

Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

1- Le Conservatoire numérique communément appelé le Cnum constitue une base de données, produite par le Conservatoire national des arts et métiers et protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle. La conception graphique du présent site a été réalisée par Eclydre (www.eclydre.fr).

2- Les contenus accessibles sur le site du Cnum sont majoritairement des reproductions numériques d'œuvres tombées dans le domaine public, provenant des collections patrimoniales imprimées du Cnam.

Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n° 78-753 du 17 juillet 1978 :

- la réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur ; la mention de source doit être maintenue ([Cnum - Conservatoire numérique des Arts et Métiers - https://cnum.cnam.fr](https://cnum.cnam.fr))
- la réutilisation commerciale de ces contenus doit faire l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.

3- Certains documents sont soumis à un régime de réutilisation particulier :

- les reproductions de documents protégés par le droit d'auteur, uniquement consultables dans l'enceinte de la bibliothèque centrale du Cnam. Ces reproductions ne peuvent être réutilisées, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.

4- Pour obtenir la reproduction numérique d'un document du Cnum en haute définition, contacter [cnum\(at\)cnam.fr](mailto:cnum(at)cnam.fr)

5- L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment possible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

6- Les présentes conditions d'utilisation des contenus du Cnum sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

NOTICE DE LA REVUE	
Auteur(s) ou collectivité(s)	Laboratoire d'essais mécaniques physiques chimiques et de machines du Conservatoire national des Arts et Métiers
Auteur(s)	Laboratoire d'essais mécaniques physiques chimiques et de machines du Conservatoire national des Arts et Métiers
Titre	Bulletin du Laboratoire d'essais mécaniques, physiques, chimiques et de machines du Conservatoire National des Arts et Métiers
Adresse	Paris : Librairie Polytechnique Ch. Béranger, éditeur, 1903-1931
Nombre de volumes	23
Cote	CNAM-BIB P 1329-A
Sujet(s)	Conservatoire national des arts et métiers (France) Génie industriel -- 20e siècle
Notice complète	https://www.sudoc.fr/039047083
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?P1329-A
LISTE DES VOLUMES	
N° 1 - Tome I (1903-1904)	
N° 2 - Tome I (1903-1904)	
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	
N° 3 - Tome I (1903-1904)	
N° 4 - Tome I (1903-1904)	
N° 5 - Tome I (1903-1904)	
N° 6 - Tome I (1905-1906)	
N° 7 - Tome I (1905-1906)	
N° 8 (1906)	
N° 9 (1906)	
N° 10 (1907)	
N° 11 (1907)	
N° 12 (1907)	
N° 13 (1908)	
N° 14 (1908)	
N° 15 (1908)	
N° 16 (1911)	
N° 17 (1917)	
N° 18 (1919)	
N° 19 (1919)	
N° 20 (1922)	
N° 21 (1924)	
N° 22 (1927)	
N° 23 (1931)	

NOTICE DU VOLUME TÉLÉCHARGÉ	
Auteur(s) volume	Laboratoire d'essais mécaniques physiques chimiques et de machines du Conservatoire national des Arts et Métiers
Titre	Bulletin du Laboratoire d'essais mécaniques, physiques, chimiques et de machines du Conservatoire National des Arts et Métiers
Volume	N° 3 - Tome I (1903-1904)
Adresse	Paris : Librairie Polytechnique Ch. Béranger, éditeur, 1904
Collation	1 vol. (30 p.) : tabl. ; 24 cm

Nombre de vues	31
Cote	CNAM-BIB P 1329-A (3)
Sujet(s)	Conservatoire national des arts et métiers (France) Génie industriel -- 20e siècle
Thématique(s)	Histoire du Cnam
Typologie	Revue
Langue	Français
Date de mise en ligne	10/04/2025
Date de génération du PDF	07/02/2026
Recherche plein texte	Disponible
Notice complète	https://www.sudoc.fr/039047083
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?P1329-A.3

8^e R^e-107-

BULLETIN



DU

LABORATOIRE D'ESSAIS

MÉCANIQUES, PHYSIQUES, CHIMIQUES ET DE MACHINES

DU

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS

N^o 3. — Tome I (1903-1904).

ACTION DE L'EAU DE MER SUR LES MORTIERS

PAR

E. LEDUC

Chef de la section des Matériaux de construction au Laboratoire d'essais
du Conservatoire national des Arts et Métiers à Paris

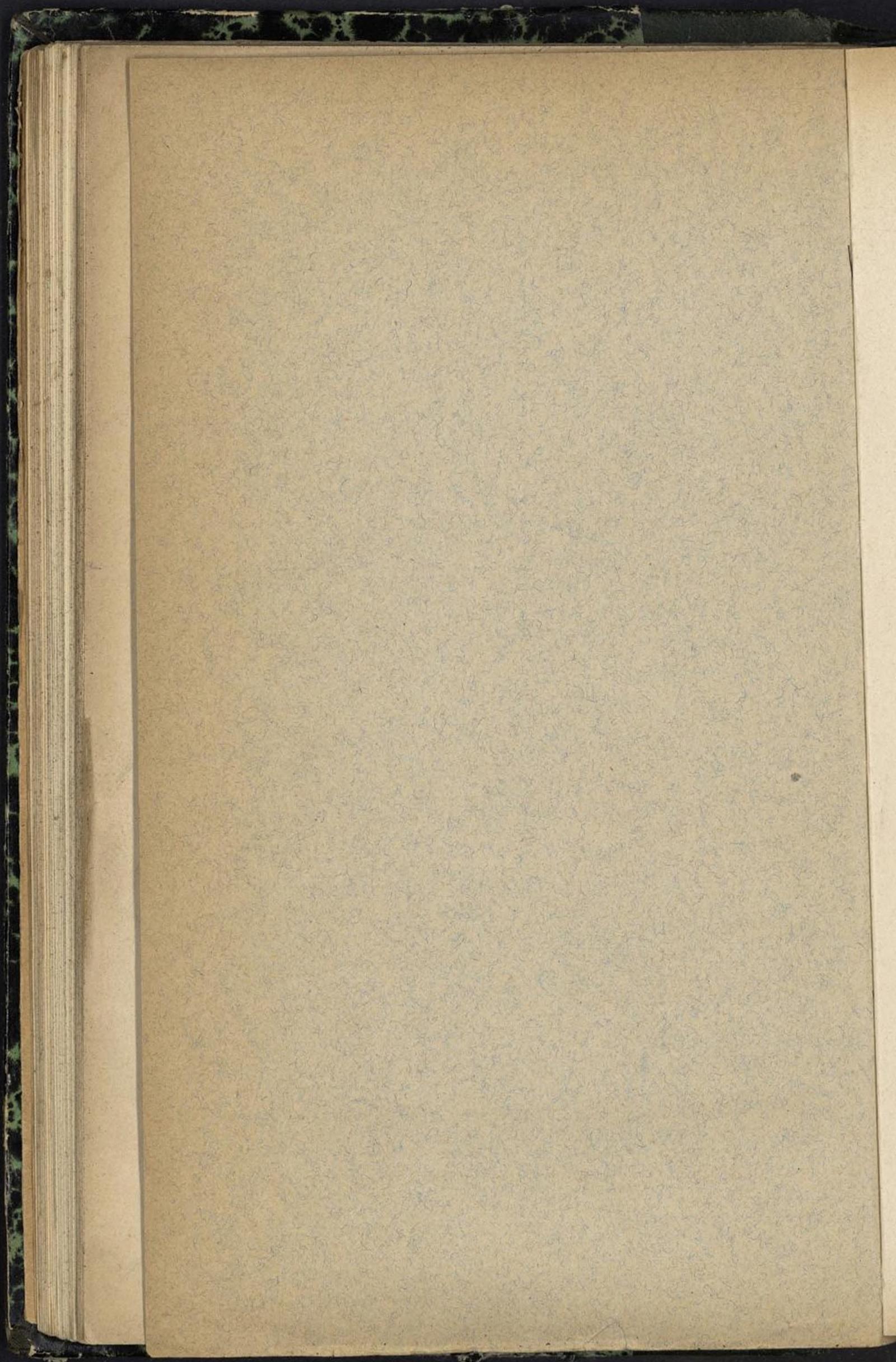
PARIS

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE CH. BÉRANGER, ÉDITEUR
Successeur de BAUDRY & Cie

15, RUE DES SAINTS-PÈRES, 15
MÊME MAISON A LIÈGE, 21, RUE DE LA RÉGENCE

1904

Tous droits réservés



1904.



ACTION DE L'EAU DE MER
SUR LES MORTIERS

PAR

E. LEDUC

Chef de la section des Matériaux de construction au Laboratoire d'essais
du Conservatoire national des Arts et Métiers

les
loi
es

lu

a-
es
ie

it
e

,





ACTION DE L'EAU DE MER SUR LES MORTIERS

PAR

E. LEDUC

Chef de la Section des Matériaux de Construction au Laboratoire d'Essais
du Conservatoire National des Arts et Métiers.

Si les observations concernant la destruction des mortiers employés dans les travaux maritimes sont nombreuses et évidemment aussi anciennes que l'emploi de ces mortiers, les causes n'en sont pas encore nettement établies malgré les nombreux travaux parus dans ces dernières années.

L'action chimique de l'eau de mer n'a guère été étudiée que vers le milieu du siècle dernier.

Comme l'a rappelé l'éminent et regretté ingénieur Schoulatchenko ce fut l'ingénieur Noël qui, vers 1840, en soumettant à Vicat des mortiers de pouzzolanes en voie de décomposition par l'eau de mer, posa le premier le grand problème de l'action chimique de cette eau sur les mortiers.

