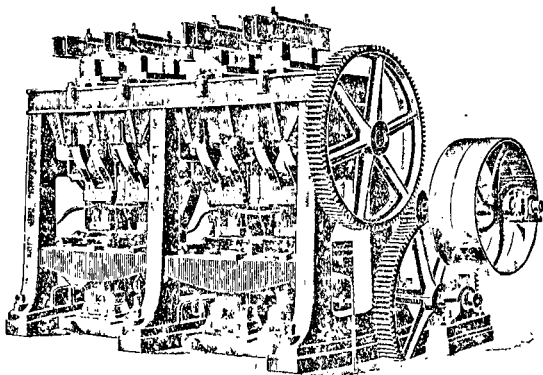


Fig. 13

presse du même genre; la *fig. 13*, qui représente cet appareil, donne une idée très exacte de de son mécanisme,

Dans la seconde manière d'opérer, la poudre est humectée avec beaucoup plus d'eau, 18 à 25 %; on obtient ainsi une pâte molle qui est malaxée dans une machine à briques semblable à celles que l'on trouve dans les briqueteries ordinaires avec cylindres, hélices et filières.

Tandis que, dans le premier procédé, on peut envoyer les briques directement aux fours, à la sortie de la presse, on doit dessécher complètement celles qui sortent des machines à l'état de pâte plastique. Cette dessiccation s'opère dans des séchoirs tunnels de Möller et Pfeiffer, Fellner et Ziegler, Rappold, etc. Le séchoir Rappold est composé d'une série de tunnels de 20 à 30 mètres de longueur dans lesquels circulent les wagonnets chargés de briques; un courant d'air chaud traverse le canal dans le sens contraire de la marche des wagonnets; la vapeur d'eau s'échappe au fur et à mesure de sa production par des ouvertures munies de registres pratiqués dans la voûte (*fig. 14*).

Il existe plusieurs variantes dans la manière de préparer les matières premières; ainsi on broye quelquefois le calcaire seul et on délaye l'argile; le mélange des deux matières produit une pâte plastique que l'on peut mouler immédiatement.

Dans le procédé dit de Bergreen, que l'on peut employer seulement avec des matériaux très

purs et assez tendres, comme la craie, le broyage

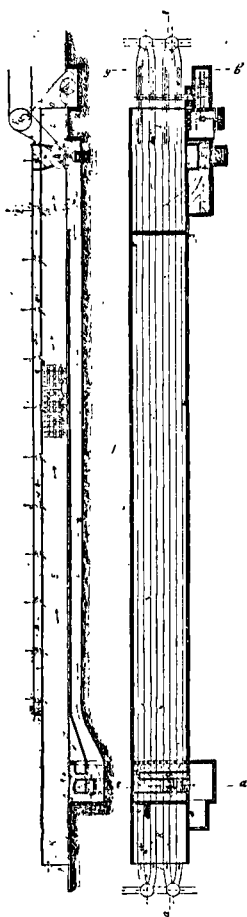


Fig. 14

s'opère sur les matières telles qu'elles arrivent à l'usine, avec toute leur eau ; elles passent dans une série de cylindres dont l'écartement devient de plus en plus faible et finalement dans des malaxeuses et dans des machines à briques. On réunit ainsi, dans une seule opération, le broyage, le mélange et la mise en briques.

Les appareils de mouture employés pour le broyage des matières premières étant les mêmes que ceux avec lesquels on réduit le ciment en poudre, nous les décrirons plus loin.

Cuisson. — Dans les premières usines où l'on fabriquait le ciment Portland, les fours res-

semblaient beaucoup aux fours à chaux utilisés à cette époque ; on y avait ajouté seulement une cheminée de manière à obtenir un tirage plus actif. Les fours anglais, dont la coupe est reproduite par la *fig. 15*, ont été pendant très longtemps les seuls employés et on en trouve encore dans

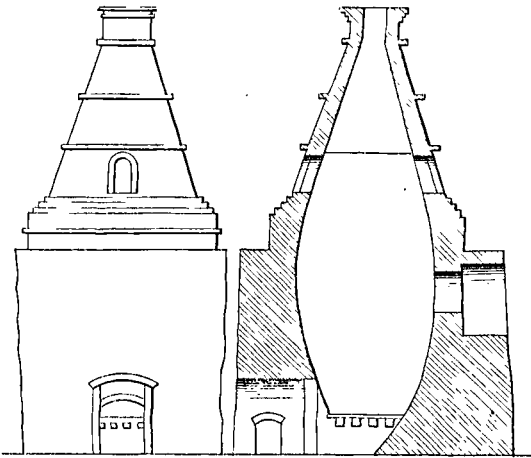


Fig. 15

quelques usines ; ils étaient de capacité très réduite. La cuisson dans ces fours est intermittente ; on charge le four de couches alternatives de combustible et de pâte, puis on met le feu à la partie inférieure et on laisse la cuisson s'opérer ; quand le feu est éteint, on vide le four et on procède à une nouvelle opération.

En France, on s'est servi pendant longtemps de fours analogues aux fours anglais, mais un peu plus grands ; la cheminée avait une forme de dôme et a été remplacée plus tard par un cône (fig. 16). En Allemagne on construisit des fours beaucoup plus hauts, surmontés de che-

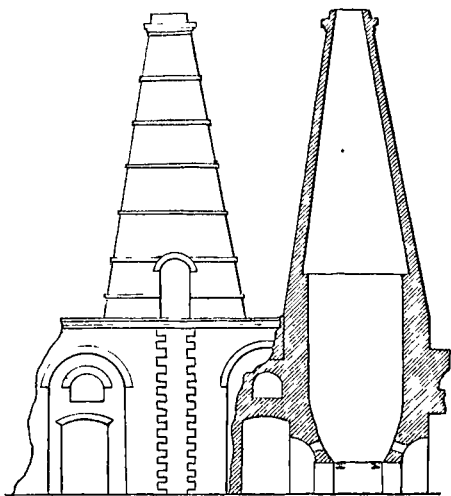


Fig. 16

minées élevées ; les dimensions de ces fours étaient en moyenne de 3 à 4 mètres de diamètre, 8 à 10 mètres de hauteur, plus la cheminée qui avait 15 à 20 mètres (fig. 17). Ces fours étaient bien supérieurs aux fours anglais ; la consommation de combustible, qui était avec ceux-ci

de 35 à 40 %, s'abaissait, dans les seconds, à 30 et même 25 %. Le combustible employé est le coke ou l'anthracite.

Les fours intermittents tendent à disparaître et sont remplacés par des fours continus de différents systèmes dont nous parlerons ultérieurement. Le premier progrès réalisé est dû à l'anglais Johnson qui eut l'idée d'utiliser la chaleur perdue du four au séchage de la pâte. Le four séchoir ou four Johnson se compose d'un four ordinaire à cuve ; la cheminée est remplacée par un tunnel qui communique, d'une part, avec le four, de l'autre, avec une cheminée ordinaire très élevée ; le fond de ce tunnel constitue un bassin dans lequel on envoie la pâte à sécher ; les gaz du four passent ainsi sur cette pâte pour se rendre à la cheminée. Plus tard, on disposa le tunnel de telle sorte que la pâte était répandue à la fois dans le fond et sur la voûte du tunnel (*fig. 18*). On groupe généralement 10 ou 12 fours en série avec une cheminée centrale,

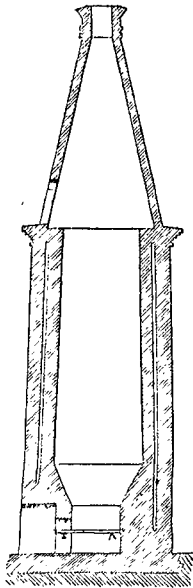


Fig. 17

Quand on envoie aux séchoirs de la pâte épaisse à 30 à 50 % d'eau, on peut encore obtenir des résultats satisfaisants avec ces fours ; au point de vue économique, ce système permet de réduire beaucoup la main-d'œuvre.

L'établissement de fours-séchoirs est très coûteux à moins que l'on ne possède un terrain dont la disposition permette d'établir les séchoirs sur le sol même.

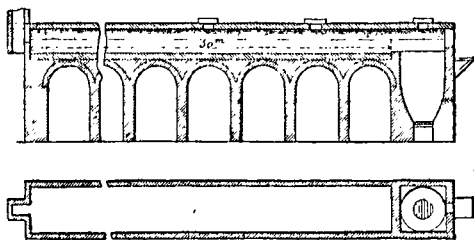


Fig. 18

Les tentatives pour réaliser la cuisson continue du ciment restèrent longtemps infructueuses ; avec les fours verticaux, on se heurtait à la difficulté d'éviter le collage des matières en fusion contre les parois ; en appropriant à la cuisson du ciment, le four Hoffmann, employé déjà avec plein succès pour la cuisson des briques et des tuiles, on parvint à tourner cet obstacle. Les premiers fours de ce système furent établis en Allemagne ; ils ont donné d'excellents résultats et on en trouve dans un grand nombre d'usines.

Le four Hoffmann (Ringhoffen) consiste dans un tunnel continu de forme circulaire, ou plus généralement, composé de deux galeries parallèles réunies à chaque extrémité par une partie en demi-cercle. Ce tunnel a 3 mètres à 3^m,50 de diamètre et 2^m,50 à 3 mètres de hauteur ; la voûte est en plein cintre. De distance en distance sont disposés, dans le sens de la longueur, des arceaux de 0^m,40 à 0^m,50 d'épaisseur à la clef, formant des sortes d'écrans destinés à arrêter le feu et à le faire plonger pour permettre de cuire les matières sur toute la hauteur. Des portes sont disposées tous les 5 ou 6 mètres et l'espace compris entre chaque porte constitue un compartiment ; il y a, en général, 18 de ces compartiments, certains fours en ont jusqu'à 24. Chaque compartiment communique avec la cheminée qui se trouve au centre du four par un canal situé latéralement et à la partie inférieure du tunnel ; ce canal est fermé par un registre en forme de cloche.

Les briques de matières à cuire sont empilées méthodiquement dans le four. A intervalles réguliers, on dispose des puits dans lesquels le combustible est jeté par des ouvertures ménagées dans la voûte et fermées par des cloches avec joints à bain de sable (*fig.* 19). Le dernier compartiment rempli est isolé de ceux qui se trouvent en arrière par une feuille de fort papier.

Le plein feu se trouve alors dans le 7^e ou 8^e compartiment en arrière ; dans le 5^e, on commence à jeter un peu de combustible et les gaz chauds passent dans tous les compartiments pleins de briques en les portant à une température de plus en plus élevée. Dès que la température du compartiment en feu est assez forte, on détruit, à l'aide de ringards, les puits dans lesquels le combustible avait été jeté ; puis on introduit par les orifices de chargement des morceaux de briques

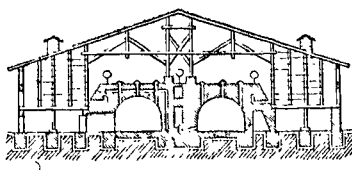


Fig. 19

de manière à remplir le four jusqu'à la voûte. Le feu trouve ainsi une résistance qui l'empêche de passer trop vite et on obtient sur toute la hauteur du four une température uniforme qui permet de cuire aussi bien les briques du bas que celles du haut. A l'arrière, 5 ou 6 compartiments sont en refroidissement ; enfin on enlève le ciment cuit dans deux compartiments.

Dans ce four, ce sont donc les matières qui restent en place et le feu qui chemine d'un compartiment à l'autre.

On a utilisé la chaleur de rayonnement du

four, qui est assez grande, pour sécher les briques quand celles-ci sont préparées en pâte molle. A cet effet, la toiture qui recouvre le four est hermétiquement fermée ; l'air chaud, pour s'échapper, doit traverser des étagères placées sur tout le pourtour du four et sur lesquelles ont été déposées les briques à sécher. La *fig. 20*

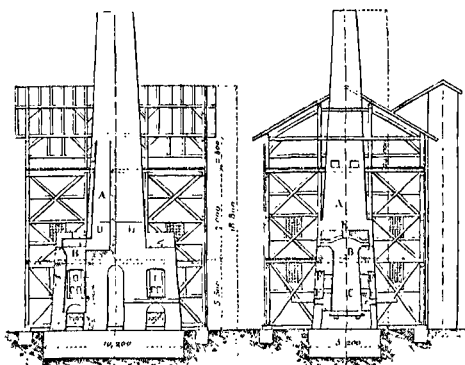


Fig. 20

montre une des dispositions utilisées pour réaliser ce séchage des briques que l'on obtient ainsi sans aucune dépense de combustible.

Le premier four vertical à marche continue a été inventé par C. Dietzsch vers 1885. Ce four a été adopté par un grand nombre d'usines et on peut dire qu'il est encore actuellement le plus employé.

Le four Dietzsch est appelé aussi four à étages

parce qu'il est divisé en deux parties, l'une, le réchauffeur (fig. 20) étant située à quelque distance de la partie inférieure et réunie à celle-ci par une galerie voûtée. Le four proprement dit se compose du creuset C et du refroidisseur.

Le réchauffeur est surmonté d'une cheminée d'une quinzaine de mètres. Les matières à cuire sont introduites dans le réchauffeur, celui-ci est ainsi rempli de briques qui sont chauffées à une température assez élevée par les flammes sortant du creuset. Le combustible est répandu dans le creuset et, par dessus, on jette les matières prises dans le réchauffeur à l'aide de pelles.

Pour empêcher les collages ou pour faciliter la descente du ciment en fusion, on peut ringarder sur toute la chemise du four par des portes placées tout autour du creuset. La section du four est elliptique.

L'avantage principal du four Dietzsch, en dehors de la cuisson continue, est de pouvoir utiliser du charbon gras et très fin. Par contre, le travail des chauffourniers est très pénible ; il n'est pas rare de constater des accidents quelquefois mortels. Le rendement est relativement faible par suite de l'impossibilité de donner au four une grande section ; un four ne produisait guère plus de 5 à 6 tonnes par jour ; par l'adjonction d'une soufflerie qui envoie sous la grille un courant d'air violent, on a pu augmen-

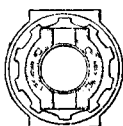
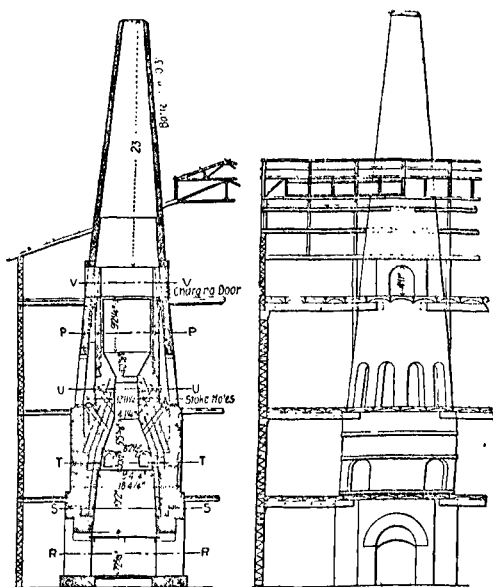
ter le rendement et le porter à 8 à 10 tonnes par jour. Enfin il est nécessaire d'employer des briques qui ont été préparées en pâte molle et qui sont très dures une fois séchées ; celles qui sont comprimées à sec s'effritent en descendant dans le réchauffeur, produisent une grande quantité de poussière et la cuisson devient très difficile et même impossible.

Ces fours sont construits deux par deux, les réchauffeurs étant accolés et la même cheminée servant pour les deux fours.

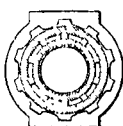
Depuis que le four Dietzsch est dans le domaine public, on y a apporté quelques modifications de détail, sans en changer toutefois les dispositions générales. Par contre, on a imaginé plusieurs fours basés sur le même principe, mais dans lesquels on s'est efforcé de supprimer les inconvénients du réchauffeur.

Dans le four Schoffer ou de Aalborg (*fig. 21*), le réchauffeur placé immédiatement au-dessus du creuset forme une sorte d'entonnoir dans lequel sont placées les briques ; elles s'écoulent ainsi naturellement dans le creuset. Le combustible est introduit dans celui-ci par une série de conduits ménagés sur toute la circonférence ; des ouvertures disposées au-dessous du creuset permettent de détacher au ringard les roches collées aux parois du four.

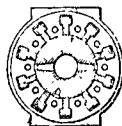
La manœuvre de ce four est un peu moins



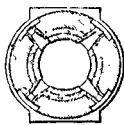
Section V-V.



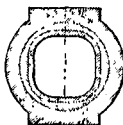
Section P-P.



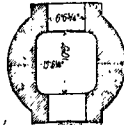
Section U-U.



Section T-T.



Section S-S.



Section R-R.

pénible que celle du four Dietzsch ; cependant il en a les mêmes inconvénients sans avoir la même régularité de marche.

Les fours Rysager, Liban, Emelé sont construits sur des données à peu près semblables, mais l'introduction du combustible se fait dans de meilleures conditions. Ces fours existent d'ailleurs en assez petit nombre dans quelques usines et leur emploi ne s'est pas généralisé.

Avec les fours du système Dietzsch ou ses dérivés, on utilise du charbon gras et la dépense de combustible varie de 15 à 20 %₀. Toutefois il faut y ajouter la consommation de charbon nécessaire par le séchage des briques qui peut être estimée à 10 %₀ du ciment cuit ; il y aurait encore à ajouter les frais d'entretien élevés des séchoirs à briques.

Les fours du système Hauenschild-Schneider paraissent résoudre la question de cuisson continue du ciment d'une manière beaucoup plus parfaite à tous égards. Ces fours sont de véritables cylindres de 12 à 14 mètres de hauteur et de 2 mètres à 2^m,50 de diamètre ; une cheminée de 13 mètres les surmonte (*fig.* 22). Par suite d'une disposition méthodique du chargement, on évite complètement les collages contre les parois, de sorte que le travail si pénible du ringard est absolument supprimé. Il en résulte

une très grande simplicité dans la conduite du four ; la zone de cuisson se trouvant à 2 mètres environ au dessous de la partie supérieure, la température des gaz à l'entrée de la cheminée est relativement basse ; le feu parait à peine au

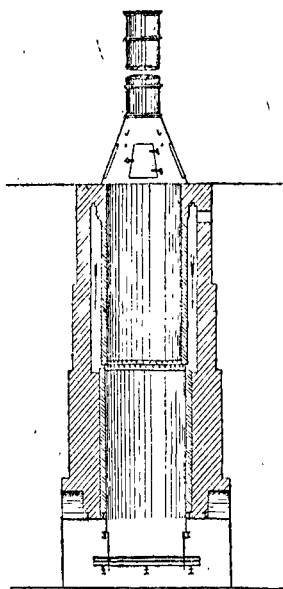


Fig. 22

moment où l'on doit faire une charge ; les

ouvriers peuvent donc disposer sans peine des briques et les placer à la main dans le four. Les briques restent pour ainsi dire à la place où elles sont posées.

On peut employer les briques pressées à sec, même quand elles sont peu solides, et on les introduit dans le four à la sortie même de la presse.

Dans les fours

Hauenschild, il existe

une série de canaux disposés verticalement autour de la partie supérieure à une faible distance de la chemise ; ces canaux communiquent par le haut avec un conduit relié à un ventilateur, et en bas, ils débouchent dans l'intérieur du four à

une série de canaux disposés verticalement autour de la partie supérieure à une faible distance de la chemise ; ces canaux communiquent par le haut avec un conduit relié à un ventilateur, et en bas, ils débouchent dans l'intérieur du four à

peu près à la moitié de sa hauteur. Un violent courant d'air est injecté dans ces canaux, l'air s'échauffe en les parcourant et arrive un peu au-dessous de la zone de cuisson. Il en résulte une activité beaucoup plus grande de la cuisson et le rendement du four est augmenté dans une notable proportion. On peut obtenir jusqu'à 18 tonnes par jour avec un four de ce système ; la dépense de combustible, par tonne de ciment cuit, est descendue à 16 ‰, toutefois il faut compter, en général, sur 18 ‰. On utilise généralement du coke de gaz, mais, avec la soufflerie, on peut employer aussi l'anhracite ou les charbons maigres.

Le four Timm est basé sur le même principe que le four Hauenschild, cependant, tandis que celui-ci est construit entièrement en maçonnerie, le premier est constitué par une double enveloppe métallique entre lesquelles l'air circule soufflé par un ventilateur. Une partie de l'air pénètre dans le four à mi-hauteur après s'être échauffé au contact des parois ; une autre partie est envoyée directement sous la grille et refroidit les roches de ciment au fur et à mesure qu'elles descendent. La conduite du four est la même que pour le four Hauenschild ; le rendement, grâce à une soufflerie plus puissante, peut atteindre 20 à 24 tonnes par 24 heures (*fig. 23*).

Le four Stein est constitué par une série d'an-

neaux en fonte placés les uns au-dessus des autres de manière à former un cylindre de 12 mètres de hauteur et de 2^m,20 environ de

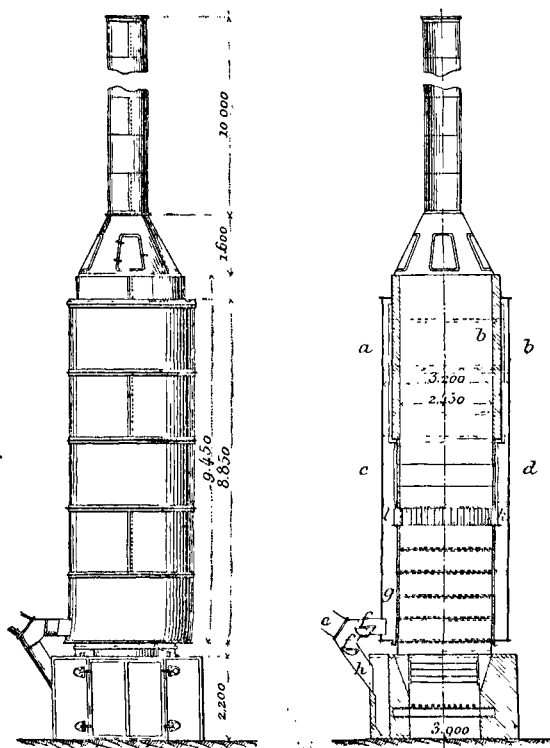


Fig. 23

diamètre. A l'extérieur, les anneaux portent des ailettes verticales assez rapprochées afin d'offrir une très grande surface de rayonnement. Grâce

au refroidissement des parois obtenu par cette disposition, la fonte reste à une température assez basse et le ciment en fusion ne peut s'y attacher ou la détruire. La marche du four est analogue à celle des fours Hauenschild ou Timm. Mais le principe même de ce four qui est, en somme, un énorme calorifère, conduit à des dépenses plus grandes de combustible ; il ne possède d'ailleurs aucun avantage sérieux qui puisse balancer cet inconvénient ; aussi n'existe-t-il que dans un petit nombre d'usines (*fig. 24*).

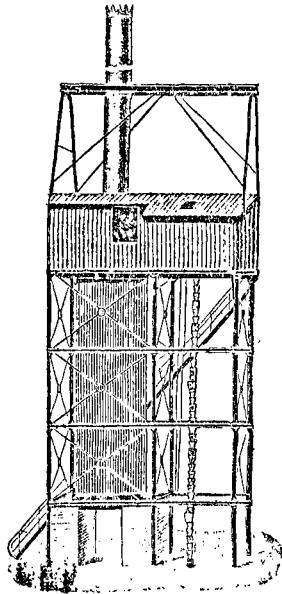


Fig. 24

Four rotatif. — Les essais de cuisson du ciment Portland

avec le four rotatif datent de 1885. M. Ransome prit, à cette époque, un brevet de four rotatif qu'il expérimenta dans une des usines anglaises établies sur les bords de la Tamise. La *fig. 25* représente le four imaginé par Ran-

some ; c'était un cylindre d'assez faible diamètre et de 6 à 8 mètres de longueur tournant sur des galets ; la matière à cuire arrivait, en poudre sèche, à l'extrémité la plus élevée ; elle était entraînée peu à peu par le mouvement de rotation du four et arrivait à la zone de cuisson, le coup de feu était obtenu par du gaz provenant d'un gazogène et injecté dans le four avec un jet d'air ou de vapeur.

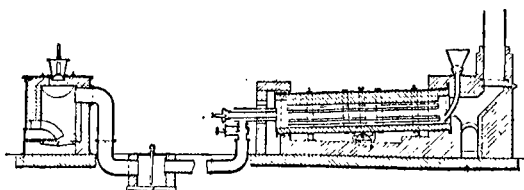


Fig. 25

Ce four ne donna pas de résultats satisfaisants ; mais un procédé semblable était essayé à la même époque aux États-Unis, à l'usine Atlas, et grâce aux efforts persévérants d'un français, directeur de cette usine, M. P. Giron et d'un des administrateurs, M. Navarro, le problème de la cuisson au four rotatif fut définitivement résolu.

Dans le four préconisé par M. Giron en 1893 (*fig. 26*), les matières en poudre sont entraînées par une vis ; la température de cuisson est obtenue par du pétrole injecté à l'aide d'air comprimé. Le

ciment cuit tombe du cylindre de cuisson dans un second cylindre plus petit dans lequel il se refroidit.

Dans presque toutes les fabriques de ciment créées depuis quelques années aux États-Unis, on a adopté le four rotatif ; le type le plus communément employé est un cylindre de 18 mètres de longueur et 1^m,80 de diamètre garni intérieurement d'une chemise réfractaire de 0^m,25 d'épaisseur (*fig. 27*). Le four est muni de deux couronnes roulant chacune sur quatre galets ; l'entraînement est produit par une troisième

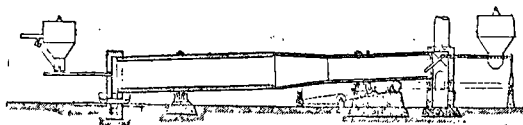


Fig. 26

couronne dentée attachée par un pignon. La vitesse de rotation est de 1 à 2 tours par minute.

Quand les matières à cuire sont préparées par voie sèche, le diamètre du four est souvent moins grand du côté de l'arrivée de la poudre. Celle-ci est entraînée dans le four par une vis.