Vicat aborda cette grave question (1), et l'envisagea au point de vue purement chimique. Il étudia un grand nombre de mortiers, l'action des sels de l'eau de mer, et fit même fabriquer un ciment dit maritime dont il reste encore quelques vestiges en bon état de conservation dans le port de la Rochelle.

D'après une analyse de M. Le Chatelier, ce ciment avait un indice très élevé, 0,79, et contenait peu d'alumine relativement à la proportion de silice :

$$\frac{\text{Silice}}{\text{Alumine}} = 6,4$$

Vicat démontra que tous les ciments mis en poudre dans une solution de sul-

(1) Recherches sur les causes chimiques de la destruction des composés hydrauliques, 1857.

fate de magnésie se détruisaient au bout de peu de temps, et que des prismes de mortiers de ces mêmes ciments placés dans la même solution se désagréguaient également, d'où il en concluait que ce sel était l'agent de désagrégation.

Vicat parle également de l'action nuisible du sulfate de chaux (1) ; il cite un ciment contenant 8 o/o de ce sel gonflant même dans de l'eau douce.

D'après cet illustre expérimentateur, « les ciments résistant à l'action saline « ne le doivent ni à leur dureté spéciale ni à la composition en silice et en alu- « mine de leur argile, mais bien à la proportion de celle-ci par rapport à la « chaux ; d'où il faudrait conclure que lorsque dans un ciment l'argile propre- « ment dite, fer et autres matières à part, ne forme pas au moins les 8o cen- « tièmes de la chaux caustique, ce ciment considéré dans sa valeur intrinsèque « pour l'eau de mer, n'offre aucune garantie absolue » (2).

Vicat posait le problème sur son véritable terrain : le terrain purement chimique, opposant aux phénomènes chimiques de la destruction par l'eau de mer, des agents chimiques. Malheureusement on ne l'a pas suivi dans cette voie.

Il faut arriver à l'étude de M. Candlot en 1890 sur le sulfo-aluminate de chaux, puis aux travaux de M. Michaelis sur l'action de la silice incorporée au mortier sous forme de pouzzolane, pour retrouver une suite à l'étude chimique entreprise par Vicat.

Se basant sur ce que le ciment émet une proportion élevée de chaux pendant sa prise et le durcissement, M. Michaelis propose pour éviter la désagrégation des mortiers d'unir cette chaux à de la silice ajoutée.

Cette double question de l'action chimique de l'eau de mer et du rôle des pouzzolanes pour augmenter la résistance des mortiers étant actuellement soumise à une large discussion nous avons jugé utile d'entreprendre une assez longue série d'expériences pour comparer les différents ciments et un certain nombre de pouzzolanes.

Action chimique de l'eau de mer

Pour étudier les différents ciments employés nous avons prélevé sur d'anciennes briquettes, des petites pyramides à angles aigus, découpées dans l'intérieur même de la briquette, et d'autre part, nous avons gâché avec 50 o/o d'eau différents ciments avec lesquels nous avons fabriqué des petits cubes. Toutes ces éprouvettes n'ont été immergées qu'après avoir été taillées à la lime pour être certain de les débarrasser de toute couche carbonatée.

Tous ces essais sont condensés dans le tableau 1.

En examinant ce tableau il ressort immédiatement que tous les ciments portlands artificiels essayés se sont désagrégés dans la solution de sulfate de magnésie avec une grande rapidité, sauf le n° 329 qui a exigé un peu plus

(1) Déjà cité page 54.

(2) Déjà cité page 55.

de temps. Il en a été de même pour les ciments immersés dans l'eau saturée de sulfate de chaux (1).

Cet essai, tel que nous l'avons pratiqué, et qui n'est autre que l'ancienne méthode de Vicat, est évidemment extrêmement sévère, puisque 8 ciments qui avant de subir cet essai avaient été immersés 4 années dans l'eau de mer sans montrer la moindre trace de désagrégation se sont fissurés et désagrégés.

Comme ces ciments étaient tous des ciments de première qualité, ayant subi avec succès les conditions d'un cahier des charges sévères, on peut conclure hardiment de ces essais qu'aucun portland ne peut résister à l'action désagrégeante d'une solution de sulfate de magnésie comme cela a lieu pour l'eau de mer, ou de sulfate de chaux comme dans le cas des eaux séléniteuses.

L'examen de la suite des tableaux montre qu'il en est de même pour les ciments naturels, les ciments de grappiers et les chaux hydrauliques étudiés.

De plus, si on examine au point de vue de la teneur en alumine les divers produits étudiés, (tableau 16), on voit que, quelle que soit la proportion de ce corps tous les produits étudiés se sont décomposés, aussi bien ceux n'en contenant que 2 à 3 o/o que ceux en contenant 9 o/o. Que la décomposition ait été plus rapide avec les produits alumineux, c'est certain, mais en fait, pour les produits très peu alumineux elle n'a exigé qu'un maximum de 3 mois 1/2 avec la solution de sulfate de magnésie.

Cette question des ciments alumineux au point de vue de leur décomposition par l'eau de mer est de toute importance ; aussi avons-nous essayé il y a deux ou trois ans de fabriquer un portland artificiel contenant le moins possible d'alumine, pensant que ce ciment tiendrait particulièrement bien à la mer. Nous avons été complètement déçu à cet égard, notre ciment, qui a été fabriqué d'après nos indications par M. Bied, Directeur du Laboratoire des usines Pavin de Lafarge au Teil, et qui a bien voulu l'essayer, ce dont nous ne saurions trop le remercier, s'est décomposé comme les autres produits mis en expérience.

Ce portland artificiel avait été fabriqué en cuisant dans un four à pétrole un mélange intime de chaux du Teil et de gaize (n° 7.366).

Après cuisson le produit avait la composition suivante :

Silice	30,018
Alumine.	2,609
Sesquioxide de fer	1,237
Chaux	63,306
Magnésie	1,566
Acide sulfurique.	0,744
Pertes et non dosé.	0,520

(1) Les éprouvettes immersées dans la solution de sulfate de chaux n'ont pu, par suite de notre départ du laboratoire dans lequel nous avons exécuté ces essais, être suivies aussi attentivement que celles immersées dans la solution de sulfate de magnésie. Le gypse placé dans l'eau des bacs d'immersion n'ayant pas été renouvelé, c'est ainsi que nous nous expliquons pourquoi certains produits ne se sont pas décomposés dans cette solution alors que cette décomposition a été rapide dans la solution de magnésie.

Indice d'hydraulicité :

$$\frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Cao} + \text{Mgo}} = 0,50$$

$$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3} = 11,4$$

Gâché en ciment pur et en mortier sec 1 : 3 les essais de résistance ont donné après 1 et 4 semaines d'immersion dans l'eau douce :

	Résistance à la traction		Résistance à la compression	
	Après 1 semaine	Après 4 semaines	Après 1 semaine	Après 4 semaines
Ciment pur.	20,33	40,6	235	606
Mortier sec 1/3	45,37	21,0	192	289

Les essais de résistance de ce produit étaient donc excellents, et de plus on s'est assuré qu'au moment des essais ce ciment n'était nullement expansif ; néanmoins, soumis à l'action d'une solution de sulfate de magnésie, ce ciment comme nous l'avons écrit plus haut, d'après M. Bied, s'est désagrégé vers le 6^e mois d'immersion, malgré sa très faible teneur en alumine.

De ce que, dans ces expériences, des ciments très peu alumineux ont été décomposés par le sulfate de magnésie, il est peut-être teméraire d'en déduire qu'on puisse dans les grands travaux maritimes employer tous les produits hydrauliques donnant de bons résultats aux essais mécaniques, sans se préoccuper de leur teneur en alumine. Cette question est beaucoup trop importante pour être résolue par un aussi petit nombre d'expériences que celles que nous avons pu exécuter ; toutefois il semble ressortir de ces essais, ce que nous écrivions déjà en 1902 (1), que si le sulfo-aluminate de chaux est vraiment le seul agent de désagrégation des mortiers, il en faut une bien faible proportion pour amener cette décomposition, et il est alors à peu près indifférent au point de vue pratique que des chaux contiennent 2 ou 6 % d'alumine, car il est permis de dire que tous les produits hydrauliques sont décomposables par la solution de sulfate de magnésie, comme par celle de sulfate de chaux (2).

Cette conclusion pratique dont nous venons de parler ne pourrait être formulée nettement que si des essais en grand exécutés avec des chaux de différentes compositions chimiques et de fabrication irréprochable, venaient corroborer ces essais de Laboratoire, car actuellement, la plupart des ingénieurs

(1) Chaux et ciments, E. Leduc.

(2) Il est bon de rappeler que d'après différents expérimentateurs certains ciments de laitier et à prise rapide ne sont pas décomposés par la solution de sulfate de magnésie. Nos expériences à ce sujet sont trop peu nombreuses pour nous permettre de formuler une conclusion.

maritimes n'ont foi que dans les chaux siliceuses généralement d'une marque unique, employée depuis fort longtemps. Il ne serait pas difficile d'élaborer un programme d'expériences pour lequel on demanderait l'avis des expérimentateurs s'étant occupés particulièrement de cette question, d'exécuter ce programme avec rapidité et d'être fixés ainsi en toute connaissance de cause et en quelques années sur la valeur des chaux alumineuses comparativement aux chaux siliceuses, question qui menace de faire couler encore beaucoup d'encre, et qui faute de conclusions parfaitement nettes peut parfois sembler aux intéressés, prêter à l'arbitraire (1).

Des éprouvettes identiques à toutes celles dont les résultats sont consignés dans les tableaux 1 et 2 ont été placées dans des solutions de chlorure de sodium, et de chlorure de magnésium.