Pendant longtemps, on a employé comme combustible le pétrole, mais, dans ces dernières années, on lui a substitué presque partout le charbon pulvérisé. Celui-ci est réduit en poudre fine, puis injecté dans le four à l'aide d'un fort cou-

rant d'air par un tuyau débouchant au centre du masque mobile qui ferme le four du côté de la sortie du ciment cuit.

On a appliqué le four rotatif à la cuisson des matières préparées par voie humide ; la pâte peut être envoyée directement des délayeurs dans le four, ce qui est une grande simplification.

Le ciment cuit sort du four rotatif au moment où il vient de subir le coup de feu ; il est donc encore à une température très élevée. Pour le refroidir, on se contente souvent de le laisser en tas à l'air pendant un certain temps ; ou bien on le déverse dans de grands cylindres verticaux en tôle dans lesquels, par une disposition particulière de tuyaux, circule un courant d'air ; le ciment est extrait à la partie inférieure de ces cylindres.

MM. Hurry et Seaman, directeurs actuels de l'usine Atlas, ont beaucoup perfectionné le four rotatif. La *fig. 27* représente le four Hurry et Seaman. Le ciment cuit tombe dans un premier cylindre de refroidissement à l'extrémité duquel se trouvent des laminoirs dans lesquels il doit passer et qui le divisent en petits fragments ; dans un deuxième cylindre, commun à deux fours, le ciment achève de se refroidir complètement. L'air qui passe dans ces cylindres pénètre dans le four et la chaleur latente du ciment cuit est ainsi récupérée en partie,

Diverses améliorations de détails ont été apportées par MM. Hurry et Seaman, notamment à l'appareil qui permet de régler l'introduction du charbon, à la fermeture et à la protection de l'extrémité du four du côté de la sortie du ciment, etc. Enfin ces ingénieurs ont réussi à obtenir un revêtement qui s'use très peu et évite en grande partie les collages qui se produisent très souvent dans les autres fours.

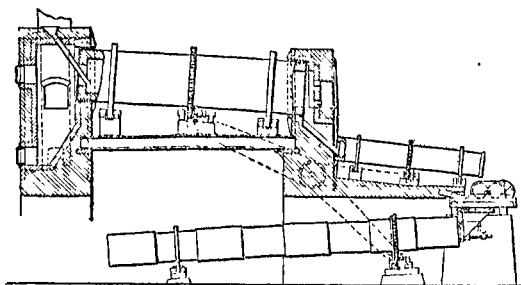


Fig. 27

Les fours construits en Allemagne par la Brennofen Bauanstalt de Hambourg ont de plus grandes dimensions que les fours américains; ils ont 25 à 30 mètres de longueur et 2 mètres de diamètre; le ciment cuit tombe dans un cylindre refroidisseur; celui-ci est parcouru par l'air qui, aspiré par un ventilateur, doit servir à l'injection du charbon (*fig.* 28).

Le rendement d'un four rotatif est compris entre 25 et 30 tonnes par jour.

L'emploi de ce four permet de supprimer beaucoup d'ouvriers puisque toutes les opérations de manutention des matières premières, la mise

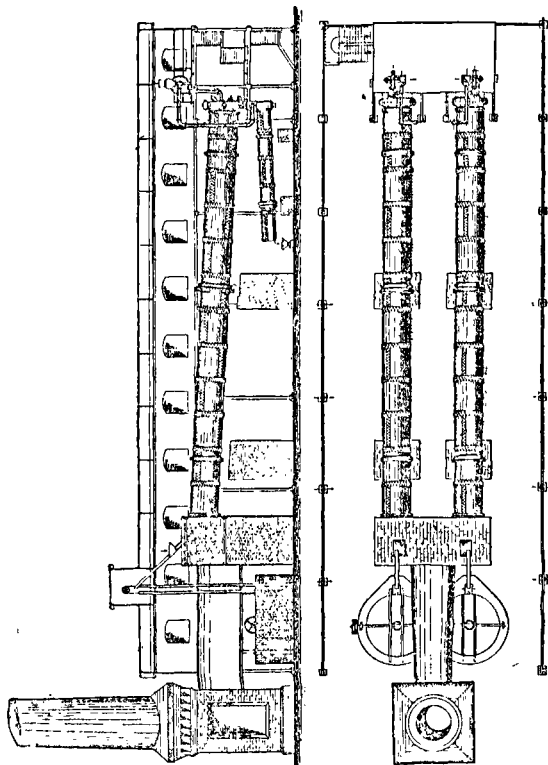


Fig. 28

en briques, l'enfournement, le défournement, le triage sont supprimés. Par contre, ce four consomme beaucoup plus de combustible que les

autres ; on peut compter, en moyenne, une consommation de 40 % ; elle s'abaisserait, paraît-il, à 30 % avec les fours Hurry et Seaman et ceux de Hambourg. Il faudrait y ajouter le charbon nécessaire pour la force motrice destinée à entraîner le four et ses accessoires, ventilateur, broyage de charbons, etc., de sorte que l'on arriverait toujours à un minimum de 40 %. Si on rapproche de ce chiffre les résultats que l'on obtient couramment avec les fours du genre Hauenschild, c'est-à-dire 18 % en totalité, on verra que l'emploi du four rotatif ne saurait être économique que dans le cas où la main d'œuvre est chère et le charbon bon marché.

Nous avons dit que presque toutes les usines américaines construites depuis quelques années possédaient des fours rotatifs. A l'usine Atlas, il en existait, en 1900, cinquante en activité et on en construisait cinquante autres, de manière à pouvoir produire 2 000 à 3 000 tonnes par jour.

En Europe, les premiers fours rotatifs ont été établis en France, à l'usine de la Compagnie Parisienne à Dennemont près Mantes, à Lollar près de Giessen et à Hemoor près de Hambourg, en Allemagne.

Les grandes usines anglaises ont aussi adopté ce système et il existe un certain nombre de fours rotatifs en fonctionnement, notamment dans les usines de MM. White Brothers, de

Burham, etc. Dans ces derniers temps, on a installé des fours rotatifs dans plusieurs usines allemandes.

Mouture. — A la sortie des fours, le ciment se présente sous la forme de roches noires, ou noir verdâtre très denses; les parties qui ont subi une cuisson incomplète sont grises ou jaunes, leur densité apparente est faible; le triage des incuits est donc facile et on les met soigneusement de côté pour les faire repasser aux fours. Les roches lourdes ou clinker sont envoyées au moulin.

On opère généralement un premier concassage des roches de ciment de manière à obtenir des grains assez petits et réguliers; diverses dispositions sont employées dans ce but.

Très souvent, on utilise un concasseur à mâchoire, genre Black, puis une paire de cylindres-lamineurs. L'ensemble de l'installation comprend un concasseur, une paire de cylindres, un épierreur destiné à laisser passer les morceaux assez fins et à renvoyer aux cylindres les morceaux trop gros.

Le concasseur Black (*fig. 29*) est bien connu et il est inutile d'en donner une description; la *fig. 30* montre la disposition des cylindres-lamineurs.

Aux États-Unis, on emploie des concasseurs dits de Gates. Celui de Mac-Cully que nous reprodui-

sons (*fig. 31 et 32*) est de ce type. Il se compose es-

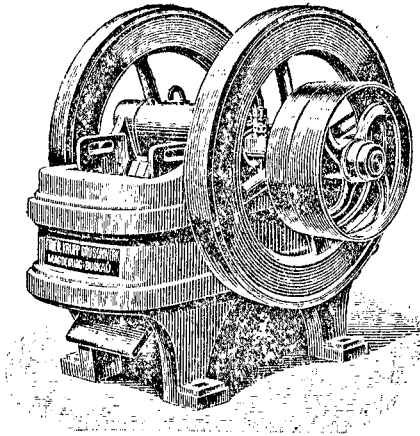


Fig. 29

sentiellement d'un entonnoir dans lequel tourne,

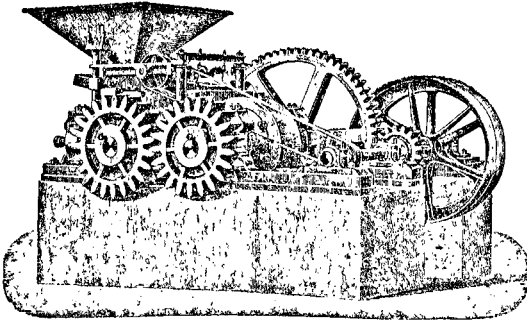


Fig. 30

avec un mouvement d'excentrique, un cône dont

la base ferme presque complètement le fond de l'entonnoir ; par suite du mouvement de rotation et de va-et-vient du cône, les matières sont peu à peu broyées et réduites finalement en grains assez fins pour pouvoir passer à la base de l'en-

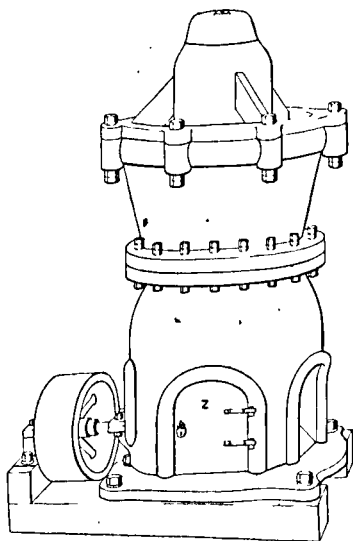


Fig. 31

tonnoir. La production de ces broyeurs est très grande ; on en construit de divers modèles ; les plus forts peuvent broyer jusqu'à cent tonnes à l'heure.

Le broyeur Moutier permet d'obtenir, d'un seul coup, des grains assez fins et peut ainsi rempla-

cer le concasseur et les laminoirs. Cet appareil est constitué par trois arbres portant des palettes et tournant en sens inverse à la vitesse de 1500 tours par minute, le sens de rotation des palettes supérieures est tel que les matières arrivant au centre du broyeur sont projetées les unes sur les

autres avec une violence considérable ; elles sont ainsi broyées par leur propre choc. La palette inférieure rejette dans le champ d'action des palettes supérieures les morceaux trop gros qui ont échappé au broyage (*fig. 33*).

Ce broyeur peut traiter facilement 15 tonnes à l'heure, et la force qu'il absorbe ne dépasse pas 15 chevaux ; il convient particulièrement pour les matières premières qui offrent moins de résistance et usent moins que le ciment cuit.

Pour réduire le ciment en poudre fine, on a utilisé pendant longtemps exclusivement les

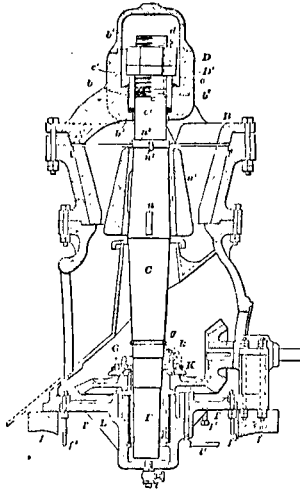


Fig. 32

meules en silex analogues à celles que l'on emploie pour le blé. Ces meules étaient disposées en ligne, ou deux par deux, ou en beffroi par quatre ou six (*fig. 34*). La meule inférieure appelée gisante est fixe ; la meule supérieure appelée courante tourne à raison de 100 à 130 tours par minute suivant son diamètre ; celui-ci est, en général,

de 1^m,30 à 1^m,50. Les meules portent des rayons qui sont destinés à entraîner la matière à broyer et à augmenter ainsi beaucoup le rendement.

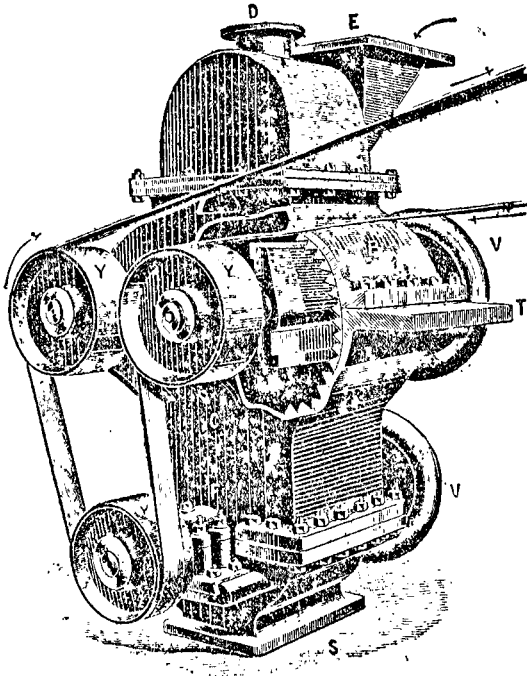


Fig. 33

Quand une paire de meules a travaillé un certain temps, 20 à 30 heures au maximum, on les repique et on creuse de nouveau les rayons.

Cette intermittence dans le fonctionnement des

meules et la main-d'œuvre occasionnée par le repiquage ont conduit à remplacer les meules

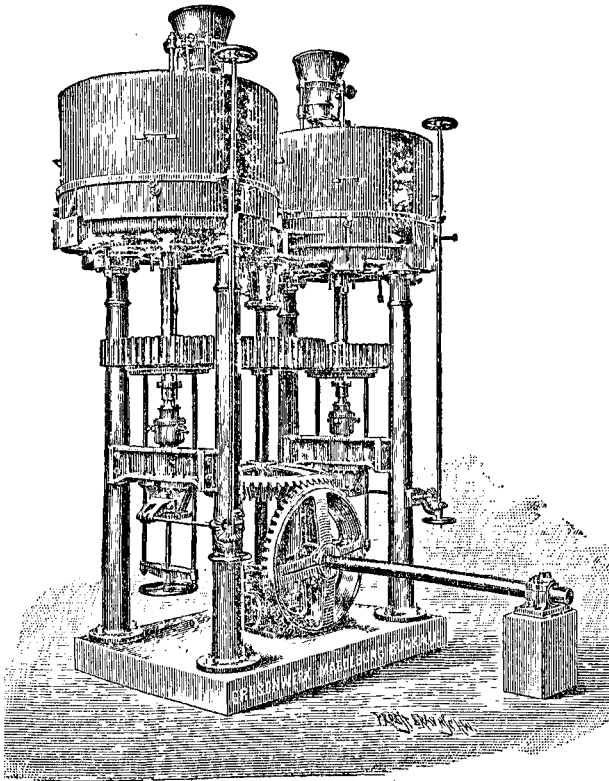


Fig. 31

par des appareils plus perfectionnés. Dans presque toutes les nouvelles usines, on installe main-

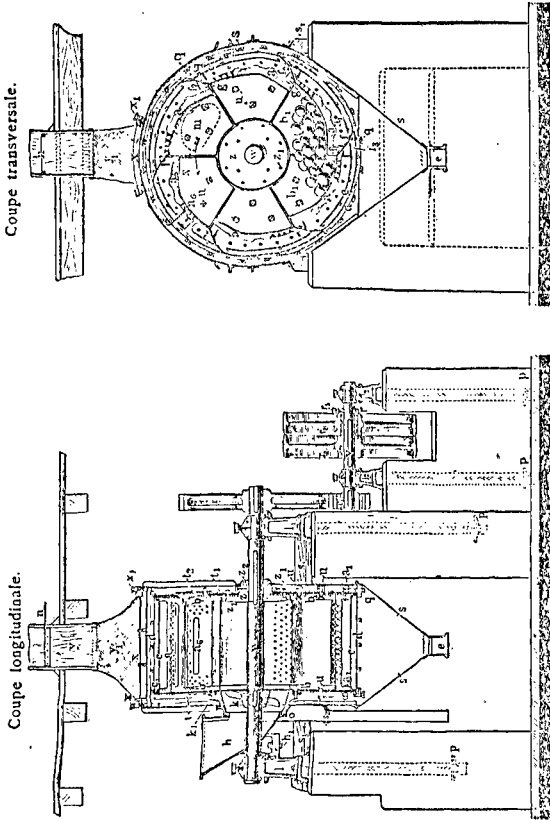
tenant les broyeurs à boulets et les meules paraissent définitivement détrônées.

Le broyeur à boulets construit par la maison Gruson, de Magdebourg, se compose d'un tambour garni latéralement de fortes plaques de blindage en acier ; l'enveloppe est constituée tout d'abord par une série de plaques en acier disposées en escalier (*fig.* 35 et 36) de manière qu'entre deux plaques consécutives, il existe un espace de plusieurs centimètres ; une autre enveloppe en tôle perforée est placée à peu de distance de ces plaques et enfin il existe une troisième enveloppe constituée par des cadres garnis de toile métallique. L'intérieur du tambour contient une grande quantité de boulets en acier dont les diamètres varient de 0^m,09 à 0^m,012.

Les matières à broyer pénètrent par une ouverture latérale située dans l'axe du broyeur. L'appareil tourne à raison de 22 à 25 tours par minute. Les matières, à mesure qu'elles se broient, passent d'abord à travers des trous de 0^m,01 pratiqués dans les plaques en acier ; celles qui sont assez fines traversent la tôle perforée et la toile métallique : celles qui sont trop grosses retombent dans le broyeur par suite de la disposition des plaques et des tamis.

Il existe plusieurs numéros de ces broyeurs ; le plus grand a 2^m,40 de diamètre et 1^m,80 de largeur ; il contient 2 000 kilogrammes de bou-

lets et il absorbe 35 chevaux de force. Son ren-



dement, quand il est garni de toile n° 35, peut atteindre 3500 à 4000 kilogrammes à l'heure

avec des matières calcaires et 2 500 à 3 000 kilogrammes de ciment cuit tout venant.

Des broyeurs du même type sont construits par d'autres constructeurs, tels que Lohnert, Luther, en Allemagne, Dalbouze Brachet et C^{ie} en France.

On peut obtenir une poudre très fine avec le broyeur à boulets seul ; il peut recevoir des morceaux de 0^m,15 à 0^m,25 et, si l'on emploie de la

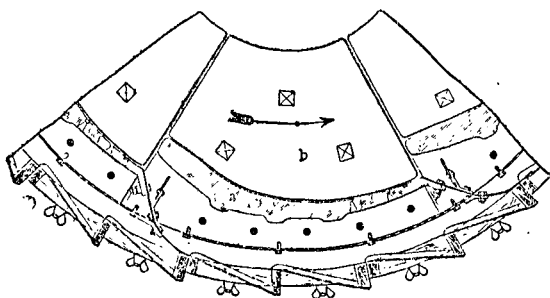


Fig. 36

toile métallique n^o 70 ou n^o 80, on aura d'un seul coup la mouture complète. Mais on préfère généralement obtenir, avec ce broyeur, une poudre relativement grossière et terminer le broyage dans un autre appareil appelé tube-finiisseur.

Ce broyeur est constitué par un cylindre de 5 mètres environ de longueur et 1 mètre de diamètre tournant sur deux tourillons ; il est

garni intérieurement de plaques d'aciers ou de silex et il contient 4 000 kilogrammes de galets en silex de la grosseur d'un œuf ; sa vitesse de rotation est de 25 tours par minute. La poudre à broyer pénètre dans le tube par un des tourillons qui est creux et dans lequel se trouve une vis qui tourne plus ou moins vite, ce qui permet de régler l'alimentation du broyeur. Dans le parcours pour se rendre d'un bout à l'autre du tube, la poudre est réduite en poudre très fine par

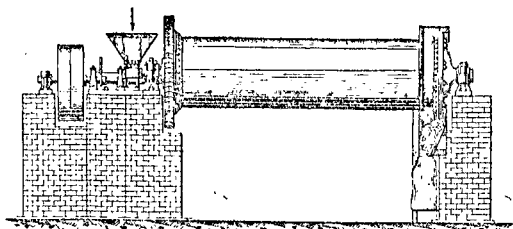


Fig. 37

l'action des galets qui agissent à la fois par chocs et par frottements. Dans les tubes de Davidsen, la poudre sort du broyeur par la circonférence ; les autres constructeurs font sortir la poudre fine par le tourillon comme pour l'entrée.

Un tube peut traiter jusqu'à 5 000 kilogrammes de poudre à l'heure quand elle arrive au broyeur déjà assez fine. La force qu'il absorbe est de 30 à 40 chevaux (*fig. 37*).

On place parfois, entre le broyeur et le tube, un

séparateur qui enlève la fine poussière produite par le broyeur à boulets ; le tube ne reçoit que des grains et le rendement final est plus élevé.

Les séparateurs les plus généralement employés sont ceux de Mumford et Moodie (*fig. 38*). Dans cet appareil, la poudre tombe sur un plateau animé d'une grande vitesse de rotation ; des

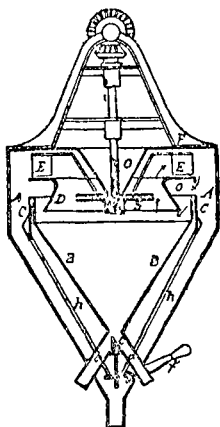


Fig. 38

aillettes placées en dessous produisent un fort courant d'air qui, rencontrant la poudre projetée tout autour du plateau en nappe mince, entraîne la fine poussière qui se rend dans la partie extérieure de l'entonnoir tandis que les grains plus gros tombent dans le premier entonnoir.

Les bluteries que l'on emploie quand on utilise les meules pour la mou-

ture sont semblables à celles que l'on rencontre dans les fabriques de chaux. On a aussi employé pendant assez longtemps des bluteries inclinées à secousses de Nagel et Kæmp.

Il existe beaucoup d'autres systèmes de broyeurs ; parmi ceux que l'on rencontre assez fréquemment dans les fabriques de ciment, on peut citer le broyeur Griffin, le Phénix, le Morel.

Principales usines. Statistique. — Comme nous l'avons dit plus haut, c'est aux États-Unis que l'on trouve les plus grandes usines, dans la vallée de Lehigh, en Pensylvanie. A côté de la plus grande, la compagnie « Atlas », il y en a plusieurs autres dont la production est de 1 000 à 3 000 barils par jour soit 180 à 540 tonnes. La production totale est assez difficile à connaître exactement, car des usines sont créées à chaque instant ; elle doit être d'un million de tonnes, au minimum.

Le pays qui produit la plus grande quantité de ciment est l'Allemagne ; il existe, dans ce pays, plus de 100 usines de ciment artificiel dont quelques-unes sont très importantes. La société « Alsen », près de Hambourg, possède plusieurs usines et produit 200 000 tonnes par an ; l'usine d'Heemmoor, dans la même région, produit 180 000 tonnes ; puis viennent les usines de Hanovre, Germania, Teutonia, celles de Dyckerhoff à Amöneburg, de Schifferdecker à Heidelberg, celles d'Oppeln, en Silésie, etc. La production totale de l'Allemagne a dépassé 3 000 000 de tonnes par an en 1900.

En Angleterre, les principales usines sont situées sur la Tamise et la Medway ; les plus importantes sont celles de White Brothers, de Burham, de Bevan Night and Sturge, de Wouldham, etc.

On estime la production annuelle anglaise à 1 500 000 tonnes.

La Russie produit environ un million de tonnes par an avec 25 usines, dont quelques-unes très grandes comme celles de Noworosisk, Glucoserzski, Guélandjick, Port Kunda, Riga, Tchoudowo, Podolsk, qui fabriquent chacune de 200 000 à 500 000 barils par an.

La France vient en cinquième ligne avec 4 à 500 000 tonnes. Les principales usines sont celles de la Société des Ciments français qui produisent à elles seules 150 000 tonnes par an, puis celles de la C^{ie} Nouvelle des ciments du Boulonnais, de Darsy, Lefebvre Stenne et Lavocat, de Sollier, de la C^{ie} de Dannes, toutes dans le Boulonnais; on trouve, en outre, dans le Pas-de-Calais, E. Cambier et C^{ie} et la Société de Pernes; à Mantes, la C^{ie} Parisienne des Ciments, à Frangey, la Société Quillot, à Pagny, la Société de Pagny-sur-Meuse, à Grenoble, la Société Vicat, à Valdonne, près Marseille, une usine appartenant à la Société Pavin de Lafarge. Enfin, aux colonies françaises, il existe une usine à Rivet, près d'Alger et une usine très importante à Haïphong (Tonkin).

Comme pays producteurs importants de ciment, on peut citer encore la Belgique, la Suisse, l'Autriche, l'Italie, la Suède, le Danemark; on trouve, en outre, quelques usines en Roumanie, en Égypte, en Australie, à Hong-Kong, au Japon.

On peut estimer que la production totale dans le monde est actuellement de 7 à 8 millions de tonnes.

II. CIMENT DE LAITIER

La fabrication du ciment de laitier a pris naissance, il y a une vingtaine d'années, en Allemagne ; elle fut introduite en France vers 1888 ; on trouve quelques usines fabriquant ce produit en Suisse, en Belgique, aux États-Unis ; il en existe en totalité un nombre assez restreint et cette industrie a pris, en somme, peu de développement.

Ce ciment est composé, comme son nom l'indique, de laitier de hauts-fourneaux, mélangé avec de la chaux grasse ou hydraulique ; mais pour que ce mélange ait une valeur comme liant hydraulique, il faut employer du laitier granulé ; on l'obtient à cet état en le refroidissant brusquement à la sortie du haut-fourneau par un courant d'eau dans lequel il est projeté ; le laitier se réduit en grains d'aspect vitreux.

Le laitier granulé doit d'abord être séché complètement pour pouvoir être broyé. On utilise les séchoirs dont nous avons déjà parlé et aussi parfois des appareils composés de plans inclinés disposés dans une sorte de cheminée et

que des gaz chauds parcourent en sens inverse de la matière à sécher.

Le laitier sec doit être réduit en poudre très fine ; l'appareil qui convient le mieux pour cette mouture est le tube-broyeur. La chaux peut être, comme nous l'avons dit, de la chaux grasse ou de la chaux hydraulique ; celle-ci paraît donner cependant des résultats plus satisfaisants. La cuisson et le blutage s'exécutent par les procédés ordinaires.

Le mélange de la chaux et du laitier moulu se fait en proportions définies suivant la composition chimique du laitier. D'après M. Tetmayer, quand le rapport $\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2}$ descend au-dessous de 1 le laitier n'est pas utilisable ; le rapport de la silice à l'alumine doit être compris entre 0,45 et 0,50. M. Prost admet que la composition moyenne des laitiers employés pour la fabrication des ciments serait représentée par la formule $2 \text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, 3 \text{CaO}$.