Après deux années d'immersion les éprouvettes placées dans la première solution n'ont montré aucune trace de décomposition ; il en a été de même des éprouvettes placées dans la solution de chlorure de magnésium sauf pour les numéros 318, 346 et 349 qui après 2 années ont montré des traces de décomposition.

Influence d'une addition de matières pouzzolaniques sur la désagrégation des mortiers

Certains des produits dont nous venons d'analyser les résultats, ont été mélangés de leur poids de gaize légèrement torréfiée ou de laitier, puis immersés comme les produits précédents.

On voit par l'inspection du tableau 2 que les chaux hydrauliques et les ciments de grappiers additionnés de cette matière n'ont pas résisté à l'action des solutions de sulfate de magnésie et de sulfate de chaux.

Il en a été de même des ciments de Portland artificiels et naturels, qui ont donné les mêmes résultats, présentant tous des traces de désagrégation plus ou moins avancée après 2 années d'immersion dans la solution de sulfate de magnésie, ainsi que des 2 ciments rapides essayés qui, après 2 années d'immersion sont plus ou moins décomposés.

Dans une note parue dans le procès-verbal de la séance du 25 octobre 1902, section des ciments, de la réunion des membres français de l'Association internationale des matériaux de construction, M. Bied signale la décomposition des chaux hydrauliques et des ciments de grappiers peu alumineux, additionnés de pouzzolane, gaize et argile, immersés dans une solution de sulfate de magnésie additionnée de sulfate de soude, de sulfate de chaux et de chlorure de sodium.

Les essais 342-344-346-348-350, montrent que les chaux alumineuses aussi bien que les autres, n'ont rien à gagner par cette addition.

(1) Il existe bien une commission chargée d'étudier cette question, mais cette commission est exclusivement administrative.

Une addition de gaize est également sans action sur le portland additionné de plâtre 338-340.

Action des sels de l'eau de mer au point de vue de la résistance

Tous les expérimentateurs qui ont essayé des ciments à l'eau de mer savent qu'en général, vers 6 mois ou 1 an, parfois plus tard, les ciments en pâte pure présentent à l'essai de traction une chute de résistance considérable par suite d'un phénomène encore inexpliqué. Cette chute de résistance ne se produit aucunement pour l'essai de compression.

Nous avons cherché à rendre compte de la nature du sel cause de ce phénomène, en immergeant des briquettes en pâte pure de différents portlands artificiels dans de l'eau de mer et dans des solutions de sels de l'eau de mer.

Par l'inspection du tableau 3, on voit que, contrairement à ce que l'on aurait pu croire, le sulfate de magnésie (E) n'est nullement cause de ce phénomène, car la chute accusée à 1 an par les ciments immersés dans cette solution provient de la désagrégation des briquettes dont certaines étaient dans un tel état qu'elles n'ont pu être comprimées. Dans ces essais l'eau de mer n'a montré même après 2 années d'action, aucune chute dans la résistance des produits ce qui se présente parfois.

La solution de chlorure de magnésium (D) n'a rien indiqué ni celle de sulfate de magnésie et de chlorure de magnésium (G). Par contre la solution de chlorure de sodium (I) a montré une chute bien nette quoique peu accentuée. Le mélange de chlorure de sodium et de chlorure de magnésium (K) a montré dans tous les essais une chute de résistance parfaitement bien accusée qui est devenue considérable par une addition de sulfate de magnésie à la solution (H). Nous n'avons pu, par suite de notre départ du laboratoire dans lequel nous avons exécuté ces essais, étudier les causes de cette action des chlorures qui, comme on le sait, dissolvent facilement le sulfate de chaux, et empêcheraient d'après M. Rebuffat le sulfo-aluminate de se former. Ces essais sembleraient démontrer que les chlorures jouent peut-être un rôle plus considérable qu'on ne le pense.

Action des pouzzolanes sur la résistance (1)

Dans les nombreux essais que nous avons exécutés nous avons étudié l'action des pouzzolanes non seulement sur les ciments immersés dans l'eau de mer, mais aussi sur ceux conservés dans l'eau douce et placés aux intempéries (sur le

(1) Parmi les résultats condensés dans les tableaux ci-après, quelques uns ont été publiés dans un ouvrage sur les chaux et ciments édité en 1902 par la maison J. B. Baillière.

toit du laboratoire). Nous avons également étudié l'action des pouzzolanes sur quelques chaux hydrauliques.

Pour nous mettre complètement à l'abri de l'influence de la compacité des mortiers par suite de l'addition d'une matière fine comme la pouzzolane employée, nous avons dans chaque série d'essais fabriqué des mortiers identiques dans lesquels nous avons remplacé la pouzzolane par du blanc d'Espagne ou du sable.

D'un autre côté pour mettre en évidence l'action de la pouzzolane nous avons fabriqué des mortiers identiques dans lesquels la proportion de pouzzolane ajoutée était remplacée par une même quantité du ciment employé.

Si nous prenons, pour donner un exemple, parmi les mortiers expérimentés le mortier (1 : 1) 1, cette notation signifie que ce mortier contient pour 1.000 parties de matières sèches :

$$(250 \text{ gr. ciment} + 250 \text{ gr. pouzzolane}) + 500 \text{ gr. sable}$$

$$(1 \quad " \quad : \quad " \quad) \quad 1 \quad "$$

En remplaçant la proportion de pouzzolane par une même proportion de sable ou de ciment, on obtient dans le premier cas un mortier composé de :

$$(250 \text{ gr. ciment} + 250 \text{ gr. sable}) + 500 \text{ gr. sable}$$

$$(1 \quad " \quad : \quad 1 \quad) \quad 1$$

contenant 250 gr. ciment pour 750 gr. sable, c'est-à-dire un mortier 1 : 3.

Dans le second cas le mortier se compose de :

(250 gr. ciment + 250 gr. ciment) + 500 gr. sable
c'est-à-dire 500 gr. de ciment pour 500 gr. de sable, ce qui donne un mortier 1 : 1.

Les sables employés ont été du sable normal français de Leucate (Aude) et du sable provenant des dunes de la plage de Boulogne-sur-mer.

Les mortiers que nous avons essayés avaient la composition ci-dessous :

Mortiers	Liant	Proportions de Pouzzolane (1)	Sables de dunes ou de Leucate
1 : 1	0k, 500		0k, 500
1 : 2	0, 333		0, 666
1 : 3	0, 250		0, 750
1 : 5	0, 166		8, 830
(1 : 1) 3	0, 250	0k, 250	0, 500
(1 : 1) 3	0, 083	0, 166	0, 750
(2 : 3) 3	0, 166	0, 083	0, 750
(3 : 1) 3	0, 186	0, 062	0, 750
(1 : 3) 3	0, 062	0, 186	0, 750
(2 : 1) 1	0, 332	0, 166	0, 500

Progression de la résistance. — Par le processus même de la prise qui

(1) Comme il a été expliqué plus haut, cette proportion de pouzzolane a été dans certains mortiers remplacée par une même quantité de sable, de blanc d'Espagne, ou même de ciment.

émet de l'hydrate de chaux, il est évident qu'au début, l'influence de la pouzzolane doit être nulle, cette matière ne trouvant à sa disposition qu'une quantité de chaux insuffisante pour se combiner intégralement et former dans le mortier un second ciment.

Pour nous en rendre compte nous avons exécuté un certain nombre d'essais récapitulés dans le tableau 4. On voit qu'au début la résistance des mortiers additionnés est beaucoup plus faible que les mortiers non additionnés, et que l'équilibre entre les 2 mortiers n'est atteint qu'après un temps plus ou moins long, et d'autant plus que le mortier est plus riche; 12 semaines pour le mortier 1 : 1, 4 semaines pour le mortier 1 : 3.

Chaux hydraulique. — L'addition de gaize ou de laitier granulé paraît être légèrement plus favorable dans les essais à l'eau douce que dans ceux à l'eau de mer; toutefois il y a lieu d'étudier la proportion de pouzzolanes à ajouter, cette proportion étant beaucoup moins élastique que dans le cas du ciment portland. On conçoit facilement qu'un excès de pouzzolanes venant jouer dans les mortiers de chaux hydraulique le rôle d'une matière inerte ne peut qu'affaiblir la cohésion d'une matière qui offre parfois assez peu de résistance par elle-même. Tableaux 5, 6, 7, 8 et 9.

Portland — L'influence d'une addition de pouzzolanes est très nette, notamment dans les mortiers moyens à (1 : 1) 3 et particulièrement marquée dans les mortiers contenant peu de ciment et beaucoup de pouzzolane, mortiers (1 : 2) 1 et (1 : 3) 1 (tableaux 10-11-12).

Pour les mortiers immersés dans l'eau de mer, l'influence des matières pouzzolaniques est encore plus nette que pour les mortiers placés dans l'eau douce (tableaux 13 et 14).

Intempéries. — Nous avons exécuté un certain nombre d'essais en plaçant les briquettes sur le toit du laboratoire.

L'influence de la gaize n'est certainement pas heureuse puisque certains mortiers 1 (1 : 1) 1 (1 : 2) 3 (1 : 2) 1 (1 : 3) 1 n'ont pas atteint 10 kg. alors que les mêmes mortiers dans lesquels la pouzzolane était remplacée par le même poids de sable donnent de 30 à 40 kg. après 2 années (tableau 15).

Le tableau 16 donne la composition chimique des principaux produits employés.

Il sera intéressant d'analyser ces expériences beaucoup plus longuement, quand on pourra faire état des résultats qui seront donnés par les briquettes d'essais actuellement en cours d'expériences.

Ces essais ont été établis pour durer dix années afin de permettre au temps, ce grand facteur dans les essais des produits hydrauliques de jouer entièrement son rôle.