On emploie généralement 30 à 40 parties de chaux pour 60 à 70 de laitier. Pour obtenir un ciment de bonne qualité, il faut que le mélange de laitier et de chaux soit très intime ; pour y parvenir, on introduit ce mélange dans des cylindres rotatifs contenant des boulets en acier ; ces cylindres tournent et brassent la matière qu'ils contiennent pendant un temps plus ou moins long, en général 5 à 6 heures ; puis on procède

à une nouvelle opération. Il existe aussi des appareils dans lesquels l'homogénéisation se fait d'une façon continue.

Le ciment de laitier se distingue surtout par sa grande finesse ; il ne doit pas laisser plus de 10 à 15 % de résidu sur le tamis de 4900 mailles ; un ciment de laitier qui ne serait pas très finement moulu n'aurait aucune valeur.

Le poids spécifique de ces ciments est compris entre 2,70 et 2,90 ; la densité apparente est de 800 grammes à 1 kilogramme pour le poids du litre non tassé. La prise est toujours très lente. La résistance, relativement peu élevée en pâte pure, est très satisfaisante quand le ciment est mélangé avec trois parties de sable ; toutefois la résistance des mortiers conservés à l'air est toujours bien au-dessous de celle des mortiers conservés dans l'eau.

« Les ciments de laitier, dit M. Tetmayer, sont d'un emploi recommandable dans tous les travaux sous l'eau et à l'humidité dont l'exécution n'est pas nécessairement très rapide, et où l'on n'exige pas une résistance particulièrement élevée, les ciments de laitier conviennent aussi bien que le mortier de trass pour les bétons coulés directement dans l'eau.

« A l'air, ils perdent de leur force par suite de leur fendillement et de l'évaporation de l'eau de l'hydrate de chaux.

« En général, leur emploi ne se recommande pas pour les constructions exposées à l'air et soumises à une usure mécanique.

« Dans les constructions à l'air, où l'on ne peut conserver la matière humide pendant environ une semaine et où celle-ci est exposée à l'action du soleil, on fera mieux de ne pas employer le ciment de laitier. Des ciments de laitier à forte teneur en chaux (40 à 50 %) peuvent, après plusieurs années de conservation à l'air, se désagréger à la surface et tomber en poudre par suite du fendillement ».

TROISIÈME PARTIE

MORTIERS

GÉNÉRALITÉS SUR L'EMPLOI DES MORTIERS

Choix des matériaux. — La nature du travail à exécuter et, en second lieu, les conditions de prix, de facilité d'approvisionnement, etc. doivent guider dans le choix de l'agglomérant à employer. Que l'on ait à utiliser une chaux ou un ciment, il est toujours utile de se rendre compte de la qualité du produit que l'on doit mettre en œuvre ; bien souvent si l'on se donnait la peine de procéder à quelques essais sommaires, on éviterait les mécomptes que donnent les produits de qualité inférieure.

Il va de soi que si l'agglomérant n'est pas utilisé immédiatement, il faudra le préserver soigneusement de l'humidité ; certains produits, comme les ciments prompts, s'altèrent très vite s'ils peuvent absorber de l'eau. Le magasin devra être bien clos et bien couvert ; les sacs ou les barils reposeront sur un plancher et ne seront jamais déposés directement sur le sol.

Le choix du sable a une importance très grande surtout pour certains travaux spéciaux. Quand il s'agit de maçonnerie ordinaire, on peut se contenter d'employer le meilleur sable que l'on peut trouver dans la région ; on choisira toujours de préférence un sable de grosseur moyenne ne contenant ni matières organiques ni une quantité trop forte d'argile. D'une manière générale, et à qualité à peu près égale, on devra choisir le sable qui contiendra le moins de vide et qui donnera ainsi le plus fort rendement en mortier. Pour déterminer le vide d'un sable, on prend une mesure d'un litre, on la remplit avec le sable à essayer sans le tasser ; puis on verse de l'eau jusqu'à ce que celle-ci remplisse complètement la mesure ; le volume de l'eau qui a été ainsi versé représente le vide du sable.

On prendra le sable dans l'état où il doit se trouver au moment de l'emploi ; il est, en effet, toujours plus ou moins humide. Or un sable sec pèse bien plus lourd qu'un sable humide, sous le même volume et, par conséquent, il contient bien moins de vide. On aurait donc intérêt à employer toujours du sable sec pour obtenir le maximum de rendement. Le poids d'un litre de sable de Seine sec est de 1445 grammes ; le vide est alors de 430 centimètres cubes ; le même sable humide ne pèse plus que 1140 grammes,

et le vide est de 550 centimètres cubes. Si on a calculé le volume de l'agglomérant de manière que les vides soient exactement remplis, on aura, avec le sable humide, un mètre cube de mortier et, avec le sable sec, $1^{\text{m}^3}, 120$.

Il est très utile d'examiner soigneusement le sable à employer, surtout quand il s'agit de travaux qui demandent, soit une étanchéité parfaite, soit une résistance à l'usure. Pour les constructions à la mer, par exemple, on sait que les mortiers ont d'autant plus de chances de se maintenir intacts qu'ils sont moins perméables. Dans presque tous les cas où l'on a eu à constater des dégradations rapides de maçonneries exposées à l'action de l'eau de mer, on peut dire que ces accidents devaient être imputés à la qualité défectueuse du sable employé.

M. Feret, dont les remarquables études sur les mortiers doivent toujours être consultées quand on veut approfondir cette question, a montré l'influence de la composition granulométrique des sables, c'est-à-dire des proportions relatives des diverses grosseurs de grains dont ils sont formés, sur la compacité et, par suite, sur la perméabilité des mortiers. « Les sables fins, dit-il, donnent, en général, des mortiers de qualité tout-à-fait inférieure. C'est là un principe d'une grande importance et dont la non-observation a eu maintes conséquences désastreuses.

« On peut mettre en évidence la supériorité des mortiers de gros sable sur ceux de sable fin, même lorsque ceux-ci sont beaucoup plus riches que les premiers, en déterminant les résistances des mortiers plastiques à dosages échelonnés faits avec un même liant et deux sables de grosseurs différentes, et déduisant par interpolation les dosages qui correspondraient à des résistances données.

« Le tableau de la p. 99, obtenu de cette manière, et dans lequel on a calculé le prix de revient d'un mètre cube de chaque mortier, montre que, pour l'exemple choisi, les poids de ciments à prendre par mètre cube de sable fin auraient été plus que doubles de ceux qu'il aurait fallu mélanger au gros sable pour obtenir les mêmes résistances, de sorte que, même en supposant le gros sable beaucoup plus cher que le fin, son emploi aurait été encore plus économique, tout en présentant une plus grande sécurité...

« La conclusion générale de ces diverses observations est que si, dans une région, on n'a à sa disposition que du sable fin, comme est, par exemple, celui des dunes ou de certaines carrières, on ne devra pas craindre de s'en procurer un autre, même à un prix élevé, soit qu'on le fasse venir ou qu'on le fabrique en concassant des pierres ; cette solution sera presque toujours plus avantageuse, au double point de vue de la

	25	50	75	100	150	200	250	300	350	485
Résistance à la compression par cm ³ après immersion de 5 mois à l'eau de mer										
Poids du ciment qu'il aurait fallu mélanger à un mètre cube de sable pour obtenir les résistances correspondantes.	231 120	403 182	544 252	670 320	950 437	1345 559	1900 725	2645 980	4030 1635	ciment pur
Volume du sable entrant dans un mètre cube de mortier.	0,980 1,050	0,900 1,040	0,839 1,025	0,800 1,010	0,714 0,965	0,624 0,920	0,527 0,857	0,432 0,773	0,321 0,612	0
Poids du ciment entrant dans un mètre cube de mortier.	226 126	362 189	457 257	535 321	679 422	838 513	1000 620	1142 756	1293 985	1722
Prix total du sable et du ciment entrant dans un mètre cube de mortier.	15,03 18,06	23,07 21,74	28,68 25,67	33,30 29,36	41,81 34,97	51,22 39,98	60,79 45,77	69,17 53,09	78,06 65,15	103,32
Compacité	0,616 0,702	0,611 0,717	0,608 0,729	0,608 0,737	0,610 0,743	0,610 0,743	0,607 0,739	0,607 0,724	0,593 0,687	0,553

sécurité et de l'économie, que celles qui consisteraient à mélanger une plus forte proportion de ciment au sable fin qu'on a sous la main » (1).

Dans la confection des dallages, le sable joue un rôle très important ; la résistance à l'usure du dallage dépend, en effet, en grande partie de la qualité du sable employé ; celui-ci doit être assez gros et aussi régulier que possible ; il devrait être passé au tamis n° 12, par exemple, puis ce qui a traversé ce tamis serait repassé au n° 30 et on utiliserait seulement ce qui resterait sur ce tamis.

En ce qui concerne la composition chimique du sable, on donne généralement la préférence aux sables siliceux ; ce sont, en effet, presque toujours les meilleurs ; mais des sables calcaires peuvent être aussi très bons si les grains sont suffisamment durs. En particulier, les sables artificiels provenant du concassage de calcaires durs donnent d'excellents résultats.

Dosage. — Le dosage des mortiers de chaux se fait souvent en volume ; ce procédé est très défectueux et favorise beaucoup les chaux de qualité inférieure. L'entrepreneur a, en effet, tout intérêt à prendre les chaux les plus légères et, par conséquent, les moins bonnes. On devrait tou-

(1) FERRET. — *Chimie appliquée à l'art de l'Ingénieur*. Baudry et C^{ie}, 1897.

jours doser la chaux ou le ciment en poids, car c'est le seul moyen d'avoir des dosages à peu près exacts.

Les dosages sont très variables suivant la nature des travaux à exécuter ; pour les maçonneries ordinaires, si on utilise la chaux hydraulique, on emploie généralement le dosage de 250 à 350 kilogrammes de chaux par mètre cube de sable.

Avec le ciment Portland, on peut se contenter de 250 kilogrammes de ciment par mètre cube de sable ; on pourrait même descendre au-dessous de ce dosage si le mortier n'était pas alors d'un emploi assez difficile ; on y remédie souvent en mélangeant, au ciment, de la chaux grasse qui donne au mortier le liant nécessaire pour permettre un emploi facile. Les dosages généralement employés sont : 1 de ciment, 1 de chaux et 6 de sable, en volume, ou, quand il s'agit de maçonneries ordinaires ne demandant pas une résistance bien grande : 1 de ciment, 1/2 de chaux, 10 de sable. De pareils mortiers sont très économiques et ils donnent d'excellents résultats surtout dans les constructions aériennes ; on emploie généralement la chaux en pâte, car il n'est pas nécessaire d'avoir recours à la chaux hydraulique.

Dans tous les grands travaux du service des eaux et des égouts de Paris, ainsi que dans la

construction du Métropolitain, les mortiers sont dosés à 300 kilogrammes de ciment Portland par mètre cube de sable ; quand le ciment de laitier peut être employé concurremment, le dosage est de 350 kilogrammes par mètre cube de sable.

Pour les ouvrages qui nécessitent une grande résistance dans un court délai, comme les travaux en ciment armé, on augmente le dosage et on le porte à 400, 450 et quelquefois 500 kilogrammes par mètre cube de sable. Souvent on emploie un mélange de sable et de gravillon.

Pour les travaux à la mer, le dosage le plus réduit que l'on puisse adopter est de 400 kilogrammes par mètre cube de sable et encore ce dosage ne peut-il être accepté que si l'on possède un sable excellent ; avec un sable trop gros ou trop fin, il faudra augmenter le dosage et le porter à 500 et même 600 kilogrammes.

Les enduits de réservoir, et en général, tous les mortiers qui doivent présenter une étanchéité absolue, doivent être exécutés au dosage de 600 à 650 kilogrammes de ciment par mètre cube de sable. Ici encore les sables fins doivent être absolument proscrits.

Pour les dallages, on emploiera un dosage de 1 000 kilogrammes de ciment par mètre cube de sable pour le mortier de la chape.

Béton. — Dans un grand nombre d'ouvrages, on peut remplacer avantageusement la maçonnerie par le béton, c'est-à-dire par le mélange de sable, de cailloux et d'agglomérant. Toutes les fondations peuvent être exécutées ainsi et, dans presque tous les cas, le béton coûte moins cher que la maçonnerie, tout en présentant une résistance plus grande ; il en est de même pour les murs de soutènement, les massifs de machine, les murs de quai, les blocs artificiels, les jetées, etc.

Quand il s'agit de travaux importants, le béton s'exécute mécaniquement ; la mise en place se fait par les premiers manœuvres venus et la rapidité d'exécution des ouvrages peut être ainsi très grande. Tous les ouvrages du canal de Manchester ont été exécutés en béton de ciment ; il en a été mis en œuvre des quantités immenses et l'on a calculé que si on avait dû utiliser la maçonnerie, il aurait fallu, pour pouvoir achever le canal dans le même délai, engager tous les maçons qui existent en Angleterre.

Dans les travaux à la mer, le béton est bien supérieur à la maçonnerie ; il permet d'obtenir à moins de frais et plus sûrement, des massifs imperméables. Le port extérieur de Bilbao, exécuté entièrement en béton de ciment, est un exemple remarquable des résultats que l'on peut obtenir avec ce mode de construction. Les blocs

de plusieurs milliers de tonnes, imaginés par M. Coiseau, constituent une application très intéressante du béton.

On a exécuté également en béton, toujours avec un succès complet, un grand nombre de ponts dont quelques-uns ont des ouvertures allant jusqu'à 50 mètres.

Il existe un grand nombre de bétonnières qui permettent d'obtenir un très bon mélange des matériaux. Dans les unes, on mélange seulement le mortier, exécuté préalablement, avec les cailloux ; dans d'autres, le mélange de l'agglomérant, du sable et du caillou se fait en même temps et dans une seule opération.

Les dosages généralement employés pour le béton sont de : 1 de ciment, 2 de sable, 4 de cailloux, pour les ouvrages demandant une grande résistance ; pour les blocs artificiels et les ouvrages immergés en eau de mer, on peut adopter le dosage de 1 de ciment, 3 de sable et 5 de cailloux. Enfin, pour les massifs de moindre importance, on utilise les dosages suivants : 1 de ciment, 4 de sable, 6 de cailloux ou 1 de ciment, 4 de sable, 8 de cailloux. On peut encore obtenir un excellent béton, suffisant pour bien des cas, avec le dosage de 1 de ciment, 5 de sable, 10 de pierres.

Voici, d'après M. Quinette de Rochemont, quelques compositions de béton employées dans

un certain nombre de ports : à Aberdeen, 1 de ciment, 3 ou 4 de sable et 3 ou 4 de gravier ; à Newhaven, 1 de ciment, 2 de sable, 5 de galets ; à Ymuiden, autrefois 1 de ciment, 3 de sable, 5 de galets ; actuellement 2 de ciment, 3 de sable, 5 de bricailons ou pierres cassées ; à Colombo, 1 de ciment, 2 de sable, 6 de pierres cassées ou de gravier ; à Douvres, 1 de ciment et 9 de sable, graviers et galets ; à Bilbao, 200 kilogrammes de ciment pour $0^{\text{m}^3},45$ de sable et $0^{\text{m}^3},90$ de pierres.

La forme des pierres paraît avoir peu d'importance sur la résistance des bétons ; avec les cailloux ronds, on obtient une compacité bien plus grande qu'avec les pierres cassées et leur emploi se recommande à cause de cette qualité, bien que les pierres cassées paraissent devoir donner une adhérence plus grande et, par suite, une meilleure résistance. Les essais du tableau des p. 106 et 107 ont été faits avec des pierres cassées et des cailloux ronds.

Rendement des mortiers. — Le volume de mortier que l'on obtient avec un mélange de sable et d'agglomérant varie évidemment suivant le dosage et aussi suivant la nature du sable ; un sable fin donnera un rendement plus grand qu'un gros sable, parce qu'il sera nécessaire d'employer plus d'eau de gâchage. La nature de l'agglomérant a aussi une certaine

Composition du mortier, quant. de ciment mél. avec 1 m ³ de sable (300 kg.)	Dosage du béton	Quantités de ciment, de sable et de cailloux employés dans l'expérience	Bétons confectionnés avec des cailloux roulés			
			Quantité d'eau de gâchage	Volume du béton obtenu	Quantité de ciment existant dans 1 m ³ de béton	Densité du béton après la prise
			litres	m. c.	kilog.	
250	1 volume de mortier pour 1,5 volume de cailloux	Ciment . 250 kg. } 0m ³ ,850	180	1,650	151,5	2,32
		Sable . 1 m ³ }				
		Cailloux. 1, 275 }				
450		Ciment . 450 kg. } 0, 880	210	1,730	260,0	2,36
		Sable . 1 m ³ }				
		Cailloux. 1, 320 }				
650		Ciment . 650 kg. } 0, 960	242	1,840	353,6	2,41
		Sable . 1 m ³ }				
		Cailloux. 1, 440 }				
1000		Ciment . 1000 kg. } 1, 170	305	2,210	448,0	2,40
		Sable . 1 m ³ }				
		Cailloux. 1, 755 }				
250	1 volume de mortier pour 2 volumes de cailloux	Ciment . 250 kg. } 0, 850	180	1,920	130,0	2,28
		Sable . 1 m ³ }				
		Cailloux. 1, 700 }				
450		Ciment . 450 kg. } 0, 880	210	2,000	225,0	2,33
		Sable . 1 m ³ }				
		Cailloux. 1, 760 }				
650		Ciment . 650 kg. } 0, 960	254	2,090	311,0	2,39
		Sable . 1 m ³ }				
		Cailloux. 1, 920 }				
1000		Ciment . 1000 kg. } 1, 170	305	2,580	388,0	2,41
		Sable . 1 m ³ }				
		Cailloux. 2, 310 }				
250	1 volume de mortier pour 2,5 volumes de cailloux	Ciment . 250 kg. } 0, 850	180	2,250	111,0	2,26
		Sable . 1 m ³ }				
		Cailloux. 2, 125 }				
450		Ciment . 450 kg. } 0, 880	210	2,400	187,5	2,28
		Sable . 1 m ³ }				
		Cailloux. 2, 200 }				
650		Ciment . 650 kg. } 0, 960	254	2,560	254,0	2,33
		Sable . 1 m ³ }				
		Cailloux. 2, 400 }				
1000		Ciment . 1000 kg. } 1, 170	320	3,020	331,0	2,39
		Sable . 1 m ³ }				
		Cailloux. 2, 925 }				

Bétons confectionnés avec des cailloux roulés				Bétons confectionnés avec des pierres cassées								Observations
Résistance par centimètre carré à la compression après				Quantité d'eau de gâchage	Volume du béton obtenu	Quant. de ciment exist. dans 1 m ³ de béton	Densité du béton après la prise	Résistances par centimètre carré à la compression après				
7 jours	28 jours	6 mois	1 an					7 jours	28 jours	6 mois	1 an	
kilog.	kilog.	kilog.	kilog.	litres	m. e.	kilog.		kilog.	kilog.	kilog.	kilog.	
72,5	97,5	90,0	90,8	180	1,550	161	2,28	92,5	112,5	115,0	136,6	Les cailloux roulés pesaient au m ³ 1550 kg. et le volume du vide s'élevait à 0m ³ , 100, les pierres cassées pesaient au m ³ 1370 kg. et le volume du vide s'élevait à 0m ³ , 474. Pour tous les essais on a employé le même sable; ce sable avait été passé au tamis n° 12; il pesait au m ³ 1300 kg.
102,5	172,5	181,6	226,7	210	1,610	279	2,37	157,5	200,0	233,3	246,6	
162,5	217,5	245,0	308,3	242	1,730	375	2,40	200,0	245,0	343,3	353,3	
185,0	240,0	251,6	386,6	305	2,040	490	2,43	280,0	302,5	325,0	420,0	
52,5	65,0	72,5	120,0	180	1,800	139	2,28	92,5	97,5	105,0	118,3	
122,5	140,0	178,3	208,3	210	1,900	236	2,35	147,5	157,5	200,0	225,0	
152,5	215,0	248,3	316,7	242	2,000	325	2,38	160,0	240,0	255,0	370,0	
207,5	252,5	285,0	355,0	305	2,440	409	2,42	250,0	280,0	305,0	391,7	
47,5	65,0	75,8	96,7	180	2,000	125	2,30	90,0	92,5	80,0	125,0	
72,5	105,0	106,7	183,3	210	2,230	202	2,28	105,0	125,0	165,0	198,3	
87,5	140,0	186,6	228,3	254	2,420	268	2,34	155,0	177,5	208,3	225,0	
172,5	180,0	233,3	316,6	305	2,900	344	2,35	180,0	225,0	248,3	276,7	

influence sur le rendement, mais elle est bien moindre qu'on ne le croit généralement. On croit que les ciments légers et les chaux donnent plus de mortier, à dosage égal, que les ciments lourds ; c'est une erreur ; comme le fait voir le tableau de la p. 109, le rendement en mortier est à peu près le même, quel que soit l'agglomérant employé, pour les dosages variant de 250 à 450 kilogrammes par mètre cube de sable.

M. Mercier, conducteur des Ponts et Chaussées, a exécuté une série d'essais qui ont également démontré que les rendements en mortiers et bétons étaient peu influencés par la nature de l'agglomérant ⁽¹⁾.

Nous donnons, aux pages 110 et 111, les tableaux indiquant le résultat de ces expériences.

(1) *Annales des Ponts et Chaussées*, 1902-3.

Désignation des sables	Dosage du ciment ou de la chaux pour 1m ³ de sable	Ciment Portland (1)			Ciment de grappiers (2)			Ciment de laitier (3)			
		Quantité d'eau de gâchage	Volume du mortier	Quantité d'arg. métrant par m ³ de mortier mis en place	Quantité d'eau de gâchage	Volume du mortier	Quantité d'arg. métrant par m ³ de mortier mis en place	Quantité d'eau de gâchage	Volume du mortier	Quantité d'arg. métrant par m ³ de mortier mis en place	
	kilog.	lit.	m ³	kilog.	lit.	m ³	kilog.	lit.	m ³	kilog.	
Gros sable	250	146	0,885	282	168	0,875	285	150	0,885	282	
	450	195	0,935	481	220	0,960	468	195	0,940	478	
	650	230	1,035	628	295	1,080	602	250	1,040	625	
Sable fin des dunes	1 000	315	1,235	809	440	1,370	729	340	1,290	775	
	250	240	0,905	276	250	0,935	267	250	0,900	277	
	450	270	0,990	454	290	1,025	439	270	0,980	459	
Sable normal	650	302	1,090	597	330	1,115	582	312	1,070	607	
	1 000	378	1,295	790	450	1,340	746	402	1,275	784	
			Ciment Portland (4)			Chaux lourde (5)			Chaux légère (6)		
Sable normal	250	195	0,890	281	232	0,870	287	286	0,910	274	
	350	198	0,900	388	264	0,920	380	338	0,965	362	
	450	227	0,940	478	306	0,990	454	411	1,075	417	

Poids en grammes du litre non tassé : (1) 1 280, (2) 970, (3) 835, (4) 1 260, (5) 800, (6) 540.

RENDEMENT EN MORTIERS

Désignation	Dosage en ciment par mètre cube de sable (essai fait sur un volume de sable de 125')											
	300kg		350kg		400kg		450kg		500kg		550kg	
	L'eau de chaux	Volume du mortier	L'eau de chaux	Volume du mortier	L'eau de chaux	Volume du mortier	L'eau de chaux	Volume du mortier	L'eau de chaux	Volume du mortier	L'eau de chaux	Volume du mortier
1° Ciments de laitier :	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³
Ciment A	"	0,264	1,104	0,264	1,092	0,265	1,132	0,320	1,192	0,322	1,203	
" B	"	0,248	1,072	0,252	1,088	0,264	1,108	0,280	1,158	0,300	1,200	
" C	"	0,248	1,072	"	"	0,256	1,112	"	"	"	"	
2° Ciments Portland :												
Ciment D	0,232	1,064	0,240	1,080	0,244	1,096	0,248	1,128	0,264	1,148	"	"
" E	0,224	1,056	0,232	1,056	0,240	1,096	0,252	1,120	0,272	1,154	"	"

RENDEMENT EN BÉTON AU DOSAGE DE 0,550 DE MORTIER POUR 0,800 DE CAILLOUX LAVÉS

Désignation	Mortier à 400 kilogrammes			Mortier à 450 kilogrammes			Mortier à 500 kilogrammes		
	Quantités sur lesquelles a porté l'essai	Volume du béton pour 0,550 de mortier	Mortier Cailloux	Quantités sur lesquelles a porté l'essai	Volume du béton pour 0,550 de mortier	Mortier Cailloux	Quantités sur lesquelles a porté l'essai	Volume du béton pour 0,550 de mortier	Mortier Cailloux
1° <i>Ciments de laitier :</i>									
Ciment A	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³
" B	"	"	"	0,1415	0,206	0,149	0,217	0,149	0,217
" C	"	"	"	0,1385	0,201	"	"	"	"
2° <i>Ciments Portland :</i>									
Ciment D	0,137	0,200	0,137	0,141	0,205	0,141	0,205	0,141	0,205
" E	0,137	0,200	0,137	"	"	"	"	"	"

Sur l'un des chantiers du Métropolitain, on a procédé à quelques expériences du même genre qui ont donné les résultats suivants :

RENDIMENT EN MORTIERS

Désignation des ciments employés	Dosage en ciment par m ³ de sable (essai fait sur un volume de sable de 125 litres)					Observations
	Volume de mortier pour 300 kilog.	Volume de mortier pour 350 kilog.	Volume de mortier pour 400 kilog.	Volume de mortier pour 450 kilog.	Volume de mortier pour 500 kilog.	
	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	
Ciment de laitier C.	1 000	1 024	1 018	1 060	1 076	1 092
Ciment Portland D.	1 016	1 032	1 061	1 084	1 112	1 132
						La quantité d'eau néces- saire au gâchage n'a pas été notée.

QUATRIÈME PARTIE

ESSAIS DES CIMENTS, DES CHAUX ET DES SABLES

La Commission française des méthodes d'essais a indiqué les règles à suivre dans l'exécution des essais de contrôle à exécuter sur les produits hydrauliques, nous reproduisons ces règles en nous bornant aux essais les plus usuels.

CHAPITRE PREMIER

ESSAIS DES CIMENTS

I. FINESSE DE MOUTURE

α) L'échantillon sera fractionné en quatre lots, à l'aide des trois tamis à mailles carrées définis ci-après :

1° Tamis de 324 mailles par centimètre carré, soit, par centimètre linéaire, 18 fils de 0^{mm},20 de diamètre ;

2° Tamis de 900 mailles par centimètre carré, soit, par centimètre linéaire, 30 fils de 0^{mm},15 de diamètre ;

3° Tamis de 4 900 mailles par centimètre carré, soit, par centimètre linéaire, 70 fils de 0^{mm},05 de diamètre.

b) Les essais auront lieu sur un échantillon de 100 grammes.

c) Le tamisage à la main sera considéré comme terminé lorsqu'il ne passera pas de matière sous l'action de 25 tours de bras.

d) L'emploi d'une machine à secousses est recommandé pour éliminer rapidement la plus grande partie de la fine poussière.

e) Le tamisage complet à la machine est également recommandé ; mais il ne peut faire l'objet d'une prescription, tant que les conditions auxquelles doit satisfaire la machine ne sont pas rigoureusement arrêtées.

f) On exprimera les résultats, pour chaque tamis, en totalisant les résidus qui ne sont pas susceptibles d'y passer.

II. POIDS SPÉCIFIQUE

a) Pour déterminer le poids spécifique des ciments, on pourra employer l'une des méthodes actuellement en usage, pourvu qu'elle permette

d'obtenir la première décimale avec une approximation de deux unités.

b) Les précautions à prendre dans l'exécution de l'expérience sont les suivantes :

1° On s'assurera que le ciment est franchement pulvérulent : les parties retenues par le tamis de 900 mailles par centimètre carré, ainsi que celles agglomérées par l'humidité, après qu'elles auront été réduites en poudre et passées à ce tamis, seront mélangées intimement avec le reste de l'échantillon, sur la totalité duquel doit porter 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°.

L'appareil imaginé par H. Le Châtelier et nous, peut être recommandé pour déterminer le poids spécifique.

Il se compose d'un flacon (fig. 39) terminé par un tube de 0^m,20 de hauteur, qui présente un renflement dont la capacité mesure exactement 20 centimètres cubes entre deux traits horizontaux *a*, *b*, gravés sur le verre ; au-dessus

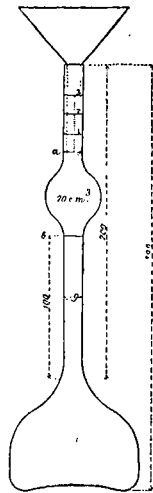


Fig. 30

du trait supérieur, le tube est gradué en dixièmes de centimètre cube.

L'appareil étant rempli de benzine jusqu'au trait inférieur *b*, on introduit un certain poids *P* de la poudre à essayer, au moyen d'un entonnoir dont la tige descend jusqu'à quelques millimètres au-dessus du trait supérieur *a*. Le niveau du liquide s'élève, et le volume occupé par la poudre *V* est de 20 centimètres cubes augmentés du nombre de dixièmes de centimètre cube lu sur la graduation

$$d = \frac{P}{V}$$

On peut aussi procéder en pesant un certain poids de poudre, et en ne versant dans l'appareil que la quantité nécessaire pour faire monter le liquide du trait inférieur *b* au trait supérieur *a*; dans ce cas, le volume occupé *V* est exactement de 20 centimètres cubes et le poids de poudre correspondant *P* est obtenu par différence, en pesant le résidu qui n'a pas été employé.

III. DENSITÉ APPARENTE

a) La densité apparente d'un ciment sera déterminée en pesant une mesure de forme cylindrique, ayant un litre de capacité et 0^m,10 de hauteur, remplie au moyen de l'entonnoir à tamis.

b) Cet appareil se compose d'un entonnoir vertical (*fig. 40*), 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 ayant, par décimètre carré, 1 050 trous environ, de $0^m,002$ de diamètre ⁽¹⁾. 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.

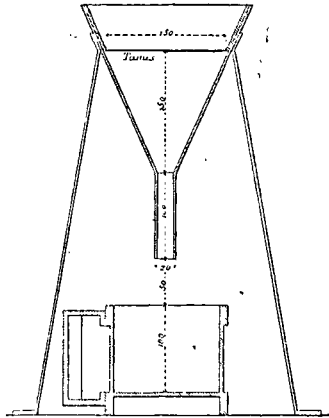


Fig. 40

c) 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.

(1) Cette tôle se trouve dans le commerce.

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.

d) On adoptera comme poids du litre, la moyenne des résultats obtenus dans cinq opérations successives.

e) 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.

IV. ESSAI D'HOMOGENÉITÉ

a) La loupe peut être utilement employée pour donner des indications sur le degré d'homogénéité des ciments.

b) Il convient de faire les observations sur la matière retenue par le tamis de 4 900 mailles, en opérant successivement avec des grossissements d'environ trois diamètres, pour l'examen d'ensemble, et huit, pour l'examen de détail.

c) Si l'examen révèle la présence de grains qu'on puisse soupçonner provenir de matières étrangères au ciment, on en vérifiera la nature, soit par l'analyse chimique complète ou partielle du produit brut ou fractionné, soit par tout autre moyen qu'on jugerait plus propre à mettre ces matières étrangères en évidence.

V. CONFECTION DES PÂTES ET MORTIERS NORMAUX

Pâte normale de ciment. — 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 ⁽¹⁾ :

Suivant la nature des essais, cette eau pourra être, soit de l'eau potable, soit de l'eau de mer.

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

(1) Ce volume doit évidemment être déterminé à l'aide de tâtonnements successifs.

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,

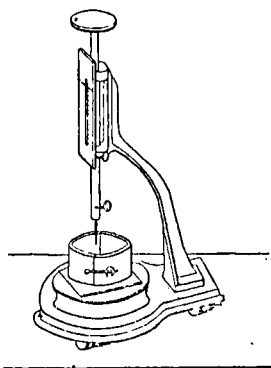


Fig. 41

avec précaution et sans lui laisser acquérir de vitesse, une sonde cylindrique de $0^m,01$ 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* (fig. 41), devra être cons-

truit 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 devra opérer sera réduite à 500 grammes, et la durée du gâchage à une minute.

Mortiers normaux. — A. a) Pour confectionner les *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* ou le *sable normal composé*.

b) Le *sable normal simple* sera formé de grains ayant passé au tamis en tôle perforée de 1^{mm},5 de diamètre et ayant été retenus 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 2 millimètres, ont été retenus par le tamis de 1^{mm},5 ;

N° 2, dont les grains, ayant passé au tamis de 1^{mm},5, ont été retenus par le tamis de 1^{mm} ;

N° 3, dont les grains, ayant passé au tamis de 1 millimètre, ont été retenus par le tamis de 0^{mm},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 d'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 1 kilogramme de matières (250 grammes de ciment et 750 grammes de sable) qu'on mélangera intimement à sec ; on formera ensuite, sur une table de marbre, 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 se servira du sable normal simple. La quantité d'eau à employer au gâchage sera de 45 grammes, augmentés du sixième de celle nécessaire pour amener un kilogramme de ciment à l'état de pâte normale de ciment.

d) Pour la confection du *mortier normal plastique*, on se servira du sable normal composé. La quantité d'eau employée au gâchage sera telle que le mortier obtenu ait une consistance plastique.

Pour s'assurer que cette consistance est bien réalisée, on emplira, avec une partie du mortier

obtenu, la boîte métallique destinée aux essais (voir, dans ce paragraphe, 1° A, b), et on dérasera et lissera la surface à la truelle ; la consistance sera considérée comme satisfaisante si, après le lissage, le mortier resseue légèrement sous l'effet de quelques coups de truelle frappés sur les côtés de la boîte.

C. Pour les ciments à prise rapide, la quantité de matières sur laquelle on devra 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) (1). 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,

(1) P étant le poids d'eau nécessaire pour amener un kilogramme de ciment à l'état de pâte normale, les poids d'eau à employer paraissent devoir être de $45^{\text{gr}} + \frac{2}{9} P$, dans le cas du mortier sec dosé à 1 : 2, et de $45^{\text{gr}} + \frac{1}{9} P$, dans le cas du mortier sec dosé 1 : 5, le sable employé étant toujours le sable normal simple.

VI. ESSAIS DE PRISE

Pâtes de ciment. — 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 comprise entre 15 et 18°.

Immédiatement après sa confection, la pâte sera, avec les précautions indiquées précédemment au § V (1°, A), introduite et dérasée dans une boîte semblable à celle décrite au même § (1°, A, b).

Aussitôt remplie, la boîte sera immergée dans un bac contenant de l'eau dont la température sera maintenue entre 15 et 18°. 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^{mm}, 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°; 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).

Mortiers. — A. a) Les essais de prise des mortiers de ciment comporteront la détermination de la *fin de la prise*.

b) Au moment du gâchage, les températures du ciment, du sable, de l'eau et de l'air ambiant devront être comprises entre 15 et 18°.

Immédiatement après sa confection, le mortier sera introduit, dérasé et lissé dans la boîte servant aux essais de consistance.

Aussitôt remplie, la boîte sera immergée dans un bac contenant de l'eau dont la température

sera maintenue entre 15 et 18°. La boîte ne sera extraite du bac que pendant le temps nécessaire pour chaque constatation.

c) 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°.

d) La *fin de la prise* sera déterminée par le moment où la surface du mortier pourra supporter, sans déformation, la pression du pouce.

La durée de la prise sera comptée à partir du moment où l'eau de gâchage aura été mise au contact du mélange de sable et de ciment.

B. a) L'*essai normal* de prise portera sur le mortier normal plastique, immergé comme il est dit ci-dessus (A, b).

b) La *fin de prise* sera déterminée par le moment à partir duquel la sonde de consistance (§ IV, 1°, A, c) chargée de cinq kilogrammes, descendue avec précaution et sans qu'on lui laisse acquérir de vitesse, normalement à la surface du mortier, n'y pénétrera plus d'une quantité appréciable.

VII. ESSAIS DE RUPTURE PAR TRACTION

A. a) Pour les essais de rupture par traction, on fera usage d'éprouvettes en forme de 8, dites

briques normales, ayant une section au milieu de 5 centimètres carrés du type défini par la *fig. 42*.

b) Les moules (*fig. 43 et 44*) présentant en creux la forme des briquettes, 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 met-

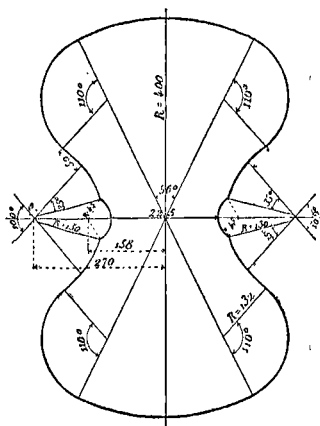


Fig. 42

tant 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 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 dégraser, qu'elle ait pris une consistance suffisante.

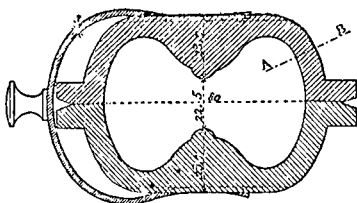


Fig. 43

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



Fig. 44

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 vingt-quatre heures sera réduit à 1 heure, pour les pâtes de ciment à prise rapide, et à 3 heures, pour les mortiers du même ciment.

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 § 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, 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°.

f) L'appareil de rupture (*fig. 45*) sera disposé de telle sorte que l'effort de traction exercé sur une briquette puisse être continu et croître à à raison de 5 kilogrammes par seconde. La

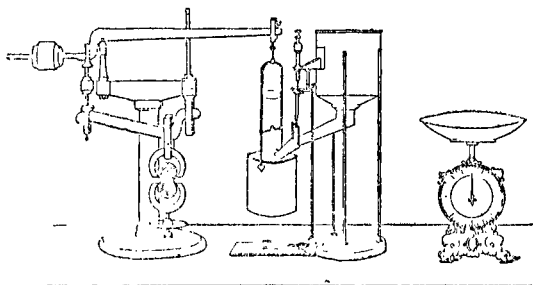


Fig. 45

forme et le mode d'attache des griffes devront être conformes au croquis représenté par la *fig. 46* qui reproduit les dispositions actuellement en usage.

g) Les ruptures seront faites au bout de 7 jours, 28 jours, 3 mois, 6 mois, 1 an, 2 ans à compter du gâchage.

Elles seront faites, en outre, au bout de 24 heures pour les mortiers de ciment à prise rapide, et au bout de 3 à 24 heures pour les pâtes de ciment de cette nature.

h) Les briquettes provenant d'une même gâchée seront, autant que possible, réparties

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^m,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).

VIII. ESSAIS DE RUPTURE PAR COMPRESSION

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 consolidera les résultats fournis par les demi-briquettes jumelles.

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 (A).

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 d'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 briquettes.

e) Les résultats seront produits pour chacune des 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 » (1).

(1) La surface d'une briquette (par laquelle il faut diviser la charge totale de rupture) est de $31 \text{ cm}^2,3$.

B. Les *essais normaux* de rupture par compression porteront sur les briquettes de pâte normale de ciment et de mortier normal sec qui auront servi aux essais normaux de rupture par traction. A défaut de demi-briquettes, on pourra employer des éprouvettes cylindriques de 45 centimètres de diamètre et de 22 millimètres de hauteur, confectionnées et conservées dans les conditions indiquées pour ces essais (§ VIII, B).

C. Pour les essais ayant pour objet la comparaison de mortiers à d'autres matériaux, on recommande provisoirement l'emploi du cube de 50 centimètres carrés de face, placé en délit⁽¹⁾. On se conformera d'une manière générale, pour ces essais, aux règles adoptées pour les autres matériaux.

IX. ESSAIS DE DÉFORMATION.

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 la pâte sur une plaque de verre, de manière à former une galette d'environ 0^m,10 de diamètre

(1) C'est-à-dire de manière que l'effort s'exerce normalement à l'une des faces qui ont été au contact des parois latérales du moule.

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 (§ VII, A, e).

Les galettes destinées aux essais à l'air, y seront également exposées dans les conditions indiquées pour ces éprouvettes (§ VII, A, e).

On notera l'état des galettes au bout des périodes de temps admises pour les essais de rupture (7 jours, 28 jours, 3 mois, 6 mois, 1 an, 2 ans, etc.).

C. *Essais à chaud.* a) On emploiera, pour ces essais, des éprouvettes cylindriques de $0^m,030$ de diamètre et de $0^m,030$ 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 $0^m,15$ de longueur ; l'augmentation de l'écartement des extrémités de ces deux aiguilles donnera une mesure du gonflement (*fig. 47*).

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 élevée progressivement à 100 degrés, en un temps qui devra être compris entre un quart d'heure et une demi-heure.

La température de 100 degrés sera maintenue pendant six heures consécutives, et on laissera ensuite refroidir pour faire les mesures finales.

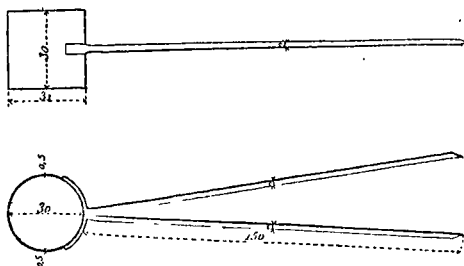


Fig. 47

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.

X. ESSAIS DE RENDEMENT.

A. a) Le rendement en pâte d'un ciment est le volume de pâte obtenu par le gâchage, à consistance normale, d'un kilogramme de ciment.

Le rendement en mortier d'un ciment est le volume de mortier obtenu par le gâchage, à consistance plastique, d'un kilogramme de sable et de ciment mélangés dans la proportion correspondant à ce mortier.

b) On détermine le rendement en constatant le

volume occupé dans une éprouvette cylindrique en verre, graduée, de 0^m,06 environ de diamètre, par la pâte ou le mortier qu'on y introduit aussitôt après le gâchage, avec les précautions nécessaires pour éviter, autant que possible, l'emprisonnement de bulles d'air.

c) On peut, s'il y a lieu, déterminer le rendement avec plus de précision, en moulant la pâte ou le mortier suivant un bloc de forme quelconque, et en constatant, après durcissement, la différence de poids dans l'air et dans l'eau, de ce bloc préalablement enduit de suif.

B. *L'essai normal* de rendement portera sur la pâte normale de ciment et sur le mortier normal plastique.

XI. ESSAIS DE 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^l,30 et 0^l,50.

b) Le volume du plein v s'obtiendra en prenant la différence $P - p$ du poids de l'éprouvette sèche, pesée dans l'air P , et du poids p de l'éprouvette imbibée d'eau, pesée dans l'eau.

Pour réaliser l'imbibition complète, on maintiendra l'éprouvette pendant 1/4 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, jusqu'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 ne pas faire disparaître toute l'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.

c) 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 pesée 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 posée 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 la composition, l'âge et le mode de conservation du mortier soumis aux essais.

XII. ESSAIS DE 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^m,035 de diamètre et de 0^m,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 (*fig. 48*). 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, des hauteurs de 0^m,10, 1 mètre ou 10 mètres (¹).

(¹) Au cas où l'on serait conduit à adopter des hauteurs différentes, on choisirait de préférence des multiples de 0^m,50.

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... (1).

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, ,

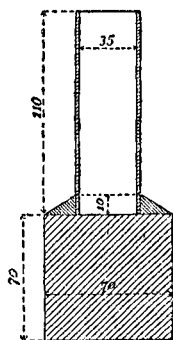


Fig. 48

1 mètre 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

(1) Au début de l'essai, on multipliera les constatations, s'il y a lieu.

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 la composition, l'âge et le mode de conservation du mortier soumis aux essais.

XIII. ESSAIS DE DÉCOMPOSITION PAR L'EAU DE MER

A. a) Les essais seront faits par immersion et par filtrations.

b) On emploiera pour l'immersion, des briquettes normales en 8, maintenues vingt-quatre heures après leur confection dans un bac contenant de l'eau de mer qui sera renouvelée tous les deux jours pendant la première semaine, et ensuite toutes les semaines. Pendant la première semaine, le volume de l'eau devra être égal à quatre fois, au moins, celui des briquettes.

c) On emploiera, pour les filtrations, des éprouvettes en forme de blocs cubiques, semblables à celles destinées aux essais de perméabilité et disposées ainsi qu'il a été indiqué pour ces essais (§ XII, A). La charge sera de 0^m,10, 1 mètre ou 10 mètres, suivant la perméabilité des éprouvettes soumises aux essais. On opérera sur deux séries d'éprouvettes ; celles de la première seront maintenues à l'air, et celles de la deuxième se-

ront maintenues immergées de toute leur hauteur dans de l'eau de mer.

d) A défaut d'eau de mer naturelle, on pourra se servir d'une eau de mer artificielle ayant la composition suivante :

Chlorure de sodium (NaCl)	30 gr.
Sulfate de magnésie cristallisé (MgOSO ₃ ,7HO).	5
Chlorure de magnésium cristallisé (MgCl, 6HO)	6
Sulfate de chaux hydraté (CaOSO ₃ ,2HO).	1,5
Bicarbonate de potasse (KOH,2CO ₂)	0,2
Eau distillée, de pluie ou de rivière bouillie	1000

e) Des séries de briquettes normales en 8 et de blocs cubiques seront conservées dans l'eau douce pour servir de témoins.

f) On exprimera les résultats des essais en donnant les indications suivantes, comparative-
ment pour les éprouvettes et leurs témoins ;

- 1° Modification de l'aspect des éprouvettes ;
- 2° Résistance à la traction et à la compression pour les briquettes immergées et à la compression pour les blocs soumis aux filtrations ;
- 3° Composition chimique.

Les essais seront faits, suivant les cas, à l'une ou à plusieurs des époques fixées pour les résistances à la rupture (28 jours, 3 mois, 6 mois, 1 an, etc.)

B. a) L'essai normal de décomposition par l'eau de mer portera sur le mortier normal plastique ; pour les essais par filtrations, on opérera

sur des éprouvettes âgées de 28 jours, conservées dans l'eau de mer.

b) Pour les essais qui seraient faits sur des mortiers d'âge et de compositions différents, on recommande d'employer, de préférence, des mortiers dosés à 1 : 2 et à 1 : 5, âgés de 7 jours, 28 jours, 3 mois, etc.

c) Dans tous les cas, on indiquera la composition, l'âge et le mode de conservation du mortier soumis aux essais.

XIV. ESSAIS D'ADHÉRENCE

A. Pour comparer la force d'adhérence des ciments, on soumettra à des essais de rupture par traction, des éprouvettes en forme de double

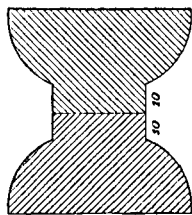


Fig. 49

T (fig. 49), confectionnées à l'aide du moule spécial dont le dessin est donné par les fig. 50 et 51, chacune des deux matières dont on étudie l'adhérence devant constituer l'une des moitiés de chaque éprouvette.

On se conformera, pour ces essais, aux dispositions ci-après :

B. *Essai normal destiné à comparer la force d'adhérence de divers ciments à une même ma-*

tière. a) On préparera des *blocs normaux d'adhérence* en mortier composé, en poids, d'une partie de ciment Portland passé au tamis de 900 mailles et de deux parties de sable normal n° 3 (§ VI, 2°, A, c).

Le mortier sera gâché avec 9 % d'eau et comprimé très fortement dans le moule, dont le fond

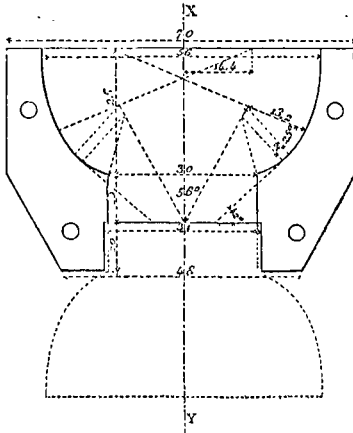


Fig. 50

aura été préalablement garni par une plaque métallique mobile. Les blocs d'adhérence seront immergés dans l'eau douce au bout de 24 heures ; ils y seront conservés jusqu'au moment de l'emploi, et au moins pendant 28 jours. Quand on voudra les utiliser, on les fera sécher ; puis on passera la surface d'adhérence au papier d'écmeri ;

b) On emploiera pour les essais, le mortier normal plastique, qui sera introduit, par un simple tassement à la truelle, dans le moule disposé de manière que le bloc normal d'adhérence en forme le fond.

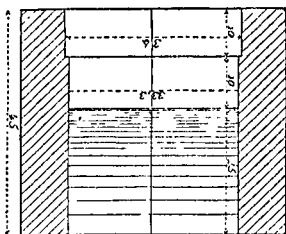


Fig. 51

Le démoulage de l'éprouvette, constituée par le bloc normal soudé au mortier à essayer, se fera une fois la prise complètement terminée.

c) On se conformera, quant au nombre et à la conservation des éprouvettes, aux périodes des essais, au mode de rupture et à l'expression des résultats, aux prescriptions concernant les essais de résistance à la traction.

C. *Essais destinés à comparer la force d'adhérence d'un ciment à diverses matières.* a) On adoptera, pour ces essais, les dispositions ci-dessus, à cette différence près que les blocs normaux d'adhérence seront remplacés par des blocs confectionnés avec les diverses matières à essayer.

Si la matière peut être moulée, le bloc d'adhérence sera confectionné à l'aide du moule, comme un *bloc normal*.

Si la matière est solide, on préparera une plaque de quelques millimètres d'épaisseur, ayant une face bien dressée, que l'on placera au fond du moule, et on complètera le bloc en remplissant avec du ciment pur.

b) Dans le cas où l'on ne ferait pas usage du mortier normal plastique, on indiquerait la composition du mortier employé.

CHAPITRE II

—

ESSAIS DES CHAUX HYDRAULIQUES

I. FINESSE DE BLUTAGE.

Mêmes conclusions que pour la détermination de la finesse de mouture des ciments, sauf en ce qui concerne le tamis le plus fin (4 900 mailles) qui est remplacé par un tamis de 2 025 mailles, ainsi défini :

Nombre de mailles par centimètre carré.	2 025
Nombre de fils par centimètre linéaire	45
Grosseur des fils	0 ^{mm} ,10

II. POIDS SPÉCIFIQUE.

Mêmes conclusions que pour les ciments.

III. DENSITÉ APPARENTE.

Mêmes conclusions que pour les ciments.

Les essais devront porter sur la chaux hydraulique en poudre, telle qu'elle est livrée, et sur la fine poussière ayant passé au tamis de 2 025 mailles.

IV. ESSAIS D'HOMOGENÉITÉ.

Mêmes conclusions que pour les ciments.

V. CONFECTION DES PÂTES ET MORTIERS NORMAUX.

Pâte normale de chaux. — Mêmes conclusions que pour les ciments.

Mortiers normaux. — A. Mêmes conclusions que pour les ciments.

B. a) Il sera fait usage, pour les essais autres que ceux de rupture, de *deux mortiers normaux plastiques* et, pour les essais de rupture, de *deux mortiers normaux secs*.

b) Les *mortiers normaux* seront dosés en poids, l'un, à raison d'une partie de chaux pour trois de sable (250 grammes de chaux pour 750 grammes de sable), l'autre, à raison d'une partie de chaux pour cinq de sable (167 grammes de chaux pour 833 grammes de sable), et gâchés à la truelle pendant cinq minutes en opérant sur un kilogramme de matière, comme les mortiers de ciment.

c) Les *mortiers normaux secs* seront confectionnés avec du sable normal simple.

La quantité d'eau employée au gâchage sera de 45 grammes, augmentés du sixième de celle

nécessaire pour amener un kilogramme de chaux à l'état de pâte normale, dans le cas du dosage 1 : 3, et augmentés du neuvième de cette quantité, dans le cas du dosage 1 : 5.

d) Les *mortiers normaux plastiques* seront confectionnés suivant les règles indiquées pour les mortiers de ciment, avec du sable normal composé.