Conclusions

1^o *Action chimique de l'eau de mer.* — Tous les mortiers quelle que soit la composition chimique des liants peuvent être désagrégés par la solution de sulfate de magnésie.

2^o *Action des matières pouzzolaniques sur la décomposition.* — La gaize employée par nous semble devoir être sans action sur les phénomènes chimiques de la décomposition, tous les ciments sauf un (n° 228) étant tous plus ou moins décomposés après 2 années d'immersion dans la solution de sulfate de magnésie.

3^o *Action des sels de l'eau de mer sur la chute de résistance du ciment en pâte pure.* — Il semble nettement établi que la chute de résistance observée dans les essais à la traction des briquettes de ciment pur soit due en partie aux chlorures de l'eau de mer.

4^o *Influence des pouzzolanes sur la résistance.* — Il y a intérêt à ce point de vue à ajouter des matières pouzzolaniques aux mortiers de ciment Portland et de chaux lorsqu'on n'a pas besoin immédiatement d'une résistance élevée, d'autant plus que cette addition peut dans certains cas abaisser notablement le prix de revient des mortiers.

TABLEAU I

N°s d'ordre	Nature des produits	Milieu dans lequel ont été placées les éprouvettes avant leur immersion dans les solutions de sulfate de magnésie ou de sulfate de chaux	Durée du séjour des éprouvettes dans le milieu avant leur immersion dans les solutions de sulfate de magnésie ou de sulfate de chaux	Etat des éprouvettes	
				placées dans la solution de sulfate de magnésie	placées dans la solution de sulfate de chaux Commencement de désagrégation après
230	Ciment Portland artificiel.	Eau distillée	7 mois	23 jours	80 jours
6.833	—	Eau de mer	4 ans	40 jours	82 jours
6.834	—	—	4 ans	36 jours	82 jours
6.845	—	—	4 ans	46 jours	52 jours
6.846	—	—	4 ans	46 jours	38 jours
6.847	—	—	4 ans	46 jours	44 jours
6.853	—	Eau douce	4 ans	36 jours	110 jours
6.854	—	—	4 ans	36 jours	74 jours
6.864	—	Eau de mer	4 ans	46 jours	80 jours
6.865	—	—	4 ans	46 jours	80 jours
6.878	—	—	4 ans	48 jours	33 jours
321	Ciment Portland artificiel de roches pures.	Eau distillée	30 jours	13 jours	42 jours
331	Ciment Portland artificiel de four tournant.	—	30 jours	13 jours	66 jours
333	—	—	30 jours	12 jours	33 jours
368	—	—	40 jours	22 jours	53 jours
7.523	Ciment Portland naturel.	Eau de mer	28 jours	N'a été obs. qu'après 2 ans	Néant après 2 ans
7.524	—	—	—	—	id.
329	—	Eau distillée	30 jours	103 jours	id.
6.848	Ciment de grappiers.	Eau de mer	4 ans	110 jours	2 ans
6.849	—	—	4 ans	110 jours	2 ans
325	Ciment de grappiers du bassin du Teil.	Eau distillée	30 jours	*	Néant après 2 ans
335	Ciment de grappiers de la Dordogne (France)	—	30 jours	103 jours	id.
369	Ciment de grappiers du bassin du Teil.	—	40 jours	53 jours	id.
351	Ciment rapide.	—	19 mois	18 jours	21 jours
327	—	—	30 jours	2 ans	Néant après 2 ans
6.841	Chaux hydraulique.	Eau de mer	4 ans	110 jours	id.
6.850	—	—	4 ans	124 jours	id.
6.851	—	—	4 ans	124 jours	2 ans
341	Chaux hydraulique du bassin du Teil.	Eau distillée	32 jours	2 ans	2 ans
343	Chaux hydraulique de la Dordogne (France)	—	32 jours	127 jours	2 ans
345	—	—	32 jours	22 jours	*
347	—	—	32 jours	20 jours	85 jours
349	Chaux hydraulique de l'Ouest de la France.	—	32 jours	20 jours	87 jours
370	Chaux hydraulique du bassin du Teil.	—	32 jours	53 jours	43 jours
371	Chaux hydraulique 370 additionnée de son poids de chaux grasse.	—	40 jours	53 jours	43 jours
6.831	Ciment Portland additionné de son poids de laitier non granulé.	Eau de mer	4 ans	23 jours	80 jours

TABLEAU II

N° d'ordre 13	Nature des produits	Milieu dans lequel ont été placées les éprouvettes avant leur immersion dans les solutions de sulfate de magnésie ou de sulfate de chaux	Durée du séjour des éprouvettes dans le milieu avant leur immersion dans les solutions de sulfate de magnésie ou de sulfate de chaux	Etat des éprouvettes	
				placées dans la solution de sulfate de magnésie	placées dans la solution de sulfate de chaux
227	Portland artific. 230 addit. de son poids de blanc d'Espagne	Eau distillée	7 mois	16 jours	33 jours
"	Portland artificiel additionné de 5 0/0 plâtre.	—	32 jours	22 jours	85 jours
339	—	—	32 jours	20 jours (1)	87 jours
357	Portland artificiel 368 additionné 5 0/0 plâtre.	—	32 jours	16 jours	62 jours
360	Ciment de grappiers 369 additionné de 5 0/0 de plâtre.	—	40 jours	2 ans	Néant après 2 ans
363	Chaux 370 additionnée de 5 0/0 de plâtre.	—	40 jours	2 ans	2 ans
366	— 371	—	40 jours	67 jours	43 jours
228	Portland artific. 230 addit. de son poids de gaize.	7368	—	7 mois	Néant après 2 ans
323	— 321	—	7368	30 jours	Néant après 2 ans
"	— 331	—	7366	30 jours	id.
334	— 338	—	7366	30 jours	id.
330	Portland natur. 329 additionné de son poids de gaize	7366	—	30 jours	2 ans
3	Ciment de grappiers 325 addit. de son poids de gaize	7366	—	30 jours	id.
3	— 335	—	7366	30 jours	127 jours
328	Ciment rapide 327 additionné de son poids de gaize	7366	—	30 jours	127 jours
342	Chaux hydraulique 341 addit. de son poids de gaize	7366	—	32 jours	33 jours
344	— 343	—	7366	32 jours	127 jours
346	— 345	—	7366	32 jours	127 jours
348	— 347	—	7366	32 jours	127 jours
350	— 349	—	7366	32 jours	127 jours
338	Portland plâtré 317 additionné de son poids de gaize	7366	—	32 jours	127 jours
340	— 339	—	7366	32 jours	127 jours
322	Portland 321 addit. de son poids de laitier granulé	7439	—	32 jours	22 jours
324	Ciment de laitier.	—	—	32 jours	45 jours
229	Portland artificiel 230 addit. de son poids de laitier granulé.	7380	—	32 jours	2 ans
			7 mois	2 ans	Néant après 2 ans

(1) Des fentes se sont également produites dans les éprouvettes conservées dans l'eau distillée.

TABLEAU III

Influence des différents sels de l'eau de mer sur la résistance du ciment Portland gâché en briquettes de pâte de ciment pur.

N° des ciments essayés	Temps après lequel les briquettes ont été cassées	Eau de mer		Solution de sulfate de magnésie		Solution de chlorure de magnésium		Solution de sul- fate de magnésie et de sulfate de magnésium		Solution de chlo- rure de sodium		Solution de chlo- rure de sodium et de sulfate de magnésie		Solution de chlo- rure de sodium et de chlorure de magnésium		Solution de chlo- rure de sodium, de sulfate de magné- sie et de chlorure de magnésium	
		B		E		F		G		I		J		K		H	
		Résistance à la Traction	Com- press.	Résistance à la Traction	Com- press.	Résistance à la Traction	Com- press.	Résistance à la Traction	Com- press.	Résistance à la Traction	Com- press.	Résistance à la Traction	Com- press.	Résistance à la Traction	Com- press.	Résistance à la Traction	Com- press.
7.220	6 mois	77,0	598	71,6	659	53,0	706	63,8	734	60,3	520	63,0	536	51,1	452	69,0	472
	1 an	83,0	639	69,3	829	54,3	765	69,3	825	65,3	528	62,6	596	75,3	466	27,8	530
	2 ans	70,5	601	56,5 (2)	713	52,3	795	73,1 (6)	862	52,0	561	68,1	582	40,6	481	10,5 (7)	451
7.222	6 mois	74,3	537	66,1	568	50,6	689	65,8	649	52,8	433	59,5	460	46,0	434	64,8	419
	1 an	72,6	561	64,5	792	53,1	760	64,3	832	59,3	486	65,1	555	57,6	426	11,5	435
	2 ans	66,6	565	51,6 (2)	674	55,3 (8)	853	75,5 (6)	861	48,1	558	63,1	562	28,6	415	8,5	465
7.288	6 mois	76,8	664	75,1	745	52,8	743	69,0	698	59,6	645	54,8	609	54,0	494	72,0	521 (1)
	1 an	78,5	673	64,0	824	49,6	788	70,6	824	61,8	655	63,5	505	68,5	531	38,5	524
	2 ans	65,1	726	58,0 (10)	810	51,3 (8)	901	65,1	911	53,3	743	63,6	691	31,6 (7)	474	9,0	572
7.297	6 mois	68,3	448	55,6	538	50,5	589	58,1	618	53,4	425	58,0	402	49,0	575	63,6	382
	1 an	73,8	551	30,5 (3)	(12)	54,0	649	66	668	61,5	464	64,3	505	61,0	399	15,8	388
	2 ans	68,4	545	23,8 (11)	»	46,8	728	63,3	649	50,1	480	61,0	483	35,1 (7)	371	9,0	399
7.317	6 mois	71,3	565	56,3	601	53,0	709	67,3	624	61,0	577	59,3	613	52,0	514	62,4	478 (2)
	1 an	75,5 (4)	639	45,8 (5)	(12)	57,3	765	64,5	806	57,1	653	70,0	698	65,0	514	9,4	519
	2 ans	50,1 (2)	583	35,2	»	55,8	853	71,8	743	45,1	743	66,3	675	31,6 (8)	464	3,0 (4)	518

(1) Veines sur les contours.