C. On recommande, pour les essais autres que les essais normaux, d'employer, de préférence à tous autres, le dosage en poids d'une partie de chaux pour quatre de sable normal.

VI. ESSAIS DE PRISE.

Mêmes conclusions que pour les ciments.

VII. ESSAIS DE RUPTURE

(*traction, compression, flexion*).

Mêmes conclusions que pour les ciments, sauf les modifications ci-après :

a) Les éprouvettes seront démoulées, autant que possible, au bout de 24 heures, et exposées dans le milieu choisi pour leur conservation, après avoir été maintenues à l'air pendant un délai de 2, 4 ou 7 jours comptés à partir du moment de la confection.

Dans tous les cas, il sera fait mention de ce délai en même temps qu'on indiquera les résultats des essais.

b) Les *essais normaux* de rupture porteront sur les mortiers normaux secs dosés à 1 : 3 et à 1 : 5, conservés dans l'eau douce ; il ne sera pas fait d'essais normaux sur la pâte de chaux.

VIII. ESSAIS DE DÉFORMATION.

Mêmes conclusions que pour les ciments, sauf en ce qui concerne les essais à chaud, pour lesquels la température de l'eau (C, a) doit être réduite de 100 à 50 degrés.

IX. ESSAIS DE RENDEMENT, DE POROSITÉ ET DE PERMÉABILITÉ

Mêmes conclusions que pour les ciments. Les mortiers sur lesquels porteront les *essais normaux*, seront les mortiers normaux plastiques dosés à 1 : 3 et à 1 : 5.

X. ESSAIS DE DÉCOMPOSITION PAR L'EAU DE MER

Mêmes conclusions que pour les ciments, sauf en ce qui concerne l'immersion des briquettes (A, b), pour laquelle le délai après la

confection sera porté de 24 heures à 2, 4 ou 7 jours, comme pour les essais de rupture.

Les *essais normaux* porteront sur les mortiers normaux plastiques dosés à 1 : 3 et à 1 : 5.

XI. ESSAIS D'ADHÉRENCE.

Mêmes conclusions que pour les ciments.

Les *essais normaux* porteront sur les mortiers normaux plastiques dosés à 1 : 3 et à 1 : 5.



CHAPITRE III

—

ESSAIS DES SABLES

I. COMPOSITION GRANULOMÉTRIQUE, FORME DES GRAINS

Après avoir écarté, par un passage au tamis en tôle perforée de trous de 5 millimètres de diamètre, les graviers et cailloux, on répartira le sable proprement dit, à l'aide du tamis en tôle perforée de trous de 2 millimètres et $0^{\text{mm}},5$ de diamètre, en trois catégories, savoir :

Sable *gros*, passant au tamis de 5 millimètres, retenu par le tamis de 2 millimètres ;

Sable *moyen*, passant au tamis de 2 millimètres, retenu par le tamis de $0^{\text{mm}},5$;

Sable *fin*, passant au tamis de $0^{\text{mm}},5$.

La composition granulométrique sera exprimée par les nombres de centièmes de sables des trois catégories, contenus dans l'unité de poids de sable proprement dit.

La quantité de graviers et de cailloux séparée du sable proprement dit, sera également exprimée en centièmes de ce poids.

On indiquera, en même temps que la composition granulométrique, la forme des grains (arrondis, anguleux, esquilleux, caverneux, coquilliers, etc.).

II. DENSITÉ

a) La *densité absolue* (poids spécifique) sera déterminée par l'une quelconque des méthodes en usage pour les matières pulvérulentes.

b) La *densité apparente* sera déterminée en pesant une mesure de forme cylindrique, ayant un litre de capacité et 0^m, 10 de hauteur, remplie de sable *sec* de la manière suivante :

L'entonnoir à tamis modifié par l'addition d'un obturateur à l'orifice inférieur et la suppression du tamis, sera placé à trois centimètres au-dessus de la mesure, et rempli d'un litre et demi environ de sable. On ouvrira l'obturateur de manière à laisser écouler le sable, et quand l'écoulement se sera arrêté (le sommet du cône formé par le sable en tombant dans la mesure ayant atteint l'orifice), on fermera l'obturateur et on enlèvera l'excès de sable, en faisant glisser sur le bord de la mesure une lame bien droite, tenue dans un plan vertical. Pendant la durée de l'opération, on n'aura fait subir à la mesure aucune trépidation ni aucun choc.

On adoptera comme poids du litre, la moyenne

des résultats obtenus dans cinq opérations successives.

III. NATURE MINÉRALOGIQUE

a) On séparera par lévigation et on pèsera, après dessiccation, les matières terreuses et impalpables contenues dans le sable ; leur poids sera exprimé en centièmes, par rapport à l'unité de poids de sable sec.

b) On indiquera le degré d'homogénéité du sable ainsi que sa nature minéralogique.

IV. ESSAIS DES SABLES MIS EN ŒUVRE

a) Ces essais seront faits sur des éprouvettes de mortiers plastiques, confectionnées à dosage égal d'un même ciment ou d'une même chaux, d'une part, avec le sable normal composé et, d'autre part, avec le sable à essayer.

b) On indiquera toutes les conditions dans lesquelles auront été faits les essais, et notamment si le dosage du sable a été effectué en poids ou en volume.

ANNEXES

ARRÊTÉ MINISTÉRIEL

CONCERNANT

LES FOURNITURES DE CIMENTS ET DE CHAUX
HYDRAULIQUES

Article Premier.

Dispositions générales. — Toutes les fournitures de ciments et de chaux relatives à l'exécution des travaux dépendant de l'Administration des Travaux publics, qu'il s'agisse de marchés pour fourniture sans emploi ou de marchés de travaux comprenant la fourniture et l'emploi, sont soumises, en tout ce qui leur est applicable, aux dispositions suivantes :

TITRE PREMIER

CLAUSES APPLICABLES A TOUS LES MARCHÉS

Article 2.

Mode de livraison. — Le ciment et la chaux lorsqu'elle sera fournie en poudre seront livrés en sacs ou en barils.

Les sacs renfermeront un poids net de 50 kilogrammes ; ils seront cousus en dedans et fermés par un scellement au plomb à la marque du fabricant et d'un modèle accepté par l'Administration.

Les barils porteront sur l'un des fonds la marque de fabrique et sur l'autre l'indication du poids net de ciment ou de chaux qu'ils renfermeront.

Les sacs et barils devront être en parfait état au moment de la livraison. Tout ciment ou chaux humide sera rejeté.

A l'arrivée de chaque expédition, les connaissements ou lettres de voitures seront communiqués à l'Ingénieur.

Article 3.

Emmagasinage. — Les sacs ou barils de ciment ou de chaux seront conservés dans des magasins très secs, clos et couverts. Ils y seront déposés par tas distincts correspondant à chaque livraison.

L'entrepreneur aura la garde et la responsabilité des ciments et des chaux en magasin jusqu'au moment de l'emploi, sauf l'exception stipulée à l'article 17.

Tout sac ou baril de ciment ou de chaux qui se trouvera avarié ou dont les enveloppes ne seront pas en bon état au moment de la délivrance pour emploi sera rebuté.

Article 4.

Épreuves. — Aucun ciment et aucune chaux ne pourront être employés avant d'avoir été soumis aux épreuves prescrites par le cahier des charges spécial de l'entreprise et reçus provisoirement.

L'ingénieur aura le droit de refaire, pendant toute la durée du séjour en magasin des chaux et ciments reçus provisoirement, les épreuves prescrites par le cahier des charges spécial de l'entreprise, et de rebuter les lots qui ne satisferaient plus, au moment de la délivrance pour emploi ou de la réception définitive, aux conditions exigés pour ces épreuves.

Lorsque les épreuves auront donné des résultats défavorables, l'entrepreneur pourra demander qu'on les recommence au laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées.

Article 5.

Prélèvement des échantillons. — Les échantillons à soumettre aux épreuves seront prélevés, en des profondeurs et des points différents, dans plusieurs sacs, barils ou tas désignés par l'ingénieur. Les ciments ou les chaux provenant de prélèvements différents ne devront pas être mélangés.

Article 6.

Qualité. — Le ciment ou la chaux seront de composition et de qualité constantes ; ils ne contiendront ni incuits, ni matières étrangères.

Article 7.

Finesse de mouture ou de blutage. — Les essais porteront sur un échantillon de 100 grammes. Le tamisage sera effectué au moyen de tamis de 324, 900 ou 4900 mailles par centimètre carré ; les fils de ces trois tamis auront des grosseurs respectives de vingt, quinze ou cinq centièmes de millimètre.

Article 8.

Densité apparente. — La densité apparente sera déterminée en versant doucement le ciment ou la chaux, sans les faire tasser, dans une mesure métallique de forme cylindrique ayant un litre de capacité et 10 centimètres de hauteur.

Le ciment ou la chaux contenus dans la mesure seront pesés. On prendra pour la densité apparente la moyenne des poids constatés dans trois opérations successives.

En cas de contestation, on recourra pour le remplissage de la mesure à l'emploi d'un entonnoir à tamis en tôle perforée de trous de 2 millimètres : on placera cet entonnoir de manière

que l'extrémité de son ajutage inférieur soit à 5 centimètres au-dessus de la mesure. On versera le ciment ou la chaux en évitant tout choc et toute trépidation. Quand la mesure débordera, on enlèvera la matière en excès en faisant glisser sur son bord supérieur une lame tenue dans un plan vertical.

Article 9.

Durée de prise. — Le ciment ou la chaux seront gâchés à l'eau potable en pâte ferme et seront disposés sous forme de gâteau de 4 centimètres d'épaisseur environ immédiatement immergé soit dans l'eau potable, soit dans l'eau de mer, suivant ce qui sera prescrit par le cahier des charges spécial de l'entreprise. Le ciment ou la chaux, l'eau de gâchage et le bain d'immersion seront à la température d'au moins 15° centigrades quand il s'agira de déterminer un maximum de rapidité de prise et d'au plus 15° quand il s'agira d'un minimum.

On appellera début de la prise l'instant à partir duquel l'aiguille Vicat ayant une section d'un millimètre carré et pesant 300 grammes ne peut plus traverser tout le gâteau.

On appellera fin de la prise l'instant à partir duquel la surface de la pâte peut supporter la même aiguille sans qu'elle y pénètre d'une quantité appréciable, telle qu'un dixième de millimètre.

En cas de contestation, on considérera comme pâte ferme de ciment ou de chaux celle qui, gâchée à raison de cinq minutes par kilogramme, puis placée dans une boîte de 4 centimètres de profondeur, sera traversée jusqu'à 6 millimètres du fond de cette boîte par une sonde de consistance d'un centimètre de diamètre et du poids de 300 grammes.

Article 10.

Résistance à la traction. — Les essais de résistance pourront porter sur la pâte ferme de ciment ou de chaux pure et sur le mortier plastique de ciment ou de chaux gâché à l'eau potable. Ils seront faits à l'aide d'éprouvettes en forme de 8 ayant une section au milieu de 5 centimètres carrés.

Les moules servant à faire les éprouvettes seront remplis en une seule fois ; on les agitera d'abord pour expulser les bulles d'air ; la pâte ou le mortier sera ensuite comprimé à la truelle mais non damé ; puis, avec le tranchant de celle-ci, on enlèvera l'excédent qui dépassera les bords du moule et on lissera la surface.

Chaque essai comportera la rupture de six éprouvettes. On prendra pour la résistance à la traction la moyenne des quatre résultats les plus forts.

Le mortier sera dosé en poids à raison d'une

partie de ciment ou de chaux pour trois de sable desséché. Le sable sera composé par parties égales de grains de trois grosseurs séparés par les quatre tamis en tôle perforée de trous de $1/2$, 1, $1\ 1/2$ et 2 millimètres de diamètre.

Les éprouvettes, après avoir été conservés dans une atmosphère humide et à l'abri des courants d'air et du soleil pendant un temps dont la durée sera fixée par le cahier des charges, spécial de l'entreprise, seront démoulées et immergées dans l'eau potable ou l'eau de mer, suivant ce qui aura été prescrit par ce cahier des charges. En tout cas, l'eau sera renouvelée tous les sept jours.

En cas de contestation, on considérera comme pâte ferme de ciment ou de chaux pure, celle qui est définie à l'article 9 et comme mortier plastique de ciment ou de chaux, un mortier confectionné au moyen de sable de la plage de Leucate fourni par l'Administration et gâché avec une quantité d'eau égale pour un kilogramme de matière à $70\text{ grammes} + \frac{1}{6} P$; P étant le poids d'eau nécessaire pour transformer un kilogramme de ciment ou de chaux en pâte ferme.

Article 11.

Déformations à froid et à chaud. — Les essais de déformation à froid seront faits avec

des galettes de ciment ou de chaux gâchées avec de l'eau potable en pâte ferme. Les galettes, ayant environ 10 centimètres de diamètre et 2 centimètres d'épaisseur, seront amincies sur les bords et disposées sur des plaques de verre. Les galettes seront immergées dans les conditions que fixera le cahier des charges spécial de l'entreprise et conservées dans l'eau jusqu'à la réception définitive des ciments ou des chaux.

Aucune des galettes ne devra présenter la moindre trace de gonflement, saillie ou boursoufflement. Les bords des galettes devront rester bien appliqués au verre et ne se relever en aucun point.

Les essais de déformation à chaud se feront sur des éprouvettes cylindriques d'un diamètre et d'une hauteur de 30 millimètres moulées dans un tube en laiton de 1/2 millimètre d'épaisseur, fendu suivant une génératrice et portant, soudée de chaque côté de la fente, une aiguille de 150 millimètres de longueur.

Dans les vingt-quatre heures qui suivront l'achèvement de la prise, ces éprouvettes seront immergées dans l'eau, qui sera progressivement élevée à la température fixée par le cahier des charges et maintenue à cette température pendant le temps également fixé par le cahier des charges, puis refroidie jusqu'à la température initiale. L'augmentation d'écartement des poin-

tes des aiguilles ne devra pas dépasser les chiffres indiqués au cahier des charges spécial de l'entreprise.

Aucune des galettes et éprouvettes ne devra présenter la moindre trace de gonflements ni de déformations telles que fendillements, saillies, boursoufflements. Les bords des galettes devront rester bien appliqués au verre et ne se relever en aucun point.

Article 12.

Constance de la température. — L'eau dans laquelle les éprouvettes et galettes seront conservées devra être maintenue à des températures comprises entre 12 et 18 degrés centigrades.

Article 13.

Enlèvement du ciment et de la chaux rebutés. — Le ciment ou la chaux rebutés seront enlevés des magasins par les soins et aux frais de l'entrepreneur dans un délai de dix jours à dater de la notification du procès-verbal de rebut.

Faute par l'entrepreneur de se conformer à cette prescription, il sera procédé d'office par l'Ingénieur à l'enlèvement du ciment ou de la chaux rebutés, et ce ciment ou cette chaux seront transportés et déposés aux frais, risques et périls de l'entrepreneur dans des magasins loués à son compte.

TITRE II

CLAUSES APPLICABLES AUX MARCHÉS
POUR FOURNITURE SANS EMPLOI**Article 14.**

Commandes.— Le ciment ou la chaux seront fournis par lots successifs dont l'importance et les délais de livraison seront fixés par des ordres de service. Le cahier des charges spécial de l'entreprise déterminera la quantité maxima de ciment ou de chaux qui pourra être demandée mensuellement à l'entrepreneur ainsi que la durée minima du délai accordé pour l'exécution de chaque commande.

En cas de retard dans la livraison, l'Administration pourra, dix jours après la notification à l'entrepreneur d'une mise en demeure de l'Ingénieur, acheter d'office et à ses frais les quantités de ciment ou de chaux qui n'auraient pas été livrées.

Si le ciment ou la chaux fournis donnent lieu à un procès-verbal de rebut et que l'entrepreneur, mis en demeure, n'ait pas remplacé dans un délai qui sera fixé par l'Ingénieur et qui sera d'au moins dix jours, le ciment ou la

chaux rebutés, l'Administration pourra également acheter d'office et aux frais de l'entrepreneur une quantité de ciment ou de chaux égale à celle qui aura été rebutée.

Dans les deux cas, le montant de l'entreprise sera diminué d'autant, sans que l'entrepreneur puisse invoquer le bénéfice de l'article 31 des clauses et conditions générales.

Article 15.

Restitution des enveloppes. — Les sacs vides seront réintégrés en magasin à la diligence de l'Administration au fur et à mesure de l'emploi et tenus à la disposition de l'entrepreneur, qui devra les enlever à ses frais.

A défaut d'enlèvement dans le délai fixé par l'Ingénieur et en cas d'encombrement des magasins, les sacs vides seront retournés d'office à l'entrepreneur, à son adresse et à ses frais.

La valeur des sacs non rendus sera payée à l'entrepreneur, en fin d'entreprise, au prix fixé par le cahier des charges de l'entreprise, sans déduction du rabais de l'adjudication.

Les barils vides resteront la propriété de l'État.

Article 16.

Pesage. — Tous les sacs ou barils seront pesés contradictoirement au moment de l'entrée en magasin.

On déterminera le poids de la tare en pesant un nombre d'enveloppes égal à 10 % environ du nombre total.

Article 17.

Réception. — La réception provisoire de chaque lot de fourniture sera prononcée dès que le ciment ou la chaux composant ce lot auront satisfait aux épreuves fixées par le cahier des charges de l'entreprise.

Le ciment ou la chaux reçus provisoirement seront portés en compte comme approvisionnements jusqu'à la délivrance pour emploi.

Le ciment ou la chaux qui n'auront pas été employés dans un délai de six mois à dater de la réception provisoire seront portés en travaux terminés à l'expiration du délai de six mois s'ils satisfont à toutes les conditions prescrites, et l'entrepreneur sera, à partir de ce moment, déchargé de toute responsabilité pour la garde et la conservation en magasins.

Article 18.

Délai de garantie. — Le délai de garantie sera d'un an à dater de la réception provisoire de la dernière fourniture partielle.

Paris, le 2 juin 1902.

Le Ministre des Travaux publics,

PIERRE BAUDIN

CAHIER DES CHARGES, TYPE N° 1
POUR LES FOURNITURES DE CIMENTS PORTLAND
DESTINÉES
A DES TRAVAUX EN PRISE A LA MER
(Circulaire du 2 juin 1902)

Article Premier.

Définition du produit. — Le ciment Portland sera produit par la mouture d'un mélange intime de carbonate de chaux, silice, alumine et fer cuit jusqu'à ramollissement.

Article 2.

Provenance et contrôle à l'usine. — Le ciment proviendra directement et exclusivement d (1).

(1) S'il s'agit d'un marché de fourniture : de l'usine du soumissionnaire.

S'il s'agit d'un marché de travaux comprenant la fourniture et l'emploi et si l'importance de la fourniture ou la nature du travail à exécuter exige que l'on précise l'origine du ciment : de l'une des usines ci-après.....

S'il s'agit d'un marché de travaux comprenant la fourniture et l'emploi sans qu'il y ait lieu de préciser l'origine du ciment : de l'usine choisie par l'entrepreneur et agréée par l'Ingénieur.

L'Administration se réserve le droit d'exercer son contrôle à l'usine tant sur la fabrication que sur la conservation et l'expédition du ciment qui sera fourni en exécution du présent marché.

Elle pourra y installer des agents spéciaux en permanence.

Article 3.

Mode de livraison. — Le ciment sera livré (en sacs ou en barils).

Article 4.

Composition chimique. — Le ciment ne devra pas contenir plus de 1,5 % d'acide sulfurique, ni plus de 2 % de magnésie, ni plus de 8 % d'alumine, ni des sulfures en proportions dosables.

Son indice d'hydraulicité, c'est-à-dire le rapport entre les poids de la silice combinée et de l'alumine, d'une part, et le poids de la chaux et de la magnésie, d'autre part, sera au moins de 0,47, pour une teneur en alumine de 8 %, avec une diminution de 0,02 pour chaque 1 % d'alumine en dessous de 8.

Article 5.

Finesse de mouture. — Le ciment devra laisser au moins 40 % de son poids sur le tamis de 4900 mailles par centimètre carré et au plus 2 % sur le tamis de 324 mailles.

Article 6.

Densité apparente. — Le poids du litre de ciment sera de 1 200 grammes au moins.

Article 7.

Durée de prise. — Le ciment immergé dans l'eau potable ne devra pas commencer à faire prise avant un délai de vingt minutes.

La prise devra être complètement terminée dans un délai qui ne sera pas inférieur à trois heures ni supérieur à douze heures.

Article 8.

Résistance à la traction du ciment pur. — Les éprouvettes de ciment pur, immergées dans l'eau de mer au bout de vingt-quatre heures, devront présenter une résistance à la traction par centimètre carré qui sera au moins de :

15 kilogrammes	au bout de . . .	7 jours	
30	" "	" . . .	28 (1)

La résistance devra augmenter d'ailleurs au moins de 2 kilogrammes du septième au vingt-huitième jour.

Article 9.

Résistance à la traction du mortier de ciment. — Les éprouvettes de mortier, immergées

(1) Les chiffres ci-dessus sont des minima ; les Ingénieurs pourront les augmenter après s'être assurés que les usines sont en mesure d'obtenir ceux qu'ils indiquent.

dans l'eau de mer au bout de vingt-quatre heures, devront présenter une résistance à la traction par centimètre carré qui sera au moins de :

6 kilogrammes au bout de.	. . .	7 jours	
12	"	"	. . . 28 (1)

La résistance devra d'ailleurs augmenter au moins de 2 kilogrammes du septième au vingt-huitième jour.

Article 10.

Déformations à froid et à chaud. — Les galettes et éprouvettes seront conservées dans une atmosphère humide pendant vingt-quatre heures; les galettes seront ensuite immergées dans l'eau de mer. La température de l'essai de déformation à chaud des éprouvettes sera de 100°; elle sera maintenue pendant trois heures. L'augmentation de l'écartement des pointes des aiguilles ne devra pas dépasser 5 millimètres.

(1) Même observation qu'à l'article 8.

CAHIER DES CHARGES, TYPE N° 2
POUR LA FOURNITURE DE CHAUX HYDRAULIQUE
DESTINÉE
A DES TRAVAUX EN PRISE A LA MER
(Circulaire du 2 juin 1902)

Article Premier.

Définition du produit. — La chaux sera livrée en poudre fine, sans incuits, ni matières étrangères.

Article 2.

Provenance et contrôle à l'usine. — La chaux proviendra directement et exclusivement de (1).

(1) S'il s'agit d'un marché de fourniture : de l'usine du soumissionnaire.

S'il s'agit d'un marché de travaux comprenant la fourniture et l'emploi et si l'importance de la fourniture ou la nature du travail à exécuter exige que l'on précise l'origine de la chaux : de l'une des usines ci-après... ou d'autres fournissant couramment des produits d'une qualité que les Ingénieurs reconnaissent au moins égale.

S'il s'agit d'un marché de travaux comprenant la fourniture et l'emploi sans qu'il y ait lieu de préciser l'origine de la chaux : d'une usine choisie par l'entrepreneur et agréée par l'Ingénieur.

L'Administration se réserve le droit d'exercer son contrôle à l'usine tant sur la fabrication que sur la conservation et l'expédition de la chaux qui sera fournie en exécution du présent marché.

Elle pourra y installer des agents spéciaux en permanence.

Article 3.

Mode de livraison. — La chaux sera livrée (en sacs ou en barils).

Article 4.

Composition chimique. — La chaux devra contenir moins de 2 % d'alumine, plus de 20 % de silice combinée et ne pas perdre plus de 10 % de son poids par la calcination au rouge blanc.

Ces chiffres ne seront pas obligatoires pour les chaux qui auront subi avec succès les essais à la mer effectués par la Commission des chaux et ciments sur la demande des fabricants désireux de présenter leurs produits aux adjudications de travaux à la mer.

Article 5.

Finesse de mouture. — La chaux devra laisser au plus 5 % de son poids sur le tamis de 900 mailles par centimètre carré et 2 % sur le tamis de 324 mailles.

Article 6.

Densité apparente. — Le poids du litre de chaux devra être supérieur à 700 grammes ; pour la chaux provenant d'une même usine, la variation du poids du litre ne pourra dépasser 100 grammes.

Article 7.

Durée de prise. — La pâte de chaux immergée dans l'eau de mer devra avoir commencé à faire prise dans un délai de six heures et avoir fait complètement prise dans un délai de trente heures au plus.

Article 8.

Résistance à la traction du mortier de chaux. — Les éprouvettes de mortier, immergées dans l'eau de mer au bout de vingt-quatre heures, devront présenter une résistance à la traction par centimètre carré qui sera au moins de :

3 kilogrammes au bout de . . .	7 jours	
6 " " . . .	28	(1)

La résistance devra augmenter d'ailleurs au moins de 2 kilogrammes du septième au vingt-huitième jour.

(1) Les chiffres ci-dessus sont des minima. Les Ingénieurs pourront les augmenter après s'être assurés que les usines sont en mesure d'obtenir ceux qu'ils indiqueront.

Article 9.

Déformations à froid et à chaud. -- Les galettes et éprouvettes seront conservées dans une atmosphère humide pendant quarante-huit heures. Ensuite on immergera les galettes dans de l'eau de mer. La température de l'essai de déformation à chaud des éprouvettes sera de 100° et sera maintenue pendant 3 heures.

L'augmentation de l'écartement des pointes des aiguilles ne devra pas dépasser 5 millimètres.

CAHIER DES CHARGES, TYPE N° 3
POUR LES FOURNITURES DE CIMENTS PORTLAND
DESTINÉES
A DES TRAVAUX NON EN PRISE A LA MER
(Circulaire du 2 juin 1902).

Article Premier.

Définition du produit. — Le ciment Portland sera produit par la mouture d'un mélange intime de carbonate de chaux, silice, alumine et fer cuit jusqu'à ramollissement.

Article 2.

Provenance et contrôle à l'usine. — Le ciment proviendra directement et exclusivement d (1).