(2) Commencement de désagrégation.

(3) Désagrégation avancée.

(4) Désagrégation.

(5) Désagrégation très avancée.

(6) 2 briquettes cassées hors la section.

(7) 3 briquettes cassées hors la section.

(8) 1 briquette cassée hors la section.

(10) Léger commencement de désagrégation.

(11) Désagrégation complète.

(12) Désagrégation avancée empêchant d'exécuter l'essai de compression.

TABLEAU IV

Progression de la résistance de mortiers de Portland (n° 7.460) additionné et non additionné de gaize calcinée (n° 7.366).

Conservation dans l'eau douce.

Temps après lequel les briquettes ont été cassées	Mortier 1 : 1		Mortier (1 : 1) 1 (additionné)		Mortier (1 : 3)		Mortier (1 : 1) 3 (additionné)	
	Traction	Com- pression	Traction	Com- pression	Traction	Com- pression	Traction	Com- pression
1 jour	6,4	83	2,5	36	3,5	50	1	31
2 »	16,8	147	5	56	8	90	1,7	42
3 »	23,3	204	6,5	64	9,1	104	3,6	57
4 »	26,6	242	8,6	74	12,6	117	4,0	61
5 »	26,6	232	9,6	87	14,3	127	4,5	58
6 »	30,8	320	9,5	89	12,6	133	5,6	75
1 semaine	31,8	269	10,1	93	13,5	159	6,1	99
2 »	35,8	283	14,5	129	16,0	159	8,5	112
3 »	39,3	357	21,3	145	17,1	164	13,0	140
4 »	39,0	303	24,8	159	17,6	184	16,8	144
6 »	39,6	363	30,3	205	19,8	214	23,3	202
8 »	41,3	431	33,0	230	20,6	221	25,8	215
10 »	38,0	411	34,5	245	21,8	240	30,3	234
12 »	38,8	415	36,1	285	21,1	197	31,5	249
17 »	34,0	390	37,6	287	21,3	215	29,2	249
21 »	37,5	462	40,6	369	23,3	247	35,1	261
26 »	38,4	424	38,6	391	22,6	258	35,0	317
1 an	39,8	474	46,6	399	29	283	41,8	346
2 ans	50,5	513	40,3	448	28,8	274	35,8	351

TABLEAU V

Mortiers de chaux lourde (n° 7.437) additionnée de gaize calcinée (n° 7.366).

N°s d'ordre	Composition des mortiers	Résistance à la traction						Résistance à la compression					
		1 semaine	4 semaines	12 semaines	26 semaines	1 an	2 ans	1 semaine	4 semaines	12 semaines	26 semaines	1 an	2 ans
Eau douce													
306	(1 : 1) 3	3,3	13,4	16,4	32	33,6	28,3	54	118	202	246	313	306
308	(1 : 3) 3	2,5	10	22,4	28,3	31,1	31,8	54	119	160	235	270	279
310	(3 : 1) 3	2,1	11,8	18,0	47,4	16,1(2)	12,2(2)	32	93	101	128	107	85
255	(1 : 3)	4,6	9,1	18,6	26,8	29,1	27,3	58	92	152	207	188	252
Eau de mer													
307	(1 : 1) 3	3,5	12,1	27,4	25,6	30,1(2)	29,8 2)	49	123	215	230	261	281
309	(1 : 3) 3	2,4	9,1	23,1	25,3	31,8	27	46	88	201	221	243	262
311	(3 : 1) 3	1,5	11,8	9,5(1)	—	—	3,5	33	89	—	—	—	24
312	(1 : 2) 3	2,6	9,4	22,0	—	8,2	—	46	107	161	—	96	—
313	(2 : 1) 3	2,5	6,8	20,0	—	32	—	43	108	204	—	247	—
261	(1 : 3)	4,3	8,6	18,8	24,1	24,4	24,3	59	81	151	181	221	226

(1) Briquettes sans cohésion.

(2) Les briquettes s'effritent par suite du peu de cohésion.

TABLEAU VI

Mortiers de chaux lourde (n° 7.437) additionnée de laitier granulé (n° 7.439).

N° d'ordre	Composition des mortiers	Résistance à la traction						Résistance à la compression					
		1 semaine	4 semaines	12 semaines	26 semaines	1 an	2 ans	1 semaine	4 semaines	12 semaines	26 semaines	1 an	2 ans
Eau douce													
250	(1 : 1) 3	4,1	16,5	24	30	28,4	32,7	67	153	212	239	270	297
251	(1 : 2) 3	4,6	14,5	21,6	28	29,8	31,2	59	140	181	250	212	251
252	(2 : 1) 3	4,6	14,3	26,5	29,6	34,3	34	61	132	215	256	307	284
253	(3 : 4) 3	6,3	14,0	26,0	29,5	34	23	73	138	203	210	276	270
254	(1 : 3) 3	4,8	12,8	22,3	30,5	31,1	31,5	67	122	186	223	241	256
255	1 : 3	4,6	9,4	18,6	26,8	29,1	27,3	58	92	152	207	188	252
Eau de mer													
256	(1 : 1) 3	5,8	16,6	28,0	25,8	29,3	27,5	63	164	218	220	228	239
257	(1 : 2) 3	5,5	20,6	29,0	32	32,1	34,8	58	155	200	213	222	247
258	(2 : 1) 3	5,6	15,5	26,8	30,3	18,6	26	61	132	223	232	242	220
259	(3 : 4) 3	8,6	22,8	28,3	32,5	34,1	27,2	96	172	265	256	302	306
260	(1 : 3) 3	5,3	13,5	23,5	26,8	26	26,2	60	110	193	216	220	227
261	1 : 3	4,3	8,6	18,8	24,1	24,1	24,3	59	81	151	181	221	226

TABLEAU VII*Mélanges de chaux hydraulique (n° 7.435) et de gaise caicinée (n° 7.366).*

N° d'ordre	Composition des mortiers	Résistance à la compression						Résistance à la compression					
		1 semaine	4 semaines	12 semaines	26 semaines	1 an	2 ans	1 semaine	4 semaines	12 semaines	26 semaines	1 an	2 ans
Immersion dans l'eau douce													
298	(1 : 4) 3	4,9	10,1	21,6	25,3	29,8	21,8(2)	33	82	129	194	296	242
302	(1 : 3) 3	4,5	6,4	12,8	19,8	25,5	21,2	41	79	182	181	199	223
304	(3 : 1) 3	2,8	8,8	19,5	24,5	27,5	21	36	77	114	188	182	167
267	1 : 3	2,4	6,3	14,3	18,5	20,3	20,5	33	80	115	168	183	193
Immersion dans l'eau de mer													
299	(1 : 4) 3	2,1	8,1	20,4	20,3	24,6	23	40	90	158	172	229	232
300	(1 : 2) 3	4,9	9,8	19,6	17,0	13,6	9,2(3)	34	87	156	132	123	89
301	(2 : 1) 3	4,8	7,3	17,8	24,6	24,5	22,6	38	87	162	193	229	190
303	(1 : 3) 3	4,6	5,5	13,5	19,0	21,6	20,5	32	70	171	167	183	195
305	(3 : 1) 3	2,6	10,6	20,0	10 (1)	6,6(4)	3,2(4)	34	78	113	78	73	45
273	1 : 3	2,7	5,3	12,8	12,4(5)	17,6(5)	15,3(5)	41	66	107	122	177	208

(1) Briquettes ayant peu de cohésion.

(2) Les briquettes s'effritent par suite du peu de cohésion.

(3)

(4) Cassage défectueux des briquettes provenant du peu de cohésion.

(5) Commencement de désagrégation.

TABLEAU VIII

Mortiers de chaux hydraulique (n° 7.435) et de laitier granulé (n° 7.439).

N° d'ordre	Composition des mortiers	Résistance à la traction						Résistance à la compression					
		1 semaine	4 semaines	12 semaines	26 semaines	1 an	2 ans	1 semaine	4 semaines	12 semaines	26 semaines	1 an	2 ans
Immersion dans l'eau douce.													
267	1 : 3	2,4	6,3	11,3	18,5	20,3	20,5	33	80	115	168	183	193
262	(1 : 1) 3	2,3	9,0	17	24	28,5	27,6	39	120	162	200	241	241
263	(1 : 2) 3	3,8	15,1	14,3	25,5	29	26,2	60	123	180	209	231	269
264	(2 : 4) 3	2,4	12,3	20,3	22,0	30	28,2	58	127	167	217	228	271
265	(3 : 1) 3	3,1	9,8	14,6	23,0	23,5	25	44	91	112	180	183	190
266	(1 : 3) 3	2,6	10,1	19,5	23,3	25,3	27,7	41	103	147	172	244	254
Immersion dans l'eau de mer.													
273	1 : 3	2,7	5,3	12,8	12,1(1)	17,6(1)	15,3(1)	41	66	107	122	177	208
268	(1 : 1) 3	2,6	11,0	16,6	16,0	14,3	20	46	141	182	172	188	169
269	(1 : 2) 3	4,2	14,3	17	22,6	24,3	22,2	68	152	196	193	176	222
270	(2 : 1) 3	3,6	10,1	18,1	25,8	21,1	21,5	54	109	171	166	201	216
271	(3 : 1) 3	5,3	17,3	23	24,5	27,1	28,7	54	126	159	171	191	193
272	(1 : 3) 3	3,6	12,0	17,6	22,8	24,6	22,8	50	117	184	205	228	220

(1) Commencement de désagrégation.