(1) S'il s'agit d'un marché de fourniture : de l'usine du soumissionnaire.

S'il s'agit d'un marché de travaux comprenant la fourniture et l'emploi et si l'importance de la fourniture ou la nature du travail à exécuter exige que l'on précise l'origine du ciment : de l'une des usines ci-après..... ou d'autres fournissant couramment des produits d'une qualité que les ingénieurs reconnaissent au moins égale.

S'il s'agit d'un marché de travaux comprenant la fourniture et l'emploi sans qu'il y ait lieu de préciser l'origine du ciment : de l'usine choisie par l'entrepreneur et agréée par l'ingénieur.

L'Administration se réserve le droit d'exercer son contrôle à l'usine tant sur la fabrication que sur la conservation et l'expédition du ciment qui sera fourni en exécution du présent marché.

Elle pourra y installer des agents spéciaux en permanence.

Article 3.

Mode de livraison. — Le ciment sera livré (en sacs ou en barils).

Article 4.

Composition chimique. — Le ciment ne devra pas contenir plus de 3 % d'acide sulfurique ni plus de 5 % de magnésie, ni plus de 10 % d'alumine, ni des sulfures en proportions dosables.

Article 5.

Finesse de mouture. — Le ciment devra laisser au plus 30 % de son poids sur le tamis de 4900 mailles par centimètre carré et 10 % sur le tamis de 900 mailles.

Article 6.

Densité apparente. — Le poids du litre de ciment sera de 1 100 grammes au moins.

Article 7.

Durée de prise. — Le ciment immergé dans de l'eau potable ne devra pas commencer à faire prise avant un délai de vingt minutes.

La prise devra être complètement terminée dans un délai qui ne sera pas inférieur à deux heures ni supérieur à douze heures.

Article 8.

Résistance à la traction du ciment pur. — Les éprouvettes de ciment pur, immergées dans de l'eau potable au bout de vingt-quatre heures, devront présenter une résistance à la traction par centimètre carré qui sera au moins de

25 kilogrammes	au bout de	7 jours	
35	''	''	28 (1)

La résistance devra augmenter d'ailleurs au moins de 3 kilogrammes du septième au vingt-huitième jour.

Article 9.

Résistance à la traction du mortier de ciment. — Les éprouvettes de mortier, immergées dans de l'eau potable au bout de vingt-quatre heures, devront présenter une résistance à la traction par centimètre carré qui sera au moins de

8 kilogrammes	au bout de	7 jours,	
15	''	''	28 (2)

(1) Les chiffres ci-dessus sont des minima. Les ingénieurs pourront les augmenter après s'être assurés que les usines sont en mesure d'obtenir ceux qu'ils indiqueront.

(2) Même observation.

La résistance devra augmenter d'ailleurs au moins de 2 kilogrammes du septième au vingthuitième jour.

Article 10.

Déformations à chaud. — Les éprouvettes seront conservées dans une atmosphère humide pendant vingt-quatre heures. La température de l'essai sera de 100° et sera maintenue pendant trois heures. L'augmentation de l'écartement des pointes des aiguilles ne pourra dépasser 10 millimètres.

CAHIER DES CHARGES, TYPE N° 4

POUR LES FOURNITURES DE CIMENTS

DE GRAPPIERS

(Circulaire du 2 juin 1902)

Article Premier

Définition du produit. — Le ciment de grappiers sera produit par la mouture des grappiers formant le résidu de la fabrication des chaux bien cuites, séparés de ces dernières par des extinctions et des blutages successifs.

Article 2.

Provenance et contrôle à l'usine. — Le ciment proviendra directement et exclusivement d
(¹).

(1) S'il s'agit d'un marché de fourniture : de l'usine du soumissionnaire.

S'il s'agit d'un marché de travaux comprenant la fourniture et l'emploi et si l'importance de la fourniture ou la nature du travail à exécuter exige que l'on précise l'origine du ciment : de l'une des usines ci-après...

S'il s'agit d'un marché de travaux comprenant la fourniture et l'emploi sans qu'il y ait lieu de préciser l'origine du ciment : de l'usine choisie par l'entrepreneur et agréée par l'Ingénieur.

L'Administration se réserve le droit d'exercer son contrôle à l'usine tant sur la fabrication que sur la conservation et l'expédition du ciment qui sera fourni en exécution du présent marché.

Elle pourra y installer des agents spéciaux en permanence.

Article 3.

Mode de livraison. — Le ciment sera livré (en sacs ou en barils).

Article 4.

Le ciment ne devra pas contenir plus de 1,5 % d'acide sulfurique, ni plus de 5 % de magnésie, ni moins de 22 % de silice combinée. Si le ciment est destiné à des travaux en prise à la mer, on stipulera, en outre, qu'il ne devra pas contenir plus de 3 % d'alumine.

Ces chiffres ne seront pas obligatoires pour les ciments qui auront subi avec succès, les essais effectués par la Commission des chaux et ciments sur la demande des fabricants désireux de présenter leurs produits aux adjudications de travaux publics.

Article 5.

Finesse de mouture. — Le ciment devra laisser au plus 30 % de son poids sur le tamis de 4900 mailles par centimètre carré et 10 % sur le tamis de 900.

Article 6.

Durée de prise. — Le ciment immergé dans de l'eau potable devra avoir commencé à faire prise dans un délai de cinq heures et avoir fait complètement prise dans un délai de quatorze heures.

Article 7.

Résistance à la traction du mortier de ciment. — Les éprouvettes de mortier, immergées dans l'eau potable au bout de vingt-quatre heures, devront présenter une résistance à la traction par centimètre carré qui sera au moins de

8 kilogrammes au bout de	7 jours,
12 " "	28

Si le ciment est destiné à des travaux en prise à la mer les résistances exigées à sept et à vingt-huit jours seront portées respectivement à 10 et à 15 kilogrammes. La résistance devra d'ailleurs augmenter du septième au vingt-huitième jour.

Article 8.

Déformations à froid et à chaud. — Les gallettes et éprouvettes seront conservées dans une atmosphère humide pendant vingt-quatre heures.

(1) Les chiffres ci-dessus sont des minima. Les ingénieurs pourront les augmenter après s'être assurés que les usines sont en mesure d'obtenir ceux qu'ils indiqueront.

Ensuite, on immergera les galettes dans l'eau de mer pour les travaux en prise à la mer. La température de l'essai de déformation à chaud des éprouvettes sera de 100° et sera maintenue pendant trois heures. L'augmentation de l'écartement des pointes des aiguilles ne devra pas dépasser 5 millimètres pour les travaux à la mer et 10 millimètres pour les autres travaux.

BIBLIOGRAPHIE

- VIGAT. — *Recherches expérimentales sur les chaux de construction, le béton et les mortiers ordinaires.* Paris, Dunod, 1818.
- *Résumé des connaissances positives actuelles sur les qualités, le choix et la convenance réciproques des matériaux propres à la fabrication des mortiers et ciments calcaires.* Paris, Dunod, 1818.
- *Recherches sur les causes chimiques de la destruction des composés hydrauliques par l'eau de mer et sur les moyens d'apprécier leur résistance à cette action.* Paris, Dunod, 1857 et 1858.
- CHATONEY et RIVOT. — *Considérations générales sur les matériaux employés dans les constructions à la mer.* An. M., 1856.
- BONNAMI. — *Fabrication et contrôle des chaux hydrauliques et des ciments.* Paris, Gauthier-Villars, 1888.
- DUQUESNAY. — *Encyclopédie chimique,* 1883.
- ALEXANDRE. — *Étude sur la résistance des mortiers de ciment.* An. P. et C., 1888.
- A. GOBIN. — *Étude sur la fabrication des chaux hydrauliques dans le bassin du Rhône.* An. P. et C., 1887.
- CAMERMAN. — *Les ciments Portland et les ciments de laitier.* Gand, 1892.
- R. FERET. — *Note sur diverses expériences concernant les ciments.* An. P. et C., 1890.
- A. ARLORIO. — *Cementi Italiani.* V. Hoepli, Milan, 1893.
- LE CHATELIER (H.). — *Recherches expérimentales sur la constitution des mortiers hydrauliques.* Paris, Dunod, 1887.

- A. MAHIELS. — *Le béton et son emploi*. Paris, Baudry, 1893.
- GRANGE. — *Chaux et sels de chaux*. Paris, Baudry, 1894.
- C. SCHOCH. — *Die modern Aufbereitung und wertung der mortel materialen*. Berlin, 1896.
- DURAND-CLAYE, DEROME et FERET. — *Chimie appliquée à l'art de l'Ingénieur*. Paris, Baudry, 1887.
- E. CANDLOT. — *Ciments et chaux hydrauliques*. Paris, Baudry, 1898.
- E. LEDUC. — *Chaux et ciments*. Paris, J. Baillièrre et fils, 1902.
- C. NASKE. — *Die Portland cement Fabrikation*. Leipzig, Thomas, 1902.
- E. CANDLOT. — *L'Industrie du ciment Portland*. Société d'Encouragement, novembre 1902.
-

TABLE DES MATIÈRES

—

PREMIÈRE PARTIE

CHAUX HYDRAULIQUE

	Pages
Historique	5
Propriétés chimiques	6
Indice d'hydraulicité	8
Fabrication. Extraction	9
Cuisson	12
Extinction	19
Grappiers	22
Blutage	24
Chaux lourde	27
Chaux hydraulique artificielle	28
Principales usines	29

DEUXIÈME PARTIE

CIMENTS

CHAPITRE PREMIER

Ciments naturels

I. Ciments prompts	30
Ciments romains	31
Propriétés chimiques	31
Fabrication	32
II. Ciments lents et demi-lents	34
Principales usines.	35

CHAPITRE II

Ciments artificiels

	Pages
I. Ciment Portland	37
Propriétés chimiques	38
Fabrication, matières premières.	48
Cuisson	56
Four rotatif	71
Mouture	78
Principales usines, statistique	89
II. Ciment de laitier	91

TROISIÈME PARTIE

MORTIERS

Généralités sur l'emploi des mortiers

Choix des matériaux	95
Dosage.	100
Béton	103
Rendement des mortiers	105

QUATRIÈME PARTIE

ESSAIS DES CIMENTS, DES CHAUX ET DES SABLES

CHAPITRE PREMIER

Essais des ciments

Finesse de mouture.	113
Poids spécifique	114
Densité apparente	116
Essais d'homogénéité	118
Confection des pâtes et mortiers normaux.	119

	Pages
Essais de prise	124
// rupture par traction	126
// rupture par compression	132
// déformation	134
// rendement	136
// porosité	137
// perméabilité	140
// décomposition par l'eau de mer	142
Essais d'adhérence	144

CHAPITRE II

Essais des chaux hydrauliques

Finesse de blutage	148
Poids spécifique	148
Densité apparente	148
Essais d'homogénéité	149
Confection des pâtes et mortiers normaux.	149
Essais de prise	150
// rupture	150
// déformation	151
// rendement, de porosité et de perméabilité	151
Essais de décomposition par l'eau de mer.	151
// d'adhérence	152

CHAPITRE III

Essais des sables

Composition granulométrique, forme des grains	153
Densité	154
Nature minéralogique	155
Essais des sables mis en œuvre.	155

ANNEXES

	Pages
ARRÊTÉ MINISTÉRIEL DU 2 JUIN 1902 CONCERNANT LES FOURNITURES DE CEMENTS ET DE CHAUX HY- DRAULIQUES	157
CAHIER DES CHARGES TYPE N° 1 POUR LES FOURNI- TURES DE CEMENTS PORTLAND DESTINÉES A DES TRAVAUX EN PRISE A LA MER	169
CAHIER DES CHARGES TYPE N° 2 POUR LA FOURNI- TURE DE CHAUX HYDRAULIQUE DESTINÉE A DES TRAVAUX EN PRISE A LA MER	173
CAHIER DES CHARGES TYPE N° 3 POUR LES FOURNI- TURES DE CEMENTS PORTLAND DESTINÉES A DES TRAVAUX NON EN PRISE A LA MER.	177
CAHIER DES CHARGES TYPE N° 4 POUR LES FOURNI- TURES DE CEMENTS DE GRAPPIERS	181
BIBLIOGRAPHIE	185

SAINT-AMAND (CHER). — IMPRIMERIE BUSSIÈRE

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS
55, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, A PARIS (6^e).

Envoi franco contre mandat-poste ou valeur sur Paris.

TRAITÉ DE MÉCANIQUE RATIONNELLE

Par Paul **APELL**,

Membre de l'Institut.

- TOME I. — *Statique. Dynamique du point*, avec 178 figures; 2^e édition entièrement refondue: 1902..... 18 fr.
TOME II. — *Dynamique des systèmes. Mécanique analytique*, avec figures. 2^e édition; 1903..... (Sous presse.)
TOME III. — *Equilibre et mouvement des milieux continus*, avec 70 figures; 1903..... 17 fr.

LEÇONS

DE

MÉCANIQUE ÉLÉMENTAIRE

A L'USAGE DES ÉLÈVES DES CLASSES DE PREMIÈRE
(LATIN-SCIENCES OU SCIENCES-LANGUES VIVANTES)
Conformément aux programmes du 31 mai 1902.

PAR

P. APELL,
Membre de l'Institut,
Professeur à la Faculté des Sciences.

J. CHAPPUIS,
Docteur ès Sciences,
Professeur à l'École Centrale.

Volume in-18 jésus avec figures; 1902..... 2 fr. 75 c.

COURS DE MÉCANIQUE

A L'USAGE DES CANDIDATS

A L'ÉCOLE CENTRALE DES ARTS ET MANUFACTURES,

Par **P. APELL**,

Membre de l'Institut, Professeur à l'École Centrale,
Professeur à la Faculté des Sciences de Paris.

Un volume in-8 de 272 pages, avec 143 figures; 1902.. 7 fr. 50 c.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

LECONS SUR L'ÉLECTRICITÉ

PROFESSÉES A L'INSTITUT ÉLECTROTECHNIQUE MONTEFIORE
annexé à l'Université de Liège,

Par **Eric GERARD**,
Directeur de cet Institut.

6^e ÉDITION, DEUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT.

TOME I : *Théorie de l'Électricité et du Magnétisme. Électrométrie. Théorie et construction des générateurs et des transformateurs électriques*; avec 388 figures; 1900..... 12 fr.

TOME II : *Canalisation et distribution de l'énergie électrique. Applications de l'Électricité à la téléphonie, à la télégraphie, à la production et à la transmission de la puissance motrice, à la traction, à l'éclairage, à la métallurgie et à la chimie industrielle*; avec 387 figures; 1900..... 12 fr.

TRACTION ÉLECTRIQUE,

Par **Eric GERARD**.

(Extrait des *Leçons sur l'Électricité* du même Auteur.)

Volume grand in-8 de vi-136 pages, avec 92 figures; 1900..... 3 fr. 50 c.

MESURES ÉLECTRIQUES,

Par **Eric GERARD**.

2^e édition, gr. in-8 de 532 p., avec 217 fig.; 1901. Cartonné toile anglaise.... 12 fr.

LE FROMENT ET SA MOUTURE

TRAITÉ DE MEUNERIE D'APRÈS UN MANUSCRIT INACHEVÉ

De **Aimé GIRARD**,

Membre de l'Institut,

Professeur au Conservatoire des Arts et Métiers et à l'Institut national agronomique,

Par **L. LYNET**,

Docteur ès Sciences, Professeur à l'Institut national agronomique.

Un beau volume grand in-8, avec 85 figures et 3 planches; 1903..... 12 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

COURS D'ANALYSE

PROFESSÉ A L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

Par G. HUMBERT,

Membre de l'Institut, Professeur à l'École Polytechnique.

TOME I : *Calcul différentiel. Principes du calcul intégral. Applications géométriques.* Avec 111 figures; 1903. 16 fr.
TOME II. (Sous presse.)

COURS D'ANALYSE INFINITÉSIMALE

Par Ch.-J. de la VALLÉE-POUSSIN,

Professeur à l'Université de Louvain.

Un volume grand in-8 de xiv-372 pages; 1903. 12 fr.

LEÇONS

SUR LA THÉORIE DES FONCTIONS

Par Émile BOREL,

Maître de Conférences à l'École Normale supérieure.

Exposé de la théorie des ensembles et applications; 1898. 3 fr. 50 c.
Leçons sur les fonctions entières; 1900. 3 fr. 50 c.
Leçons sur les séries divergentes; 1901. 4 fr. 50 c.
Leçons sur les séries à termes positifs; 1902. 3 fr. 50 c.
Leçons sur les fonctions méromorphes; 1903. 3 fr. 50 c.
Leçons sur les séries de polynomes. (Sous presse.)

COURS D'ANALYSE MATHÉMATIQUE

Par E. GOURSAT,

Professeur à la Faculté des Sciences de Paris.

TOME I : *Dérivées et différentielles. Intégrales définies. Développements en séries. Applications géométriques.* Grand in-8; 1902. 20 fr.
TOME II. (Sous presse.)

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

ÉLÉMENTS DE LA THÉORIE
DES
FONCTIONS ELLIPTIQUES

PAR
Jules TANNERY et Jules MOLK.

TOME I : Introduction. Calcul différentiel (I ^e Partie); 1893.....	7 fr. 50 c.
TOME II : Calcul différentiel (II ^e Partie); 1896.....	9 fr. »
TOME III : Calcul intégral (I ^e Partie); 1898.....	8 fr. 50 c.
TOME IV : Calcul intégral (II ^e Partie) et Applications; 1902.....	9 fr. »

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE
DE
GÉOMÉTRIE A QUATRE DIMENSIONS
INTRODUCTION A LA GÉOMÉTRIE A n DIMENSIONS

Par E. JOUFFRET,

Lieutenant-Colonel d'Artillerie en retraite,
Membre de la Société mathématique de France.

GRAND IN-8 DE XXIX-213 P., AVEC 65 FIGURES; 1903. 7 FR. 50 C.

NOTIONS FONDAMENTALES

DE

CHIMIE ORGANIQUE,

Par Ch. MOUREU,

Professeur agrégé à l'École supérieure de Pharmacie de l'Université de Paris.

UN VOLUME IN-8 DE VI-292 PAGES; 1902.

BROCHÉ 7 FR. 50 C. | CARTONNÉ 8 FR. 50 C.

TRAITÉ DE CHIMIE PHYSIQUE
LES PRINCIPES

Par Jean PERRIN,

Chargé du Cours de Chimie physique à la Faculté des Sciences de Paris.

VOLUME GRAND IN-8 DE XXVI-300 P., AVEC 38 FIG., 1903. 10 FR.

RELIÉ (cuir souple)..... 13 FR.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

RECHERCHES
SUR
L'HYDRODYNAMIQUE

Par Pierre DUHEM,

Correspondant de l'Institut de France,

Professeur de Physique théorique à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

PREMIÈRE SÉRIE. *Principes fondamentaux de l'Hydrodynamique. Propagation des discontinuités, des ondes et des quasi-ondes.* In-4; 1903. 10 fr.

DEUXIÈME SÉRIE *Des conditions aux limites*..... (Sous presse.)

INSTRUCTIONS MÉTÉOROLOGIQUES

Par Alfred ANGOT,

Météorologiste titulaire au Bureau central Météorologique,

Professeur à l'Institut national agronomique

QUATRIÈME ÉDITION, ENTIÈREMENT REFOUNDUE.

GRAND IN-8 DE VI-163 PAGES, AVEC 29 FIGURES ET PLANCHES; SUIVI DE
TABLES POUR LA RÉDUCTION DES OBSERVATIONS; 1903. 4 FR. 50 C.

ABRÉGÉ

DES

INSTRUCTIONS MÉTÉOROLOGIQUES

Par Alfred ANGOT,

Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique,

Professeur à l'Institut national agronomique.

Brochure in-8 de VIII-44 pages avec figures; 1902.... 1 fr. 50 c.

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE

DE

MÉTÉOROLOGIE

Par Alfred ANGOT,

Météorologiste titulaire au Bureau Central météorologique,
Professeur à l'Institut national agronomique et à l'École supérieure
de Marine.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC 103 FIG. ET 4 PL.; 1899: 12 FR.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

DE L'EXPÉRIENCE EN GÉOMÉTRIE

Par C. de FREYCINET,
de l'Institut.

VOLUME IN-8 DE XX-175 PAGES; 1903. 4 FR.

TECHNOLOGIE MÉCANIQUE. MÉTALLURGIQUE

Par A. LEDEBUR,

Professeur à l'Académie des Mines de Freiberg (Saxe).

TRADUIT SUR LA 2^e ÉDITION ALLEMANDE,

Par G. HUMBERT, Ingénieur des Ponts et Chaussées

Avec un *Appendice* sur la Sécurité des ouvriers dans le travail par J. JOLY.

GRAND IN-8 DE VI-740 PAGES, AVEC 729 FIGURES; 1903. 25 FR.

LEÇONS SUR LA THÉORIE DES FORMES.

ET LA GÉOMÉTRIE ANALYTIQUE SUPÉRIEURE.

à l'usage des Étudiants des Facultés des Sciences,

Par H. ANDOYER,

Maitre de Conférences à l'École Normale supérieure.

DEUX BEAUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

TOME I : Volume de vi-508 pages; 1900..... 15 fr.

TOME II..... (*En préparation.*)

COURS D'ÉLECTRICITÉ

Par H. PELLAT,

Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris.

3 volumes grand in-8, se vendant séparément :

TOME I : *Électrostatique. Loi d'Ohm. Thermo-électricité*, avec 145 figures;
1901..... 10 fr.

TOME II : (*Sous presse.*) — TOME III : (*En préparation.*)

ESSAI SUR LES

FONDEMENTS DE LA GÉOMÉTRIE

Par B.-A.-W. RUSSELL,

Traduction par C. CADENAT, revue et annotée par l'Auteur
et par Louis COUTURAT.

Grand in-8, avec 11 figures; 1901..... 9 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

L'ALUMINIUM

SES PROPRIÉTÉS, SES APPLICATIONS.

HISTORIQUE. MINÉRAIS. FABRICATION. PROPRIÉTÉS.
APPLICATIONS GÉNÉRALES.

Par **P. MOISSONNIER**,

Pharmacien principal de l'Armée,

Chef des Laboratoires de l'Usine de Billancourt et du service de l'Intendance
du Gouvernement militaire de Paris,

Ex-secrétaire de la Commission de l'Aluminium au Ministère de la Guerre.

VOLUME GRAND IN-8 DE XX-220 PAGES, AVEC 21 FIGURES ET UN TITRE
TIRÉ SUR ALUMINIUM; 1903. 7 FR. 50 C.

L'ACÉTYLÈNE

THÉORIE, APPLICATIONS

Par **Marie-Auguste MOREL**,

Ingénieur, Ancien Élève de l'École des Ponts et Chaussées.

Directeur des Usines à ciment de Lumbrès.

GRAND IN-8 DE XII-172 PAGES AVEC 7 FIGURES; 1903. . . . 5 FR.

INDUSTRIES CHIMIQUES ET PHARMACEUTIQUES

Par **Albin HALLER**,

Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences de Paris,

Rapporteur du Jury de la classe 87 à l'Exposition universelle de 1900.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8, AVEC 108 FIG.; 1902; ENSEMBLE. 20 FR.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

COURS DE PHYSIQUE

DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

Par J. JAMIN et E. BOUTY.

Quatre tomes in-8, de plus de 4000 pages, avec 1587 figures et 14 planches; 1885-1891. (OUVRAGE COMPLET)..... 72 fr.

TOME I. — 9 fr.

- 1^{re} fascicule. — *Instruments de mesure. Hydrostatique*; avec 150 figures et 1 planche..... 5 fr.
2^e fascicule. — *Physique moléculaire*; avec 93 figures..... 4 fr.

TOME II. — CHALEUR. — 15 fr.

- 1^{re} fascicule. — *Thermométrie, Dilatations*; avec 98 figures. 5 fr.
2^e fascicule. — *Calorimétrie*; avec 48 fig. et 2 planches..... 5 fr.
3^e fascicule. — *Thermodynamique. Propagation de la chaleur*; avec 47 figures..... 5 fr.

TOME III. — ACOUSTIQUE; OPTIQUE. — 22 fr.

- 1^{re} fascicule. — *Acoustique*; avec 123 figures..... 4 fr.
2^e fascicule. — *Optique géométrique*; 139 fig. et 3 planches. 4 fr.
3^e fascicule. — *Etude des radiations lumineuses, chimiques et calorifiques; Optique physique*; avec 249 fig. et 5 planches, dont 2 planches de spectres en couleur..... 14 fr.

TOME IV (1^{re} Partie). — ÉLECTRICITÉ STATIQUE ET DYNAMIQUE. — 13 fr.

- 1^{re} fascicule. — *Gravitation universelle. Électricité statique*; avec 155 figures et 1 planche..... 7 fr.
2^e fascicule. — *La pile. Phénomènes électrothermiques et électrochimiques*; avec 161 figures et 1 planche..... 6 fr.

TOME IV (2^e Partie). — MAGNÉTISME; APPLICATIONS. — 13 fr.

- 3^e fascicule. — *Les aimants. Magnétisme. Électromagnétisme. Induction*; avec 240 figures..... 8 fr.
4^e fascicule. — *Météorologie électrique; applications de l'électricité. Théories générales*; avec 84 figures et 1 planche..... 5 fr.

TABLES GÉNÉRALES des quatre volumes. In-8; 1891..... 60 c.

Des suppléments destinés à exposer les progrès accomplis viennent compléter ce grand Traité et le maintenir au courant des derniers travaux.

- 1^{er} SUPPLÉMENT. — *Chaleur. Acoustique. Optique*, par E. BOUTY, Professeur à la Faculté des Sciences. In-8, avec 41 fig.; 1896. 3 fr. 50 c.
2^e SUPPLÉMENT. — *Électricité. Ondes hertziennes. Rayons X*; par E. BOUTY. In-8, avec 48 figures et 2 planches; 1899. 3 fr. 50 c.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

ENCYCLOPÉDIE DES TRAVAUX PUBLICS

ET ENCYCLOPÉDIE INDUSTRIELLE.

TRAITÉ DES MACHINES A VAPEUR

CONFORME AU PROGRAMME DU COURS DE L'ÉCOLE CENTRALE (E. I.)