TABLEAU IX

Mortiers de chaux hydraulique (n° 7405) additionnée de matières pouzzolaniques. Gaize (n° 7366) et Laitier granulé (n° 7350).

N° d'ordre	Composition des liants	Composit. des mortiers	Milieux de conservation	Résistance à la traction					Résistance à la compression						
				1 semaine	4 semaines	12 semaines	26 semaines	1 an	2 ans	1 semaine	4 semaines	12 semaines	26 semaines		
226	Chaux seule (n° 7405).	1 : 3	Eau douce	4,8	9,0	16,8	24,0	31,5	29	57	95	153	211	272	384
238	Chaux + Blanc d'Espagne (1 : 1)	3	—	0	3,0	6,1	10,1	13,3	11,5	21	38	55	105	113	102
223	Chaux + Laitier (n° 7380).	(1 : 1) 3	—	13,3	22,5	26,4	29,3	30,3	33,2	118	203	182	261	251	327
239	Chaux + Blanc d'Espagne (1 : 2)	3	—	0	2,1	5,5	4,3	5,8	6,3	17	30	54	69	76	90
224	Chaux + Laitier (n° 7380).	(1 : 2) 3	—	13,5	25,3	27,6	34,5	35,1	24,8	126	233	216	297	307	369
240	Chaux + Blanc d'Espagne (2 : 1)	3	—	1,08	3,7	8,3	14,5	17,1	14,2	29	50	103	126	131	145
225	Chaux + Laitier (n° 7380).	(2 : 1) 3	—	13,1	20,3	26,6	31,3	33,4	35,3	129	171	243	256	307	332
237	Chaux seule (n° 7405).	1 : 3	Eau de mer	2,3	7,0	13,6	18,1	23,1	20,5	41	60	135	197	259	240
241	Chaux + Blanc d'Espagne (1 : 1)	3	—	1,1	3,6	8,6	12,0	11,3	12,3	16	40	90	110	112	114
234	Chaux + Gaize (n° 7366).	(1 : 1) 3	—	1,9	12,6	28,5	32,1	39,8	33,7	36	137	213	269	313	381
242	Chaux + Blanc d'Espagne (1 : 2)	3	—	1,1	1,7	5,3	6,8	7,6	7,3	20	38	45	78	86	82
235	Chaux + Gaize (n° 7366)	(1 : 2) 3	—	3,8	20,6	28,6	27,6	23,8	17,8	55	166	231	269	213	187
243	Chaux + Blanc d'Espagne (2 : 1)	3	—	1,5	4,2	10,1	13,3	13,6	14,2	24	49	104	145	165	150
236	Chaux + Gaize (n° 7366).	(2 : 1) 3	—	2,0	11,3	25,3	28,3	27,6	29,2	38	101	216	227	249	313

TABLEAU X

Mortiers de ciment (n° 7.419) additionné de gaize (n° 7.366).

N° d'ordre	Composition des mortiers	Résistance à la traction						Résistance à la compression					
		1 semaine	4 semaines	12 semaines	26 semaines	1 an	2 ans	1 semaine	4 semaines	12 semaines	26 semaines	1 an	2 ans
Eau douce													
246	1 : 1	25,6	40,6	42,5	46,8	49	48,7	237	379	516	525	536	733
244	(1 : 1) 1	10,6	20,5	28,3	32,5	35,7	35,3	94	146	217	254	355	268
247	1 : 3	7,5	16,6	22,8	29	28,7	29	105	173	219	288	264	300
245	(1 : 1) 1	4,5	12,3	20,5	29,3	35	32,3	78	136	183	235	245	297
248	(2 : 1) 1	13,0	25,6	33,6	»	»	»	129	214	283	»	»	»
249	(2 : 1) 3	6,2	13,2	21,4	»	»	»	91	146	203	»	»	»

TABLEAU

Mortiers de Portland additionné de matières

N° d'ordre	Mortiers (1 : 1) 1					Mortiers (1 : 1) 2					Mortiers (1 : 1) 3				
	1 semaine	4 semaines	12 semaines	1 an	2 ans	1 semaine	4 semaines	12 semaines	1 an	2 ans	1 semaine	4 semaines	12 semaines	1 an	2 ans
Résistance															
A	11,7	17,2	20,7	28,5	29,5	8,5	13,5	17,5	24,0	25,7	5,8	9,7	12,5	19,2	20
B	10,0	13,0	18,7	29,2	27,2	2,7	7,2	10,0	16,7	18,7	1,7	4,0	5,2	11,0	11
C	19,2	29	35,2	47,0	47,5	11,0	21,3	25,5	36,7	38,7	7,7	13,2	18,0	29,7	28,5
7.366	6,7	21,5	31,0	37,7	32,5	4,0	11,2	23,5	29,0	27,3	4,7	10,2	20,0	23,2	26,3
7.367	5,2	13,0	25,0	35,2	30,3	»	»	»	»	»	1,2	3,7	14,2	18,7	25,3
7.368	5,7	14,0	24,7	30,0	28,8	»	»	»	»	»	1,7	6,2	14,0	11,0	20,3
7.370	»	»	»	»	30,3	»	»	»	»	»	5,2	16,5	23,7	25,2	30
7.374	6,5	21,1	27,5	32,0	23,3	»	»	»	»	»	2,0	11,0	16,2	21,2	21,5
7.375	5,5	12,2	19,7	21,7	37,3	»	»	»	»	»	1,2	8,2	18,7	28,0	25,7
7.377	14,5	26,7	30,6	38,7	37,5	7,5	17,5	23,5	30,2	33	3,2	6,5	13,7	21,0	21,7
7.378	10,2	23,5	36,8	33,5	36,3	8,0	17,0	30,0	36,2	37	3,7	13,5	18,3	22,7	27,7
7.379	7,7	25,0	34,2	36,5	38,8	6,0	14,0	24,7	35	34	3,2	8,5	14,7	20	24,5
7.380	16,7	30,5	35,6	40,2	38,8	10,5	18,2	24,5	34	37,5	4,5	10,5	17,5	20,7	27,2
7.381	14,7	29,5	42,7	41	40,3	9,5	21,7	34,5	37,5	38	7,5	16,7	21,0	27,7	32,7

A Mortiers dans lesquels la proportion de pouzzolane a été remplacée par un même poids de blanc d'Espagne.
B du même sable que celui
C de même ciment.

XI

pouzzolaniques conservés dans l'eau douce.

	Mortiers (1 : 2) 2					Mortiers (1 : 2) 3					Mortiers (1 : 2) 1					Mortiers (1 : 3) 1				
	1 semaine	4 semaines	12 semaines	1 an	2 ans	1 semaine	4 semaines	12 semaines	1 an	2 ans	1 semaine	4 semaines	12 semaines	1 an	2 ans	1 semaine	4 semaines	12 semaines	1 an	2 ans
à la traction.																				
	5,2	8,5	10,2	16,0	19,7	3,2	7,0	14,5	16,2	14,7	5,0	8,2	12,5	18,5	16,5	3,7	6,0	8,2	17,4	14,5
	0	2,5	4,0	7,0	8,5	0,6	4,3	3,7	7,5	7,5	2,7	7,2	10,0	16,7	18,7	1,7	4,0	5,2	11,0	11
	11,0	21,3	25,5	36,7	38,7	7,7	13,2	18,0	29,7	28,5	19,2	29,0	35,2	47	47,5	19,2	29,9	35,2	47	47,5
	10,0	14,5	20,2	17,7	30	4,2	14,0	14,5	22,7	27	6,0	18,2	20,7	25,7	25	8,0	17,7	19,0	23	25,8
	»	»	»	»	»	0,7	2,2	6,5	13	19,3	4,7	6,5	13,2	21,5	27,5	4,4	6,7	12,2	14,0	20,3
	4,5	8,5	13,0	21,0	25,5	2,6	7,7	12,0	18,0	26,5	4,0	17,0	14,0	21,2	28,3	4,7	16,2	18,2	23,2	25,5
	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
	7,2	13,5	22,7	27,5	34,7	5,2	8,2	12,7	15,2	22,5	8,0	21,2	29,5	35,6	31,3	5,7	19,7	25,7	34,7	30,5
	6,2	20,2	32,0	30,2	37,2	3,7	12,0	19,7	18,7	25,3	14,7	28,0	38,0	40	44	6,2	22,7	32,5	30	33
	4,3	12,0	23,0	29,2	29,7	1,8	7,5	12,5	13,5	46	7,0	21,5	31,0	35,7	34,3	6,7	23,2	31,0	39,7	40
	11,5	24,5	30,5	32	38	5,2	14,7	23,0	23,5	29	15,0	28,2	31,2	34	36	5,0	11,7	23,2	28,7	40
	9,2	18,7	24,7	31,7	34,5	2,8	14,5	22,5	19,7	27	10,5	26,3	33,2	30	35,5	8,2	17,1	24,2	28	26,3

entrant dans la composition des mortiers.