Par **ALHEILIG** et **C. ROCHE**, Ingénieurs de la Marine.

TOME I (412 fig.); 1895 20 fr. | TOME II (281 fig.); 1895..... 18 fr.

CHEMINS DE FER

MATÉRIEL ROULANT. RÉSISTANCE DES TRAINS. TRACTION.

PAR

E. DEHARME,

A. PULIN,

Ing^r principal à la Compagnie du Midi.

Ing^r Insp^r p^{al} aux chemins de fer du Nord.

Un volume grand in-8, xxii-441 pages, 95 figures, 1 planche; 1895 (E. I.). 15 fr.

CHEMINS DE FER.

ÉTUDE DE LA LOCOMOTIVE. — LA CHAUDIÈRE.

PAR

E. DEHARME.

A. PULIN.

Un volume grand in-8 de vi-608 p. avec 131 fig. et 2 pl.; 1900 (E. I.). 15 fr.

CHEMINS DE FER D'INTÉRÊT LOCAL

TRAMWAYS

Par **Pierre GUÉDON**, Ingénieur.

Un beau volume grand in-8, de 393 pages et 141 figures (E. I.); 1901..... 11 fr.

LA BETTERAVE AGRICOLE ET INDUSTRIELLE

Par **L. GESCHWIND** et **E. SELLIER**, Chimistes.

Grand in-8 de iv-608 pages avec 130 figures; 1902 (E. I.)..... 20 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

INDUSTRIES DU SULFATE D'ALUMINIUM, DES ALUNS ET DES SULFATES DE FER,

Par Lucien GESCHWIND, Ingénieur-Chimiste.

Un volume grand in-8, de viii-364 pages, avec 195 figures; 1899 (E. I.). 10 fr

COURS DE CHEMINS DE FER

PROFESSÉ A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES,

Par C. BRICKA,

Ingénieur en chef de la voie et des bâtiments aux Chemins de fer de l'État.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8; 1894 (E. T. P.)

TOME I : avec 326 fig.; 1894.. 20 fr. | TOME II : avec 177 fig.; 1894.. 20 fr.

COUVERTURE DES ÉDIFICES

ARDOISES, TUILES, MÉTAUX, MATIÈRES DIVERSES,

Par J. DENFER,

Architecte, Professeur à l'École Centrale.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC 429 FIG.; 1893 (E. T. P.).. 20 FR.

CHARPENTERIE MÉTALLIQUE

MENUISERIE EN FER ET SERRURERIE,

Par J. DENFER,

Architecte, Professeur à l'École Centrale.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8; 1894 (E. T. P.).

TOME I : avec 479 fig.; 1894.. 20 fr. | TOME II : avec 571 fig.; 1894.. 20 fr.

ÉLÉMENTS ET ORGANES DES MACHINES

Par Al. GOUILLY,

Ingénieur des Arts et Manufactures.

GRAND IN-8 DE 406 PAGES, AVEC 710 FIG.; 1894 (E. I.).... 12 FR

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

MÉTALLURGIE GÉNÉRALE

PROCÉDÉS DE CHAUFFAGE

Par U. LE VERRIER,

Ingénieur en chef des Mines, Professeur au Conservatoire des Arts et Métiers.

Grand in-8, de 367 pages, avec 171 figures; 1902 (E. I.) 12 fr.

VERRE ET VERRERIE

Par Léon APPERT et Jules HENRIVAUX, Ingénieurs.

Grand in-8 avec 130 figures et 1 atlas de 14 planches; 1894 (E. I.)..... 20 fr.

BLANCHIMENT ET APPRÊTS

TEINTURE ET IMPRESSION

Ch.-Er. GUIGNET,

Directeur des teintures aux Manufac-
tures nationales
des Gobelins et de Beauvais,

PAR

F. DOMMER,

Professeur à l'École de Physique
et de Chimie industrielles
de la Ville de Paris,

E. GRANDMOUGIN,

Chimiste, ancien Préparateur à l'École de Chimie de Mulhouse.

GR. IN-8, AVEC 368 FIG., ET ÉCH. DE TISSUS IMPRIMÉS; 1895 (E. I.). 30 FR.

RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

Par Aug. FÖPPL, Professeur à l'Université technique de Munich.

TRADUIT DE L'ALLEMAND PAR E. HAIN, Ing. de l'École Polytechnique de Zurich.

GRAND IN-8, DE 489 PAGES, AVEC 74 FIG.: 1901 (E. I.)... 15 FR.

CONSTRUCTION PRATIQUE des NAVIRES de GUERRE

Par A. CRONEAU,

Professeur à l'École d'application du Génie maritime.

TOME I : avec 305 fig. et un Atlas de 11 pl. in-4°; 1894..... 18 fr.

TOME II : avec 359 fig.; 1894..... 15 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

**PONTS SOUS RAILS ET PONTS-ROUTES A TRAVÉES
MÉTALLIQUES INDÉPENDANTES.**

FORMULES, BARÈMES ET TABLEAUX

Par Ernest HENRY,

Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC 267 FIG.; 1894 (E. T. P.). 20 FR.

Calculs rapides pour l'établissement des projets de ponts métalliques et pour le contrôle de ces projets, sans emploi des méthodes analytiques ni de la statique graphique (économie de temps et certitude de ne pas commettre d'erreurs).

CHEMINS DE FER.

EXPLOITATION TECHNIQUE

PAR MM.

SCHÖLLER,

Chef adjoint des Services commerciaux
à la Compagnie du Nord.

FLEURQUIN,

Inspecteur des Services commerciaux
à la même Compagnie.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC FIGURES: 4901 (E. I.)..... 12 FR.

TRAITÉ DES INDUSTRIES CÉRAMIQUES

TERRES CUITES.

PRODUITS RÉFRACTAIRES. FAÏENCES. GRÈS. PORCELAINES.

Par E. BOURRY,

Ingénieur des Arts et Manufactures.

GRAND IN-8, DE 755 PAGES, AVEC 349 FIG.; 1897 (E. I.). 20 FR.

RÉSUMÉ DU COURS

DE

MACHINES A VAPEUR ET LOCOMOTIVES

PROFESSÉ A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES,

Par J. HIRSCH,

Inspecteur général honoraire des Ponts et Chaussées,
Professeur au Conservatoire des Arts et Métiers.

2^e édition. Gr. in-8 de 510 p. avec 314 fig.; 1898 (E. T. P.). 18 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

LE VIN ET L'EAU-DE-VIE DE VIN

Par Henri DE LAPPARENT,
Inspecteur général de l'Agriculture.

INFLUENCE DES CÉPAGES, CLIMATS, SOLS, ETC., SUR LE VIN, VINIFICATION,
CUVERIE, CHAIS, VIN APRÈS LE DÉCUVAGE. ÉCONOMIE, LÉGISLATION.

GR. IN-8 DE XII-533 P., AVEC 111 FIG. ET 28 CARTES; 1895 (E. I.) 12 FR.

TRAITÉ DE CHIMIE ORGANIQUE APPLIQUÉE

Par A. JOANNIS, Prof^r à la Faculté de Bordeaux,

TOME I: 688 p., avec fig.; 1896. 20 fr. | TOME II: 718 p., avec fig. 1896. 15 fr.

MANUEL DE DROIT ADMINISTRATIF

Par G. LECHALAS, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

TOME I; 1889; 20 fr. — TOME II: 1^{re} partie; 1893; 10 fr. 2^e partie; 1898; 10 fr.

MACHINES FRIGORIFIQUES

PRODUCTION ET APPLICATIONS DU FROID ARTIFICIEL,

Par H. LORENZ, Professeur à l'Université de Halle.

TRADUIT DE L'ALLEMAND PAR **P. PETIT,** et **J. JAQUET.**

Grand in-8 de IX-186 pages, avec 131 figures; 1898 (E. I.)... 7 fr.

COURS DE CHEMINS DE FER

(ÉCOLE SUPÉRIEURE DES MINES),

Par E. VICAIRE, Inspecteur général des Mines,
rédigé et terminé par **F. MAISON,** Ingénieur des Mines.

Gr. in-8 de 581 pages avec nombreuses fig.; 1903 (E. I.)... 20 fr.

COURS DE GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE

ET DE GÉOMÉTRIE INFINITÉSIMALE,

Par Maurice D'OCAGNE,

Ing^r et Prof^r à l'École des Ponts et Chaussées, Répétiteur à l'École Polytechnique.

GR. IN-8, DE XI-428 P., AVEC 340 FIG.; 1896 (E. T. P.)... 12 FR.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

ASSOCIATIONS OUVRIÈRES ET PATRONALES

Par P. HUBERT-VALLEROUX, Docteur en Droit.

GRAND IN-8 DE 361 PAGES; 1899 (E. I.)..... 10 FR.

FOURS A GAZ A CHALEUR RÉGÉNÉRÉE

Par F. TOLDT, Ingén. Traduit par F. DOMMER, Ingén. des Arts et Manufactures.

Un volume grand in-8 de 392 pages, avec 68 figures; 1900 (E. I.). 11 fr.

ANALYSE INFINITÉSIMALE

A L'USAGE DES INGÉNIEURS (E.T.P.)

Par E. ROUCHÉ et L. LÉVY,

TOME I : *Calcul différentiel*. VIII-557 pages, avec 45 figures; 1900..... 15 fr.

TOME II : *Calcul intégral*. 829 pages, avec 50 figures; 1903..... 15 fr.

COURS D'ÉCONOMIE POLITIQUE

PROFESSÉ A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES (E.T.P.),

Par C. COLSON, Conseiller d'État.

TOME I : *Exposé général des Phénomènes économiques. Le travail et les questions ouvrières*. Volume de 600 pages; 1901..... 10 fr.

TOMES II et III..... (Sous presse.)

LA TANNERIE

Par L. MEUNIER et C. VANEY,

Professeurs à l'École française de Tannerie

et publié sous la direction de LÉO VIGNON,

Directeur de l'École française de Tannerie.

GRAND IN-8 DE 650 PAGES AVEC 98 FIGURES; 1903 (E. I.). 20 FR.

Envoi franco dans l'Union postale contre mandat-poste ou valeur sur Paris.

BIBLIOTHÈQUE PHOTOGRAPHIQUE

La Bibliothèque photographique se compose de plus de 200 volumes et embrassé l'ensemble de la Photographie considérée au point de vue de la Science, de l'Art et des applications pratiques.

DERNIERS OUVRAGES PARUS :

LES PHOTOTYPES SUR PAPIER AU GÉLATINOBROMURE,

Par F. QUÉNISSET.

In-18 jésus, avec figures et 1 planche spécimen; 1901..... 1 fr. 25 c.

LES AGRANDISSEMENTS,

Par G. GUILLON.

In-18 jésus, avec figures; 1901..... 2 fr. 75 c.

A B C DE LA PHOTOGRAPHIE MODERNE,

Par W.-K. BURTON.

5^e édition. Traduction sur la 12^e édition anglaise, par G. HUBERSON.

In-18 jésus, avec figures; 1901..... 3 fr.

LA PHOTOGRAPHIE AU CHARBON,

Par Paul DARBY.

Brochure in-18 de 36 pages..... 1 fr.

REPRODUCTION DES GRAVURES, DESSINS, PLANS, MANUSCRITS,

Par A. COURRÈGES, Praticien.

In-18 jésus, avec figures; 1900 2 fr.

LA PHOTOGRAPHIE. TRAITÉ THÉORIQUE ET PRATIQUE,

Par A. DAVANNE.

2 beaux volumes grand in-8, avec 234 fig. et 4 planches spécimens ... 32 fr.
Chaque volume se vend séparément..... 16 fr.

LES AGRANDISSEMENTS PHOTOGRAPHIQUES,

Par A. COURRÈGES, Praticien.

In-18 jésus, avec 12 figures; 1901..... 2 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS.

TRAITÉ ENCYCLOPÉDIQUE DE PHOTOGRAPHIE,

Par C. FABRE, Docteur ès Sciences.

4 beaux vol. grand in-8, avec 724 figures et 2 planches; 1889-1891... 48 fr.
Chaque volume se vend séparément 14 fr.

Des suppléments destinés à exposer les progrès accomplis viennent compléter ce Traité et le maintenir au courant des dernières découvertes.

1^{er} Supplément (A). Un beau vol. gr. in-8 de 400 p. avec 176 fig.; 1892. 14 fr.

2^e Supplément (B). Un beau vol. gr. in-8 de 424 p. avec 221 fig.; 1897. 14 fr.

3^e Supplément (C). Un beau vol. gr. in-8 de 400 pages; 1903..... 14 fr.

Les 7 volumes se vendent ensemble..... 84 fr.

LA PHOTOGRAPHIE SOUTERRAINE

Par E. MARTEL.

In-18 Jésus avec 16 planches; 1903..... 2 fr. 50 c.

COMMENT ON OBTIENT UN CLICHÉ PHOTOGRAPHIQUE,

Par Marcel MOLINIÉ.

Petit in-8 de 188 pages 2 fr.

MANUEL DU PHOTOGRAPHE AMATEUR,

Par F. PANAJOU,

Chef du Service photographique à la Faculté de Médecine
de Bordeaux.

3^e ÉDITION COMPLÈTEMENT REFOUNDUE ET CONSIDÉRABLEMENT AUGMENTÉE.

Petit in-8, avec 63 figures; 1899..... 2 fr. 75 c.

TRAITÉ PRATIQUE DES TIRAGES PHOTOGRAPHIQUES,

Par Ch. SOLLET.

Volume in-16 raisin de vi-240 pages; 1902..... 4 fr.

ESTHÉTIQUE DE LA PHOTOGRAPHIE.

Un volume de grand luxe in-4 raisin, avec 14 planches et 150 figures. 16 fr.

**TRAITÉ PRATIQUE
DE PHOTOGRAVURE EN RELIEF ET EN CREUX,**

Par Léon VIDAL.

In-18 Jésus de xiv-445 p. avec 65 figures et 6 planches; 1900..... 6 fr. 50 c.

TRAITÉ PRATIQUE DE PHOTOCHROMIE

Par Léon VIDAL.

In-18 Jésus avec 95 figures et 14 planches; 1903..... 7 fr. 50 c.

33570. — Paris, Imp. Gauthier-Villars, 55, quai des Grands-Augustins.

MASSON & C^{ie}, Éditeurs

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE
120, Boulevard Saint-Germain, Paris (6^e)

P. n^o 337.

COLLECTION LÉAUTÉ

EXTRAIT DU CATALOGUE (1)

(Juin 1903)

La Pratique *Dermatologique*

Traité de Dermatologie appliquée

Publié sous la direction de MM.

ERNEST BESNIER, L. BROCCQ, L. JACQUET

Par MM. AUDRY, BALZER, BARBE, BAROZZI, BARTHÉLEMY, BENARD, ERNEST BESNIER
BODIN, BRAULT, BROCCQ, DE BRUN, DU CASTEL, COURTOIS-SUFFIT
J. DARIER, DEHU, DOMINICI, W. DUBREUILH, HUDELO, L. JACQUET, JEANSELME
J.-B. LAFFITTE, LENGLET, LEREDDE, MERKLEN, PERRIN
RAYNAUD, RIST, SABOURAUD, MARCEL SÉE, GEORGES THIBIERGE, VEYRIÈRES

4 forts volumes richement cartonnés toile, très largement illustrés de figures en noir et de planches en couleurs. En souscription jusqu'à la publication du tome IV 150 fr.

TOME I. 1 fort vol. gr. in-8^o avec 230 fig. en noir et 24 pl. en coul. **36 fr.**

Anatomie et Physiologie de la Peau. — Pathologie générale de la Peau. — Symptomatologie générale des Dermatoses. — Acanthosis Nigricans à Ethyma.

TOME II. 1 fort vol. gr. in-8^o avec 168 fig. en noir et 21 pl. en coul. **40 fr.**
Eczéma à Langue.

TOME III. 1 fort vol. gr. in-8^o avec 201 fig. en noir et 19 pl. en coul. **40 fr.**
Lèpre à Pityriasis.

TOME IV. 1 fort volume grand in-8^o, avec nombreuses figures dans le texte et planches hors texte. Relié toile (*sous presse*).
Poils à Zona.

(1) La librairie envoie gratuitement et franco de port les catalogues suivants à toutes les personnes qui lui en font la demande : — Catalogue général. — Catalogues de l'Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire : I. Section de l'ingénieur II. Section du biologiste. — Catalogue des ouvrages d'enseignement.

Traité de Chirurgie

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE MM.

Simon DUPLAY

Professeur à la Faculté de médecine
Chirurgien de l'Hôtel-Dieu
Membre de l'Académie de médecine

Paul RECLUS

Professeur agrégé à la Faculté de médecine
Chirurgien des hôpitaux
Membre de l'Académie de médecine

PAR MM.

BERGER, BROCA, PIERRE DELBET, DELENS, DEMOULIN, J.-L. FAURE FORGUE, GÉRARD MARCHANT, HARTMANN, HEYDENREICH, JALAGUIER KIRMISSON, LAGRANGE, LEJARS, MICHAUX, NÉLATON, PEYROT PONCET, QUÉNU, RICARD, RIEFFEL, SEGOND, TUFFIER, WALTHER

Ouvrage complet

DEUXIÈME ÉDITION ENTIÈREMENT REFOUNDUE

8 vol. gr. in-8° avec nombreuses figures dans le texte. 150 fr.

TOME I. — 1 vol. grand in-8° de 912 pages avec 218 figures 18 fr.

RECLUS. — Inflammations, traumatismes, maladies virulentes.

BROCA. — Peau et tissu cellulaire sous-cutané.

QUÉNU. — Des tumeurs.

LEJARS. — Lymphatiques, muscles, synoviales tendineuses et bourses séreuses.

TOME II. — 1 vol. grand in-8° de 996 pages avec 361 figures 18 fr.

LEJARS. — Nerfs.

MICHAUX. — Artères.

QUÉNU. — Maladies des veines.

RICARD et DEMOULIN. — Lésions traumatiques des os.

PONCET. — Affections non traumatiques des os.

TOME III. — 1 vol. grand in-8° de 940 pages avec 285 figures 18 fr.

NÉLATON. — Traumatismes, entorses, luxations, plaies articulaires.

QUÉNU. — Arthropathies, arthrites sèches, corps étrangers articulaires.

LAGRANGE. — Arthrites infectieuses et inflammatoires.

GÉRARD MARCHANT. — Crâne.

KIRMISSON. — Rachis.

S. DUPLAY. — Oreilles et annexes.

TOME IV. — 1 vol. grand in-8° de 896 pages avec 354 figures 18 fr.

DELENS. — L'œil et ses annexes.

GERARD MARCHANT. — Nez, fosses

nasales, pharynx nasal et sinus.

HEYDENREICH. — Mâchoires.

TOME V. — 1 vol. grand in-8° de 948 pages avec 187 figures 20 fr.

BROCA. — Face et cou. Lèvres, cavité buccale, gencives, palais, langue, larynx, corps thyroïde.

HARTMANN. — Plancher buccal, glan-

des salivaires, œsophage et pharynx.

WALTHER. — Maladies du cou.

PEYROT. — Poitrine.

PIERRE DELBET. — Mamelle.

TOME VI. — 1 vol. grand in-8° de 1127 pages avec 218 figures 20 fr.

MICHAUX. — Parois de l'abdomen.

BERGER. — Hernies.

JALAGUIER. — Contusions et plaies de l'abdomen, lésions traumatiques et corps étrangers de l'estomac et de l'intestin. Occlusion intestinale, péritonites, appendicite.

HARTMANN. — Estomac.

FAURE et RIEFFEL. — Rectum et anus.

HARTMANN et GOSSET. — Anus contre nature. Fistules stercorales.

QUÉNU. — Mésentère. Rate. Pancréas.

SEGOND. — Foie.

TOME VII. — 1 fort vol. gr. in-8° de 1272 pages, 297 fig. dans le texte 25 fr.

WALTHER. — Bassin.

FORGUE. — Urètre et prostate.

RECLUS. — Organes génitaux de l'homme.

RIEFFEL. — Affections congénitales, de la région sacro-coccygienne.

TUFFIER. — Rein. Vessie. Urètres, Capsules surrénales.

TOME VIII. 1 fort vol. gr. in-8° de 971 pages, 163 fig. dans le texte 20 fr.

MICHAUX. — Vulve et vagin.

PIERRE DELBET. — Maladies de l'utérus.

SEGOND. — Annexes de l'utérus.

ovaires, trompes, ligaments larges, péritoine pelvien.

KIRMISSON. — Maladies des membres.

Traité d'Anatomie Humaine

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE

P. POIRIER

Professeur d'anatomie
à la Faculté de Médecine de Paris
Chirurgien des Hôpitaux.

A. CHARPY

Professeur d'anatomie
à la Faculté de Médecine
de Toulouse.

AVEC LA COLLABORATION DE MM.

O. Amoëdo — A. Branca — Cannieu — B. Cunéo — G. Delamare
Paul Delbet — P. Fredet — Glantenay — Gosset
P. Jacques — Th. Jonnesco — E. Laguesse — L. Manouvrier — A. Nicolas
P. Nobécourt — O. Pasteau — M. Picou
A. Prenant — H. Rieffel — Ch. Simon — A. Soulié

5 volumes grand in-8°. *En souscription* : 150 fr.

Chaque volume est illustré de nombreuses figures en noir et en couleurs

ÉTAT DE LA PUBLICATION (JUIN 1903)

TOME PREMIER (*Deuxième édition, entièrement refondue*). — **Embryologie.** Notions d'embryologie. — **Ostéologie.** Considérations générales, des membres, squelette du tronc, squelette de la tête. — **Arthrologie.** Développement des articulations, structure, articulations des membres, articulations du tronc, articulations de la tête. 1 vol. gr. in-8° avec 807 figures. 20 fr.

TOME II (*Deuxième édition, entièrement refondue*). — 1^{er} Fascicule : **Myologie.** Embryologie, histologie, peauciers et aponévroses. 1 vol. gr. in-8° avec 331 figures. 12 fr.

2^e Fascicule (*Deuxième édition, entièrement refondue*) : **Angéiologie.** Cœur et Artères. Histologie. 1 vol. gr. in-8° avec 150 figures. 8 fr.

3^e Fascicule (*Deuxième édition, revue*) : **Angéiologie** (*Capillaires, Veines*). 1 vol. gr. in-8° avec 75 figures. 6 fr.

4^e Fascicule : **Les Lymphatiques.** 1 vol. gr. in-8° avec 117 fig. 8 fr.

TOME III (*Deuxième édition, entièrement refondue*). — 1^{er} Fascicule : **Système nerveux.** Méninges, moelle, encéphale, embryologie, histologie. 1 vol. gr. in-8° avec 265 figures. 10 fr.

2^e Fascicule (*Deuxième édition, entièrement refondue*) : **Système nerveux.** Encéphale. 1 vol. grand in-8° avec 131 figures. . . . 10 fr.

3^e Fascicule : **Système nerveux.** Les nerfs, nerfs craniens, nerfs rachidiens. 1 vol. gr. in-8° avec 203 figures. 12 fr.

TOME IV. — 1^{er} Fascicule (*Deuxième édition, entièrement refondue*) : **Tube digestif.** Développement, bouche, pharynx, œsophage, estomac, intestins. 1 vol. gr. in-8°, avec 205 figures. 12 fr.

2^e Fascicule (*Deuxième édition, revue*) : **Appareil respiratoire.** Larynx, trachée, poumons, plèvre, thyroïde, thymus. 1 vol. gr. in-8°, avec 121 figures. 6 fr.

3^e Fascicule : **Annexes du tube digestif.** Dents, glandes salivaires, foie, voies biliaires; pancréas, rate, Péritoine. 1 vol. gr. in-8° avec 361 fig. en noir et en couleurs. 16 fr.

TOME V. — 1^{er} Fascicule : **Organes génito-urinaires.** Reins, urètre, vessie, urètre, prostate, verge, périnée, appareil génital de l'homme, appareil génital de la femme. 1 vol. gr. in-8° avec 431 figures. 20 fr.

2^e Fascicule : **Les Organes des Sens** (sous presse).

CHARCOT — BOUCHARD — BRISSAUD

BABINSKI, BALLEST, P. BLOCQ, BOIX, BRAULT, CHANTEMESSE, CHARRIN, CHAUFFARD, COURTOIS-SUFFIT, DUTIL, GILBERT, GUIGNARD, L. GUINON, G. GUINON, HALLION, LAMY, LE GENDRE, MARFAN, MARIE, MATHIEU, NETTER, CÉTINGER, ANDRÉ PETIT, RICHARDIÈRE, ROGER, RUAULT, SOUQUES, THIBIERGE, THOINOT, TOLLEMER, FERNAND WIDAL.

Traité de Médecine

DEUXIÈME ÉDITION

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE MM.

BOUCHARD

Professeur à la Faculté de médecine de Paris,
Membre de l'Institut.

BRISSAUD

Professeur à la Faculté de médecine de Paris,
Médecin de l'hôpital Saint-Antoine.

10 vol. gr. in-8°, av. fig. dans le texte. *En souscription.* 150 fr.

TOME I^{er}

1 vol. gr. in-8° de 845 pages, avec figures dans le texte. 16 fr.

Les Bactéries, par L. GUIGNARD, membre de l'Institut et de l'Académie de médecine, professeur à l'École de Pharmacie de Paris. — **Pathologie générale infectieuse**, par A. CHARRIN, professeur remplaçant au Collège de France, directeur du laboratoire de médecine expérimentale, médecin des hôpitaux. — **Troubles et maladies de la Nutrition**, par PAUL LE GENDRE, médecin de l'hôpital Tenon. — **Maladies infectieuses communes à l'homme et aux animaux**, par G.-H. ROGER, professeur agrégé, médecin de l'hôpital de la Porte-d'Aubervilliers.

TOME II

1 vol. grand in-8° de 894 pages avec figures dans le texte. 16 fr.

Fièvre typhoïde, par A. CHANTEMESSE, professeur à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux. — **Maladies infectieuses**, par F. WIDAL, professeur agrégé, médecin des hôpitaux de Paris. — **Typhus exanthématique**, par L.-H. THOINOT, professeur agrégé, médecin des hôpitaux de Paris. — **Fièvres éruptives**, par L. GUINON, médecin des hôpitaux de Paris. — **Erysipèle**, par E. BOIX, chef de laboratoire à la Faculté. — **Diphthérie**, par A. RUAULT. — **Rhumatisme**, par CÉTINGER, médecin des hôpitaux de Paris. — **Scorbut**, par TOLLEMER, ancien interne des hôpitaux.

TOME III

1 vol. grand in-8° de 702 pages avec figures dans le texte. 16 fr.

Maladies cutanées, par G. THIBIERGE, médecin de l'hôpital de la Pitié. — **Maladies vénériennes**, par G. THIBIERGE. — **Maladies du sang**, par A. GILBERT, professeur agrégé, médecin des hôpitaux de Paris. — **Intoxications**, par A. RICHARDIÈRE, médecin des hôpitaux de Paris.

TOME IV

1 vol. grand in-8° de 680 pages avec figures dans le texte. 16 fr.

Maladies de la bouche et du pharynx, par A. RUAULT. — **Maladies de l'estomac**, par A. MATHIEU, médecin de l'hôpital Andral. — **Maladies du pancréas**, par A. MATHIEU. — **Maladies de l'intestin**, par COURTOIS-SUFFIT, médecin des hôpitaux. — **Maladies du péritoine**, par COURTOIS-SUFFIT.

TOME V

1 vol. gr. in-8° avec fig. en noir et en coul. dans le texte. 18 fr.

Maladies du foie et des voies biliaires, par A. CHAUFFARD, professeur agrégé, médecin des hôpitaux. — **Maladies du rein et des capsules surrénales**, par A. BRAULT, médecin des hôpitaux. — **Pathologie des organes hématopoïétiques et des glandes vasculaires sanguines**, par G.-H. ROGER, professeur agrégé, médecin de l'hôpital de la Porte-d'Aubervilliers.

TOME VI

1 vol. grand in-8° de 612 pages avec figures dans le texte. 14 fr.

Maladies du nez et du larynx, par A. RUAULT. — **Asthme**, par E. BRISAUD, professeur à la Faculté de médecine de Paris, médecin de l'hôpital Saint-Antoine. — **Coqueluche**, par P. LE GENDRE, médecin des hôpitaux. — **Maladies des bronches**, par A.-B. MARFAN, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux. — **Troubles de la circulation pulmonaire**, par A.-B. MARFAN. — **Maladies aiguës du poumon**, par NETTER, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux.

TOME VII

1 vol. grand in-8° de 550 pages avec figures dans le texte. 14 fr.

Maladies chroniques du poumon, par A.-B. MARFAN, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux. — **Phtisie pulmonaire**, par A.-B. MARFAN. — **Maladies de la plèvre**, par NETTER, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux. — **Maladies du médiastin**, par A.-B. MARFAN.

TOME VIII

1 vol. grand in-8° de 580 pages avec figures dans le texte. 14 fr.

Maladies du cœur, par ANDRÉ PETIT, médecin des hôpitaux. — **Maladies des vaisseaux sanguins**, par W. CÉTINGER, médecin des hôpitaux.

Sous presse : TOMES IX et X. — **Maladies du Système nerveux.**

Traité de Physiologie

PAR

J.-P. MORAT

Professeur à l'Université de Lyon.

Maurice DOYON

Professeur agrégé
à la Faculté de médecine de Lyon

5 vol. gr. in-8° avec fig. en noir et en couleurs. En souscription. 55 fr.

VOLUMES PUBLIÉS

- II. — **Fonctions d'innervation**, par J.-P. MORAT. 1 vol. gr. in-8°, avec 263 figures noires et en couleurs. 15 fr.
- III. — **Fonctions de nutrition** : Circulation, par M. DOYON; Calorification, par P. MORAT. 1 vol. gr. in-8° avec 173 figures en noir et en couleurs. 12 fr.
- IV. — **Fonctions de nutrition** (*suite et fin*) : Respiration, excrétion, par J.-P. MORAT; Digestion, Absorption, par M. DOYON. 1 vol. gr. in-8°, avec 167 figures en noir et en couleurs. 12 fr.

Sous presse : Tome I. — **Fonctions élémentaires.**

COLLECTION DE PLANCHES MURALES

DESTINÉES A

L'Enseignement de la Bactériologie

PUBLIÉES PAR

L'INSTITUT PASTEUR DE PARIS

65 planches du format 80 × 62 c/m, tirées en couleurs sur papier toile très fort, munies d'œillets permettant de les suspendre et réunies dans un carton, avec un *texte explicatif rédigé en français, allemand et anglais.*

Prix : 250 francs (port en sus). (*Les planches ne sont pas vendues séparément.*)

Traité de Pathologie générale

Publié par **Ch. BOUCHARD**

Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté de Médecine de Paris.

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : **G.-H. ROGER**

Professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, Médecin des hôpitaux.

COLLABORATEURS :

MM. ARNOZAN, D'ARSONVAL, BENNI, F. BEZANÇON, R. BLANCHARD, BOINET, BOULAY, BOURCY, BRUN, CADIOT, CHABRIÉ, CHANTEMESSE, CHARRIN, CHAUFFARD, J. COURMONT, DEJERINE, PIERRE DELBET, DEVIC, DUCAMP, MATHIAS DUVAL, FÉRÉ, GAUCHER, GILBERT, GLEY, GOUGET, GUIGNARD, LOUIS GUINON, J.-F. GUYON, HALLÉ, HÉNOCQUE, HUGOUNENQ, LAMBLING, LANDOUZY, LAVERAN, LEBRETON, LE GENDRE, LEJARS, LE NOIR, LERMOYER, LESNÉ, LETULLE, LUBET-BARON, MARFAN, MAYOR, MENETRIER, MORAX, NETTER, PIERRET, RAVAUT, G.-H. ROGER, GABRIEL ROUX, RUFFER, SICARD, RAYMOND, TRIPIER, VUILLEMIN, FERNAND VIDAL.

6 volumes grand in-8° avec figures dans le texte. 126 fr.

TOME I

1 vol. grand in-8° de 1018 pages avec figures dans le texte : 18 fr.

TOME II

1 vol. grand in-8° de 940 pages avec figures dans le texte : 18 fr.

TOME III

1 vol. in-8° de 1400 pages, avec figures dans le texte,
publié en deux fascicules : 28 fr.

TOME IV

1 vol. in-8° de 719 pages avec figures dans le texte : 16 fr.

TOME V

1 fort vol. in-8° de 1180 pages avec nombr. figures dans le texte : 28 fr.

TOME VI

1 vol. grand in-8° avec figures dans le texte. 18 fr.

Manuel de Pathologie externe

PAR MM.

RECLUS, KIRMISSON, PEYROT, BOUILLY

Professeurs agrégés à la Faculté de médecine de Paris, chirurgiens des hôpitaux.

Septième édition illustrée entièrement revue.

- I. Maladies des tissus et des organes, par le D^r P. RECLUS.
 - II. Maladies des régions, Tête et Rachis, par le D^r KIRMISSON.
 - III. Maladies des régions, Poitrine, Abdomen, par le D^r PEYROT.
 - IV. Maladies des régions, Organes génito-urinaires, par le D^r BOUILLY.
- 4 volumes in-8° avec figures dans le texte. 40 fr.
Chaque volume est vendu séparément 10 fr.

Vient de paraître :

Formulaire Thérapeutique

PAR MM.

G. LYON

Ancien interne des Hôpitaux
Ancien chef de clinique à la Faculté
Lauréat de la Faculté

P. LOISEAU

Ancien interne des Hôpitaux
Ancien Préparateur
à l'École de Pharmacie
Lauréat des Hôpitaux

AVEC LA COLLABORATION DE

E. LACAÏLLE

Assistant à la Clinique médicale de la Faculté de l'Hôtel-Dieu
Chargé des conférences et du laboratoire d'Electrothérapie et de Radiographie.

1 vol. in-18 en indien très mince, relié maroquin souple. . . 6 fr.

Traité de Physique Biologique

publié sous la direction de MM.

D'ARSONVAL

GARIEL

CHAUVEAU

MAREY

Secrétaire de la rédaction : **M. WEISS**
Ingénieur des Ponts et Chaussées
Professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris

3 vol. in-8°. En souscription 70 fr.

TOME PREMIER. 1 vol. in-8° de 1150 pages, avec 591 figures . . . 25 fr

TOME II. 1 volume de 1144 pages avec 665 figures et 3 planches. . . 25 fr

L'ŒUVRE MÉDICO-CHIRURGICAL

Dr CRITZMAN, directeur

Suite de Monographies cliniques

SUR LES QUESTIONS NOUVELLES
en Médecine, en Chirurgie et en Biologie

Chaque monographie est vendue séparément. 1 fr. 25

Il est accepté des abonnements pour une série de 10 Monographies au prix payable d'avance de 10 fr. pour la France et 12 fr. pour l'étranger (port compris).

DERNIÈRES MONOGRAPHIES PUBLIÉES

N° 30. **Le Ganglion Lymphatique**, par HENRI DOMINICI.

N° 31. **Les Leucocytes**. *Technique (Hématologie, cytologie)*, par le professeur COURMONT et F. MONTAGARD.

N° 32. **La Médication hémostatique**, par P. CARNOT, docteur ès sciences chef du laboratoire de Thérapeutique à la Faculté de médecine.

N° 33. **L'Élongation trophique**. *Cure radicale des maux perforants, par l'élongation des nerfs*, par le Dr A. CHIPAULT (de Paris).

Traité des Maladies de l'Enfance

Deuxième édition revue et augmentée

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION DE MM.

J. GRANCHER

Professeur à la Faculté de médecine de Paris, Membre de l'Académie de médecine, Médecin de l'hôpital des Enfants-Malades.

J. COMBY

Médecin de l'hôpital des Enfants-Malades, Médecin des dispensaires pour les enfants de la Société philanthropique.

5 vol. grand in-8° avec figures dans le texte. En souscription. **100 fr.**

Tome I : 1 volume grand in-8 de 1060 pages 22 fr. — **Tome II** (*sous presse*).

Traité de Technique opératoire

PAR

CH. MONOD

Professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris
Chirurgien de l'Hôpital Saint-Antoine
Membre de l'Académie de médecine

J. VANVERTS

Ancien interno lauréat des Hôpitaux de Paris
Chef de clinique à la Faculté de médecine de Lille

2 vol. gr. in-8° formant ensemble 1960 pages, avec 1908 figures dans le texte **40 fr.**

Les Difformités acquises de l'Appareil locomoteur

PENDANT L'ENFANCE ET L'ADOLESCENCE

Par le Dr **E. KIRMISSON**

Professeur de Clinique chirurgicale infantile à la Faculté de médecine
Chirurgien de l'hôpital Trousseau

1 vol. in-8° avec 130 figures dans le texte. . . **15 fr.**

Ce volume fait suite au **Traité des Maladies chirurgicales d'origine congénitale** (312 figures et 2 planches en couleurs). *Publié en 1898* . . . **15 fr.**
Ces deux ouvrages constituent un véritable traité de Chirurgie orthopédique.

- Les Maladies infectieuses**, par G.-H. ROGER, professeur agrégé, médecin de l'hôpital de la Porte-d'Aubervilliers. 1 vol. in-8° de 1520 pages publié en 2 fascicules avec figures **28 fr.**
- Précis d'Histologie**, par Mathias DUVAL, professeur à la Faculté de médecine de Paris, membre de l'Académie de médecine. *Deuxième édition, revue et augmentée*, illustrée de 427 figures dans le texte. 1 vol. gr. in-8° de 1020 pages **18 fr.**
- Les Maladies du Cuir chevelu.** — I. Maladies séborrhéiques : **Séborrhée, Acnés, Calvitie**, par le Dr R. SA-BOURAUD, chef du laboratoire de la Ville de Paris à l'hôpital Saint-Louis, membre de la Société de Dermatologie. 1 volume in-8°, avec 91 figures dans le texte dont 40 aquarelles en couleurs . . . **10 fr.**
- Les Maladies microbiennes des Animaux**, par Ed. NOCARD, professeur à l'École d'Alfort, membre de l'Académie de médecine, et E. LECLAINCHE, professeur à l'École vétérinaire de Toulouse. *Troisième édition, entièrement refondue et considérablement augmentée*. 2 volumes grand in-8°, formant ensemble 1312 pages **22 fr.**
- Syphilis et Déontologie**, par GEORGES THIBIERGE, médecin de l'hôpital Broca. 1 vol. in-8° **5 fr.**
- Traité d'Hygiène**, par A. PROUST, professeur d'Hygiène à la Faculté de Paris, membre de l'Académie de médecine, inspecteur général des Services sanitaires. *Troisième édition revue et considérablement augmentée*, avec la collaboration de A. NETTER, agrégé, médecin de l'hôpital Trousseau, et H. BOURGES, chef du laboratoire d'hygiène à la Faculté de médecine. *Ouvrage couronné par l'Institut et la Faculté de médecine*. 1 vol. in-8°, avec figures et cartes, publié en 2 fascicules. En souscription **18 fr.**

L'Anesthésie localisée par la Cocaïne

PAR

Paul RECLUS

Professeur agrégé à la Faculté de médecine
Chirurgien de l'hôpital Laënnec, membre de l'Académie de médecine.

1 volume petit in-8°, avec 59 figures. **4 fr.**

Bibliothèque Diamant

des Sciences médicales et biologiques

Cette collection est publiée dans le format in-16 raisin, avec nombreuses figures dans le texte, cartonnage à l'anglaise, tranches rouges.

- Éléments de Physiologie**, par Maurice ARTHUS, chef de laboratoire à l'Institut Pasteur de Lille. 1 vol., avec figures. 8 fr.
- Éléments de Chimie physiologique**, par Maurice ARTHUS, professeur à l'Université de Fribourg (Suisse). *Quatrième édition revue et corrigée.* 1 volume, avec figures 5 fr.
- Précis d'Anatomie pathologique**, par M. L. BARD, professeur à la Faculté de médecine de Lyon. *Deuxième édition revue et augmentée.* 1 volume, avec 125 figures 7 fr. 50
- Manuel de Thérapeutique**, par le Dr BERLIOZ, professeur à l'Université de Grenoble, avec préface du Professeur BOUCHARD. *Quatrième édition revue et augmentée.* 1 vol. . 6 fr.
- Manuel de Bactériologie médicale**, par le Dr BERLIOZ, avec préface de M. le professeur LANDOUZY. 1 vol. avec fig. 6 fr.
- Précis de Chirurgie cérébrale**, par Aug. BROCA, chirurgien de l'hôpital Tenon, professeur agrégé à la Faculté de médecine. 1 vol. avec figures 6 fr.
- Manuel de Pathologie interne**, par G. DIEULAFOY, professeur à la Faculté de médecine de Paris. *Treizième édition entièrement refondue et augmentée.* 4 vol. avec fig. en n. et en coul. 28 fr.
- Manuel d'Anatomie microscopique et d'Histologie**, par M. P.-E. LAUNOIS, professeur agrégé à la Faculté de médecine. Préface de M. le Professeur Mathias DUVAL. *Deuxième édition entièrement refondue.* 1 volume avec 261 figures 8 fr.
- Précis élémentaire d'Anatomie, de Physiologie et de Pathologie**, par P. RÛDAUX, ancien chef de clinique à la Faculté de médecine de Paris, avec préface, par M. RIBEMONT-DESSAIGNES, professeur agrégé à la Faculté de Paris. 1 vol., avec 462 figures 8 fr.
- Manuel de Diagnostic médical et d'Exploration clinique**, par P. SPILLMANN, professeur à la Faculté de médecine de Nancy, et P. HAUSHALTER, professeur agrégé. *Quatrième édition entièrement refondue.* 1 vol. avec 89 figures. 6 fr.
- Précis de Microbie. Technique et microbes pathogènes**, par M. le Dr L.-H. THOINOT, professeur agrégé à la Faculté, et E.-J. MASSELIN, médecin-vétérinaire. *Quatrième édition entièrement refondue.* 1 volume, avec figures en noir et en couleurs. . . . 8 fr.
- Précis de Bactériologie clinique**, par le Dr R. WURTZ, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris. *Deuxième édition revue et augmentée.* 1 volume, avec tableaux et figures. 6 fr.

Bibliothèque

d'Hygiène thérapeutique

DIRIGÉE PAR

Le Professeur PROUST

Membre de l'Académie de médecine, Médecin de l'Hôtel-Dieu,
Inspecteur général des Services sanitaires.

Chaque ouvrage forme un volume in-16, cartonné toile, tranches rouges,
et est vendu séparément : 4 fr.

Chacun des volumes de cette collection n'est consacré qu'à une seule maladie ou à un seul groupe de maladies. Grâce à leur format, ils sont d'un maniement commode. D'un autre côté, en accordant un volume spécial à chacun des grands sujets d'hygiène thérapeutique, il a été facile de donner à leur développement toute l'étendue nécessaire.

VOLUMES PARUS

L'Hygiène du Goutteux, par le professeur PROUST et A. MATHIEU, médecin de l'hôpital Andral.

L'Hygiène de l'Obèse, par le professeur PROUST et A. MATHIEU, médecin de l'hôpital Andral.

L'Hygiène des Asthmatiques, par E. BRISSAUD, professeur agrégé, médecin de l'hôpital Saint-Antoine.

L'Hygiène du Syphilitique, par H. BOURGES, préparateur au laboratoire d'hygiène de la Faculté de médecine.

Hygiène et thérapeutique thermales, par G. DELFAU, ancien interne des hôpitaux de Paris.

Les Cures thermales, par G. DELFAU, ancien interne des hôpitaux de Paris.

L'Hygiène du Neurasthénique, par le professeur PROUST et G. BALLEZ, professeur agrégé, médecin des hôpitaux de Paris. (*Deuxième édition.*)

L'Hygiène des Albuminuriques, par le Dr SPRINGER, ancien interne des hôpitaux de Paris, chef de laboratoire de la Faculté de médecine à la Clinique médicale de l'hôpital de la Charité.

L'Hygiène du Tuberculeux, par le Dr CHUQUET, ancien interne des hôpitaux de Paris, avec une introduction du Dr DAREMBERG, membre correspondant de l'Académie de médecine.

Hygiène et thérapeutique des maladies de la Bouche, par le Dr CRUNT, dentiste des hôpitaux de Paris, avec une préface de M. le professeur LANNE-LONGUE, membre de l'Institut.

Hygiène des Maladies du Cœur, par le Dr VAQUEZ, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux, avec une préface du professeur POTAIN.

Hygiène du Diabétique, par A. PROUST et A. MATHIEU.

L'Hygiène du Dyspeptique, par le Dr LINOSSIER, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Lyon, membre correspondant de l'Académie de médecine, médecin à Vichy.

Hygiène du Larynx, du Nez et des Oreilles, par MM. les Drs LUBET BARBON et SARREMONNE. (*Sous presse.*)

Traité de Zoologie

Par **Edmond PERRIER**

Membre de l'Institut et de l'Académie de médecine,
 Directeur du Muséum d'Histoire Naturelle.

FASCICULE I : Zoologie générale. 1 vol. gr. in-8° de 412 p. avec 458 figures dans le texte.	12 fr.
FASCICULE II : Protozoaires et Phytozoaires. 1 vol. gr. in-8° de 452 p., avec 243 figures.	10 fr.
FASCICULE III : Arthropodes. 1 vol. gr. in-8° de 480 pages, avec 278 figures.	8 fr.
Ces trois fascicules réunis forment la première partie. 1 vol. in-8° de 1344 pages, avec 980 figures.	30 fr.
FASCICULE IV : Vers et Mollusques. 1 vol. gr. in-8° de 792 pages, avec 566 figures dans le texte.	16 fr.
FASCICULE V : Amphioxus, Tuniciers. 1 vol. gr. in-8° de 221 pages, avec 97 figures dans le texte.	6 fr.
FASCICULE VI : Poissons. 1 vol. gr. in-8° de 366 pages avec 190 figures dans le texte.	10 fr.
FASCICULE VII et dernier : Vertébrés marcheurs (<i>En préparation</i>).	

Guides du Touriste, du Naturaliste et de l'Archéologue

publiés sous la direction de **M. Marcellin BOULE**

VOLUMES PUBLIÉS

Le Cantal, par **M. BOULE**, docteur ès sciences, et **L. FARGES**, archi-
 viste-paléographe.

La Lozère, par **E. CORD**, ingénieur-agronome, **G. CORD**, docteur en
 droit, avec la collaboration de **M. A. VIRÉ**, docteur ès sciences.

Le Puy-de-Dôme et Vichy, par **M. BOULE**, docteur ès
 sciences, **Ph. GLANGEAUD**, maître de conférences à l'Université de
 Clermont, **G. ROUCHON**, archiviste du Puy-de-Dôme, **A. VERNIÈRE**,
 ancien président de l'Académie de Clermont.

La Haute-Savoie, par **MARC LE ROUX**, conservateur du Musée
 d'Annecy.

La Savoie, par **J. RÉVIL**, président de la Société d'histoire
 naturelle de la Savoie, et **J. CORCELLE**, agrégé de l'Université.

Chaque volume in-16, relié toile anglaise avec figures et cartes
 en couleurs. **4 fr. 50**

En préparation : **Le Velay — les Alpes du Dauphiné.**

OUVRAGES DE M. A. DE LAPPARENT

Membre de l'Institut, professeur à l'École libre des Hautes-Études.

TRAITÉ DE GÉOLOGIE

QUATRIÈME ÉDITION ENTIÈREMENT REFONDUE ET CONSIDÉRABLEMENT AUGMENTÉE
3 vol. grand in-8°, avec nomb. fig., cartes et croquis . . . 35 fr.

- Abrégé de géologie.** *Cinquième édition, refondue et augmentée.* 1 vol. 157 gravures et une carte géologique de la France en chromolithographie, cartonné toile 4 fr.
- Notions générales sur l'écorce terrestre.** 1 vol. in-16 de 156 pages avec 33 figures, broché. 1 fr. 20
- La géologie en chemin de fer.** Description géologique du Bassin parisien et des régions adjacentes. 1 vol. in-18 de 608 pages, avec 3 cartes chromolithographiées, cartonné toile, 7 fr. 50
- Cours de minéralogie.** *Troisième édition, revue et augmentée.* 1 vol. grand in-8° de xx-703 pages avec 619 gravures dans le texte et une planche chromolithographiée. 15 fr.
- Précis de minéralogie.** *Troisième édition, revue et augmentée.* 1 vol. in-16 de xii-398 pages avec 235 gravures dans le texte et une planche chromolithographiée, cartonné toile. 5 fr.
- Leçons de géographie physique.** *Deuxième édition, revue et augmentée.* 1 vol. grand in-8° de xvi-718 pages avec 162 figures dans le texte et une planche en couleurs. 12 fr.
- Le siècle du Fer.** 1 vol. in-18 de 360 pages, broché 2 fr. 50

PETITE BIBLIOTHÈQUE DE " LA NATURE "

- Recettes et Procédés utiles,** recueillis par Gaston TISSANDIER, rédacteur en chef de *la Nature*. *Dixième édition.*
- Recettes et Procédés utiles.** *Deuxième série : La Science pratique,* par Gaston TISSANDIER. *Cinquième édition.*
- Nouvelles Recettes utiles et Appareils pratiques.** *Troisième série,* par Gaston TISSANDIER. *Quatrième édition.*
- Recettes et Procédés utiles.** *Quatrième série,* par Gaston TISSANDIER. *Troisième édition.*
- Recettes et Procédés utiles.** *Cinquième série,* par J. LAFFARGUE, secrétaire de la rédaction de *la Nature*. *Deuxième édition.*

Chaque volume in-18 avec figures est vendu

Broché 2 fr. 25 | Cartonné toile 3 fr.

La Physique sans appareils et la Chimie sans laboratoire, par Gaston TISSANDIER. *Ouvrage couronné par l'Académie (Prix Montyon).* Un volume in-8° avec nombreuses figures dans le texte. Broché, 3 fr. Cartonné toile, 4 fr.

LA GÉOGRAPHIE

BULLETIN

DE LA

Société de Géographie

PUBLIÉ TOUS LES MOIS PAR

LE BARON HULOT, Secrétaire général de la Société

ET

M. CHARLES RABOT, Secrétaire de la Rédaction

ABONNEMENT ANNUEL : PARIS : 24 fr. — DÉPARTEMENTS : 26 fr.
ÉTRANGER : 28 fr. — Prix du numéro : 2 fr. 50

Chaque numéro, du format grand in-8°, composé de 80 pages et accompagné de cartes et de gravures nombreuses, comprend des mémoires, une chronique, une bibliographie et le compte rendu des séances de la Société de Géographie. Cette publication n'est pas seulement un recueil de récits de voyages pittoresques, mais d'observations et de renseignements scientifiques.

La chronique, rédigée par des spécialistes pour chaque partie du monde, constitue un résumé complet du *mouvement géographique* pour chaque mois.

La Nature

REVUE ILLUSTRÉE

des sciences et de leurs applications aux arts et à l'industrie

DIRECTEUR : **Henri de PARVILLE**

Abonnement annuel : Paris : 20 fr. — Départements : 25 fr. —
Union postale : 26 fr.

Abonnement de six mois : Paris : 10 fr. — Départements : 12 fr. 50.
— Union postale : 13 fr.

Fondée en 1873 par GASTON TISSANDIER, la *Nature* est aujourd'hui le plus important des journaux de vulgarisation scientifique par le nombre de ses abonnés, par la valeur de sa rédaction et par la sûreté de ses informations. Elle doit ce succès à la façon dont elle présente la science à ses lecteurs en lui ôtant son côté aride tout en lui laissant son côté exact, à ce qu'elle intéresse les savants et les érudits aussi bien que les jeunes gens et les personnes peu familiarisées avec les ouvrages techniques; à ce qu'elle ne laisse, enfin, rien échapper de ce qui se fait ou se dit de neuf dans le domaine des découvertes qui modifient sans cesse les conditions de notre vie.

Paris. — L. MARETHEUX, imprimeur, 1, rue Cassette. — 4814.