TABLEAU

Mortiers de Portland additionné de matières

N ^o d'ordre	Mortiers (1 : 1) 1					Mortiers (1 : 1) 2					Mortiers (1 : 1) 3				
	1 semaine	4 semaines	12 semaines	1 an	2 ans	1 semaine	4 semaines	12 semaines	1 an	2 ans	1 semaine	4 semaines	12 semaines	1 an	2 ans
Résistance															
A	102	149	189	246	265	101	132	185	235	251	79	129	146	207	214
B	94	146	190	260	324	35	68	82	134	140	28	39	52	81	88
C	172	242	334	513	554	124	223	256	405	415	74	128	142	253	260
7.366	70	133	220	251	297	56	107	159	248	254	114	113	237	239	225
7.367	62	116	163	260	297	»	»	»	»	»	36	63	88	173	189
7.368	60	113	166	231	247	»	»	»	»	»	51	73	98	171	163
7.370	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	94	149	169	207	205
7.374	81	162	192	226	230	»	»	»	»	»	45	113	137	199	166
7.375	46	97	160	244	251	»	»	»	»	»	34	78	142	224	211
7.377	114	188	243	358	380	114	224	221	280	343	48	95	128	200	218
7.378	124	258	318	389	391	121	180	284	333	379	92	124	174	219	246
7.379	100	231	313	432	436	86	161	248	332	335	42	83	138	198	245
7.380	168	268	308	384	367	119	216	292	351	365	60	110	139	205	246
7.381	142	203	296	400	408	116	226	283	370	395	113	167	234	271	304

A Mortiers dans lesquels la proportion de pouzzolane a été remplacée par un même poids de blanc d'Espagne.
B — du même sable que celui
C — du même ciment.

XII

pouzzolaniques diverses conservées dans l'eau douce.

	Mortiers (1 : 2) 2					Mortiers (1 : 2) 3					Mortiers (1 : 2) 3					Mortiers (1 : 3) 1				
	1 semaine	4 semaines	12 semaines	1 an	2 ans	1 semaine	4 semaines	12 semaines	1 an	2 ans	1 semaine	4 semaines	12 semaines	1 an	2 ans	1 semaine	4 semaines	12 semaines	1 an	2 ans
à la compression.																				
75	107	127	183	200	47	86	150	172	136	62	84	101	161	178	43	58	74	102	115	
15	31	34	57	58	19	20	26	31	41	35	68	82	134	140	28	39	52	81	88	
124	223	256	405	415	74	128	142	252	260	172	242	334	513	554	172	242	334	513	554	
59	101	128	136	209	45	99	120	209	195	48	100	111	193	200	52	80	106	167	182	
»	»	»	»	»	225	55	92	136	159	36	72	114	182	196	32	80	116	129	175	
45	79	82	154	184	30	81	92	162	193	39	84	108	164	211	39	84	106	149	166	
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
98	159	195	265	319	76	87	116	151	173	106	184	231	291	305	85	150	201	239	275	
124	193	240	285	295	71	120	152	193	223	136	245	298	332	350	90	174	236	276	299	
76	143	198	257	280	32	84	124	167	180	96	207	266	386	397	78	193	264	323	334	
116	204	257	299	381	74	140	182	242	267	152	245	266	352	379	66	140	259	277	457	
120	195	207	244	246	77	139	167	175	206	111	176	224	270	295	87	139	198	203	219	

entrant dans la composition des mortiers.

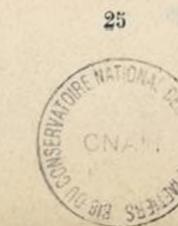


TABLEAU XIII

Mortiers de ciment Portland additionné de matières pouzzolaniques diverses conservés dans l'eau de mer.

N° d'ordre	Mortiers (1 : 1) 1				Mortiers (1 : 1) 2				Mortiers (1 : 1) 3				Mortiers (1 : 1) 5		Mortiers (1 : 2) 5	
	Sable de Dunes		Sable de Leucate		Sable de Dunes		Sable de Leucate		Sable de Dunes		Sable de Dunes		Sable de Dunes		Sable de Dunes	
	17 semaines	1 an	17 semaines	1 an	17 semaines	1 an	17 semaines	1 an	17 semaines	1 an	17 semaines	1 an	17 semaines	1 an	17 semaines	1 an
Résistance à la traction																
A	18,5 (1)	23,0 (6)	20,2 (1)	25,5 (6)	10,7 (2)	15,0 (6)	16,5	22,7 (6)	3,5 (2)	1,9 (7)	2,0 (3)	2,6 (7)	Désagrégés	»		
B	12,7	19,5	21,0	27,7	7,7	12,7	12,7	12,0	7,0	12,0	5,0	10	0,9 (6)	10		
C	33,2	35,7	38,7	44,7	18,0	23,7	27,7	31,2	13,5	16,2	8,7	13,2	8,7	13,2		
7.366	37,5	42,7	43,0	45,0	27,0	32,7	41,7	46,2	18,0	20,5	10,5	25,7	2,7	1,1		
7.367	25,7	29,7	32,5	35,7	17,5	25,7	28,0	35,5	10,5	19,7	6,7	11,2	4,0	3,7		
7.368	»	»	»	»	»	»	»	»	15,5	19,0	7,7	6,5	1,7	— (8)		
7.369	»	»	»	»	»	»	»	»	13,5	13,7	3,7	3,7	»	»		
7.370	40,0	40,7	47,7	50,0	31,0	34,5	43,7	52,5	15,5	25,7	7,0	6,7	4,0	2,2		
7.371	»	»	»	»	»	»	»	»	15,0	17,7	7,2	8,0	»	»		
7.372	»	»	»	»	»	»	»	»	15,5	21,7	9,0	11,0	»	»		
7.373	»	»	»	»	»	»	»	»	13,0	16,5	7,0	6,7	»	»		
7.374	»	»	»	»	»	»	»	»	19,0	21,0	7,5	8 (9)	3,0	3,8		
7.375	»	»	»	»	»	»	»	»	17,5	24,0	6,2	5,7	2,7	— (8)		
7.376	»	»	»	»	»	»	»	»	9,5	16,7	6,2	7,7	2,7	2,6		
7.377	44,2	41,7	48,6	52,0	21,5	28,3	34,5	43,7	16,2	22,5	11,0	13,7	9,5	13,3		
7.378	44,5	39,5	50,0	56,5	26,0	29,2	40,5	47,2	16,7	24,2	12,2	16,2	9,7	13,7		
7.379	»	»	»	»	»	»	»	»	13,7	19,7	6,2	10,5	»	»		
7.380	»	»	»	»	»	»	»	»	21,2	25,5	10,7	14,2	»	»		
7.381	»	»	»	»	»	»	»	»	21,7	25,5	8,7	10,0	»	»		

(1) Fentes légères sur les bords des briquettes.

(2) Fentes.

(3) Fentes accentuées, commencement de désagrégation.

(6) Commencement de désagrégation.

(7) Désagrégation prononcée.

(8) Briquettes cassées dans l'appareil Michaelis.

(9) Pas de consistance sur les bords des briquettes.

(10) Sans consistance.

A Mortiers dans lesquels la proportion de pouzzolane a été remplacée par un même poids de blanc d'Espagne.

B — — — — du même sable que celui entrant dans la composition des mortiers.

C — — — — du même ciment que celui entrant dans la composition des mortiers.

TABLEAU XIV

Mortiers de ciment Portland additionné de matières pouzzolaniques diverses conservés dans l'eau de mer.

N° d'ordre	Mortiers (1 : 1) 1				Mortiers (1 : 1) 2				Mortiers (1 : 1) 3				Mortiers (1 : 1) 5		Mortiers (1 : 2) 5	
	Sable de Dunes		Sable de Leucate		Sable de Dunes		Sable de Leucate		Sable de Dunes		Sable de Dunes		Sable de Dunes		Sable de Dunes	
	17 semaines	1 an	17 semaines	1 an	17 semaines	1 an	17 semaines	1 an	17 semaines	1 an	17 semaines	1 an	17 semaines	1 an	17 semaines	1 an
Résistance à la compression																
A	131	153	155	212	72	93	166	190	42	74	27	»	Désagrégés	»		
B	71	103	183	242	43	80	149	149	36	74	29	»	— (1)	»		
C	183	255	299	414	94	136	269	294	66	100	52	83	52	83		
7.366	265	304	360	396	150	196	313	377	90	102	51	162	19	»		
7.367	144	217	227	301	93	142	189	268	49	87	32	59	— (1)	37		
7.368	»	»	»	»	»	»	»	»	83	106	34	42	— (1)	23		
7.369	»	»	»	»	»	»	»	»	77	94	37	41	»	»		
7.370	298	344	436	408	161	193	389	427	88	106	29	45	24	28		
7.371	»	»	»	»	»	»	»	»	77	112	29	42	»	»		
7.372	»	»	»	»	»	»	»	»	79	126	33	49	»	»		
7.373	»	»	»	»	»	»	»	»	68	106	32	47	»	»		
7.374	»	»	»	»	»	»	»	»	83	109	33	34	20	30		
7.375	»	»	»	»	»	»	»	»	102	128	35	40	28	»		
7.376	»	»	»	»	»	»	»	»	38	74	25	— (2)	— (1)	25		
7.377	257	318	403	432	102	170	328	388	70	102	42	53	32	55		
7.378	310	381	489	481	142	182	351	420	79	111	46	64	41	57		
7.379	»	»	»	»	»	»	»	»	66	99	32	48	»	»		
7.380	»	»	»	»	»	»	»	»	83	119	42	68	»	»		
7.381	»	»	»	»	»	»	»	»	94	121	39	63	»	»		

(1) Briquette possédant peu de cohésion et n'ayant plus la forme régulière.

(2) Cassées dans l'appareil de compression.

(3) Sans consistance.

A Mortiers dans lesquels la proportion de pouzzolane a été remplacée par un même poids de blanc d'Espagne.

B — — — du même sable que celui entrant dans la composition des mortiers.
C — — — du même ciment.

TABLEAU

Mortiers de Portland additionné de matières pouzzolaniques diverses gâchés à l'eau douce

N° d'ordre	Mortier (1 : 1) 1				Mortier (1 : 1) 2				Mortier (1 : 3) 3						
	1 semaine	4 semaines	12 semaines	1 an	1 semaine	4 semaines	12 semaines	1 an	1 semaine	4 semaines	12 semaines	1 an			
Résistance															
A	19,7	28,7	32,5	37,6	44	18,6	25,0	30,7	34,5	35,7	8,5	17,7	18,5	23	24
B	14,0	22,5	30,5	36,5	40,5	7,5	15,0	19,5	34	34,2	4,7	9,5	16,5	18,7	23
C	23,7	25,0	40,1	46,5	55	15,2	25,2	32,2	34,2	28,3	12,5	20,5	26,5	31,7	37,5
7.366	10,0	18,7	22,2	8,7	8,7 ⁽¹⁾	6,7	15,5	19,0	12,5	12	7,0	13,2	16,7	14,2	13
7.367	12,5	23,5	27,2	35	34	»	»	»	»	4,5	11,2	16,7	25,0	23	
7.377	20,5	34	42,5	38,7	43,2	14,2	21,2	34,5	30,2	31,2	8,0	18,5	24,7	21,0	39,7
7.378	22,0	30,2	40,0	44	53	14,0	28,0	36,0	45,7	44	9,5	22,2	27,5	33,5	32
7.380	23,5	33,7	44,2	38,5	40,7	21,2	34,7	39,5	35,1	47,2	13,7	22,7	29,2	35	38

Résistance

A	176	241	242	294	354	177	248	270	295	363	91	157	146	218	243
B	139	175	218	344	398	61	85	110	214	241	26	45	70	135	143
C	190	316	357	484	500	156	237	280	428	447	93	157	172	249	278
7.366	88	145	171	341	387	71	127	132	248	349	63	111	123	174	227
7.367	106	149	184	344	360	»	»	»	»	54	85	111	210	221	
7.377	162	275	387	484	544	153	255	290	394	448	101	185	207	294	314
7.378	184	332	371	526	565	167	332	368	519	519	109	184	218	335	387
7.380	214	327	400	535	597	233	342	352	524	499	132	182	241	388	375

Les briquettes à 1 an présentaient souvent de nombreuses veines, notamment celles ayant donné une chute de
(1) Fentes prononcées.
(3) Légers fendeillements.

A Mortiers dans lesquels la proportion de pouzzolane a été remplacée par un même poids de blanc d'Espagne,
B du même sable que celui
C du même ciment que

XV

et placés aux intempéries (sur le toit du Laboratoire) une semaine après leur fabrication.

N° d'ordre	Mortier (1 : 2) 3				Mortier (1 : 2) 3				Mortier (1 : 2) 3				Mortier (1 : 3) 1							
	1 semaine	4 semaines	12 semaines	1 an	1 semaine	4 semaines	12 semaines	1 an	1 semaine	4 semaines	12 semaines	1 an	1 semaine	4 semaines	12 semaines	1 an				
à la traction.																				
A	9,2	15,0	46,5	45,5	22	6,0	11,7	18,2	18,7	19	8,5	47,2	21,7	16,5	19,7	5,7	8,7	14,7	13,5	16
B	2,5	7,5	18,0	17,7	17	4,0	5,2	13,5	8,0	6,7	7,5	15,0	19,5	34	34,2	4,7	9,5	16,5	18,7	23
C	15,2	25,2	32,9	34,2	28,3	12,5	20,5	26,5	31,7	37,5	23,7	25,0	40,1	46,5	55	23,7	25,0	40,1	46,5	55
7.366	7,2	10,2	46,0	»	37,5	4,2	8,0	8,7	5,5	5,3	7,5	12,0	14,0	3,7	4,3 ⁽³⁾	7,7	8,2	9,0	2,0	3
7.367	»	»	»	»	»	4,7	9,2	14,7	16,1	14	7,5	13,7	20,7	19,7	18	6,5	9,2	14,0	15,5	13
7.377	13,7	22,2	26,3	39	7,2	9,2	13,7	16,7	27,5	27,5	19,7	26,2	35,0	35,5	40,7	14,0	19,7	32,5	36,2	38,5
7.378	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	21,7	31,5	42,7	47,7	42,5	»	»	»	»	»
7.380	21,7	27,0	29,5	40,7	40,2	13,2	20,2	21,5	38,5	34,7	28,7	35,0	43,5	38,7	34,7	26,5	34,0	30,2	41	36,2

à la compression.

A	402	132	122	165	191	75	108	158	214	188	83	116	123	176	182	64	62	91	135	145
B	49	37	69	129	122	15	24	42	56	51	61	85	110	214	241	26	45	70	135	143
C	156	237	280	428	447	93	157	172	249	278	190	316	357	484	500	196	316	357	484	500
7.366	66	102	152	240	438	57	76	109	141	116	66	95	134	203	179	55	67	109	115	95
7.367	»	»	»	»	»	63	80	121	156	139	73	109	150	284	278	56	67	98	175	138
7.377	441	197	251	414</td																

TABLEAU XVI. — Nature, provenance et composition des produits employés.

N° d'ordre	Nature	Provenance	Composition chimique						
			Silice totale	Alu- mine	Sesq. de fer	Chaux	Ma- gnésie	Acide sulfur.	Perte au feu
7.366	Pouzzolane. Gaize calcinée.	Vouziers (Ardennes) France.	80,20	8,30	3,60	2,20	»	0,54	4,25
7.367	Brique pulvérisée.		77,10	12,80	5,30	2,30	1,00	0,08	1,25
7.368	Pouzzolane. Gaize calcinée.	Vouziers (Ardennes) France.	76,20	7,70	3,20	5,00	1,04	0,74	5,50
7.369	Pouzzolane. Riga Pouler.	Russie.	»	»	»	»	1,08	»	»
7.370	—	Rome.	45,90	19,00	9,90	10,40	3,06	0,07	10,90
7.371	—	Bacoli (Naples).	59,20	21,50	2,60	4,80	1,18	0,09	5,85
7.372	—	Santorin.	63,90	16,70	4,40	3,90	1,26	0,06	5,25
7.373	—	Nébraska.	74,10	13,50	1,70	1,10	0,00	0,00	4,80
7.374	Pouzzolane. Trass.		56,70	20,25	2,75	2,50	4,08	0,02	11,50
7.375	Pouzzolane. Gaize crue.	Vouziers (Ardennes) France.	78,00	8,30	2,50	1,80	1,00	0,06	8,00
7.376	—	Haute-Loire (France).	47,40	35,00	3,90	9,40	2,23	0,06	1,15
7.377	Laitier granulé.	Neuves-Maisons (France).	34,40	20,90	1,20	39,10	3,20	0,09	0,10
7.378	—	Saint-Dizier (France).	31,10	18,40	0,60	45,70	1,22	0,06	1,90
7.379	—	Saulnes (France).	32,70	17,30	1,20	44,40	2,05	0,05	1,50
7.380	—	Vitry-le-François (France).	31,10	23,80	0,40	41,00	1,85	0,17	0,00
7.381	—	Bourges (France).	35,70	21,20	0,40	41,20	0,58	0,05	0,50
7.439	—		37,90	21,70	0,50	38,40	0,39	0,06	0,40
7.435	Chaux hydraulique.	France.	16,20	2,90	1,50	63,40	1,10	0,62	13,25
7.437	Chaux lourde.	—	20,80	4,00	2,20	56,60	0,90	0,58	13,80
347	Chaux hydraulique.	—	16,90	9,10	1,40	58,20	1,26	1,02	12,00
6.844	—		»	»	»	»	»	»	»
6.850	—	Bassin du Teil (France).	20,30	2,20	1,05	63,45	0,95	0,94	10,75
6.851	—	—	20,95	1,90	1,05	63,00	0,92	0,90	10,95
6.848	Ciment de grappiers.	—	28,60	2,80	1,15	56,40	2,03	0,68	8,90
6.849	—	—	28,20	2,65	1,20	57,30	2,06	0,64	8,75
323 et 369	—	—	Même composition que 6.848 et 6.849.						
335	—		»	»	»	»	»	»	»
7.523	Portland naturel.		»	»	»	»	»	»	»
7.524	—		»	»	»	»	»	»	»
329	—		»	»	»	»	»	»	»
6.831	Portland artificiel.	Bassin de Boulogne-sur-Mer (France).	31,70	7,80	1,50	50,60	1,15	0,63	5,60
6.833	—	Nord (France).	20,35	5,60	1,50	63,90	1,83	1,09	4,20
6.834	—	Nord (France).	21,20	5,45	1,95	64,60	1,89	1,04	3,50
6.845	—	Bouches-du-Rhône (France).	20,05	7,95	3,10	64,45	1,08	1,13	5,35
6.846	—	—	19,85	8,10	2,90	60,30	0,88	1,30	5,70
6.847	—		19,85	8,30	2,85	60,45	0,93	1,35	5,00
6.853	—	Pas-de-Calais.	20,70	6,65	2,15	63,40	0,72	1,27	4,60
6.854	—	—	20,65	6,75	2,20	63,70	0,54	1,27	5,00
6.864	—	—	23,60	7,95	2,60	61,03	0,54	1,20	2,80
6.865	—	—	22,70	7,15	3,00	62,84	0,68	0,87	2,70
331	—		22,50	9,00	2,00	61,60	1,00	0,26	2,75
333	—		22,50	8,50	2,40	62,00	1,26	0,63	2,50
329	—		28,20	9,70	2,30	47,80	1,69	1,02	7,75
547	—		16,90	9,10	1,40	58,20	1,26	1,02	12,00



LAVAL. — IMPRIMERIE L. BERNARD & Cie

