

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 48 (1922)  
**Heft:** 11

**Artikel:** Le ciment fondu  
**Autor:** [s.n.]  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-37406>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 14.03.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

défini pour le choix des vitesses et des angles dans la roue. Et il ne paraît guère possible de beaucoup augmenter la vitesse spécifique simplement par le choix de proportions toutes nouvelles entre les éléments du diagramme. L'augmentation possible de la vitesse spécifique dépend donc : 1° De l'usage de chutes-vitesses (à la sortie de la roue) plus fortes, relativement à la chute totale. 2° De l'obtention de faibles coefficients de perte dans la roue et dans le tuyau d'aspiration, afin d'éviter un mauvais rendement. 3° Et enfin de l'observation des proportions entre vitesses déterminées ci-dessus.

*Augmentation possible de la vitesse spécifique.*

Pour se faire une idée de la possibilité d'augmenter encore la vitesse spécifique, il n'est pas sans intérêt de

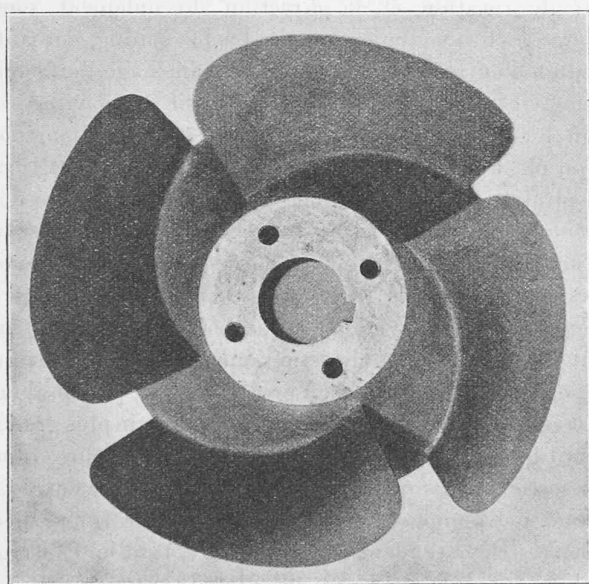


Fig. 13.

remarquer que si l'on respecte les conditions optima pour les proportions entre vitesses, les pertes que nous avons envisagées ici varient comme la puissance  $\frac{4}{3}$  de la vitesse spécifique, soit comme  $(n_{sQ})^{\frac{4}{3}}$ .

En effet, portons dans

$$h_L = \frac{f_2 \cdot f_2}{f_2 + f_3} \cdot U^2 + (f_2 + f_3) \cdot C_m^2$$

la valeur de U :

$$U = \frac{C_m \cdot (f_2 + f_3)}{\sqrt{\frac{1}{2} \cdot f_2 \cdot f_3}}$$

il vient :

$$h_L = 3 (f_2 + f_3) \cdot C_m^2$$

mais :

$$k_{sQ} \cdot n_{sQ} = U \cdot \sqrt{C_m} = \frac{f_2 + f_3}{\sqrt{\frac{1}{2} \cdot f_2 \cdot f_3}} \cdot C_m^{\frac{3}{2}}$$

donc la perte est :

$$h_L = \frac{3 (f_2 \cdot f_3)^{\frac{2}{3}}}{(2)^{\frac{3}{2}} \cdot f_2 + f_3} \cdot k_{sQ}^{\frac{4}{3}} \cdot n_{sQ}^{\frac{4}{3}}$$

et le rendement est :

$$\eta = 1 - \frac{3}{(2)^{\frac{3}{2}}} \cdot \frac{(f_2 \cdot f_3)^{\frac{2}{3}}}{(f_2 + f_3)} \cdot k_{sQ}^{\frac{4}{3}} \cdot n_{sQ}^{\frac{4}{3}}$$

Ceci ne tient compte que des deux pertes étudiées, et en néglige certaines autres. Les expressions ci-dessus du rendement ne sont donc qu'une indication de valeurs limite.

Dans une turbine à grande vitesse spécifique, les deux pertes envisagées constituent la presque totalité de la perte. Dans les turbines à faible vitesse spécifique, deux autres pertes prennent de l'importance, la perte au joint et la perte par frottement du disque. Il est possible de démontrer que ces pertes sont données, approximativement, par les formules suivantes, dans lesquelles :

$L_L$  = perte par fuite au joint, en valeur fractionnaire du débit total,

$L_D$  = perte par frottement du disque, en valeur fractionnaire de la puissance totale,

$$\Phi = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60 \cdot \sqrt{2gH}} = \text{diamètre « réduit » de la roue.}$$

$$L_L = \frac{q_L}{Q} = \frac{201\Phi^2}{n_{sQ}^2} \quad \text{et} \quad L_D = \frac{l_D}{N} = \frac{35\Phi^5}{n_s^2}$$

Mais pour les besoins de notre étude, une approximation moins grande suffit, et nous pouvons poser :

$$L_L = \frac{100}{n_{sQ}^2} \quad \text{et} \quad L_D = \frac{6}{n_s^2}$$

Lorsque la roue possède un joint à chicanes, la perte au joint est plus faible et égale à environ

$$L_L = \frac{50}{n_{sQ}^2}$$

ou moins encore. Nous verrons que ces pertes deviennent négligeables déjà pour des valeurs moyennes de  $n_s$  et de  $n_{sQ}$ , et qu'elles sont sans importance dans le domaine des grandes vitesses que nous explorons.

(A suivre.)

**Le ciment fondu.**

Voici quelques détails sur ce liant aussi curieux au point de vue théorique que remarquable par ses qualités.

On l'obtient en fondant dans un four approprié un mélange de calcaire ou de chaux et de bauxite. Sa composition chimique, essentiellement différente de celle des ciments artificiels ordinaires, est, en chiffres ronds, la suivante :

Silice . . . . .	10
Alumine . . . . .	40
Fer et oxydes de fer. . . . .	10
Chaux . . . . .	40

Son indice d'hydraulicité est, d'après cette analyse, excessivement élevé (1,25); son module silicique est, au contraire, très faible (0,25).

La silice est combinée à la chaux sous forme de silicate bicalcique, l'alumine sous forme d'aluminate monocalcique. Le silicate bicalcique étant un corps inerte, on voit que le ciment fondu doit ses propriétés hydrauliques uniquement aux aluminates.

On admettait, il y a quelques années encore, que le durcissement des ciments était dû à la présence du silicate tricalcique, les aluminates jouant, au contraire, le rôle essentiel au moment de la prise. De fait, les ciments prompts sont des ciments relativement riches en alumine et la résistance des ciments artificiels va de pair avec leur teneur en silicate tricalcique.

Le ciment fondu devrait avoir, d'après cela, une prise excessivement prompte et des résistances plus que médiocres. Il possède, au contraire, une prise lente et ses résistances sont des plus remarquables.

Les proportions respectives des éléments qui le constituent peuvent d'ailleurs varier dans de certaines limites, au contraire des autres ciments artificiels, dont la composition ne peut s'écarter beaucoup de celle que leur assignent les formules connues de Le Chatelier, de Newbery, etc. Par contre, d'autres facteurs que l'analyse chimique et la température de cuisson influent sur ses propriétés. C'est ainsi qu'on attache une particulière importance au traitement thermique du ciment à la sortie du four. Quant au four lui-même il peut appartenir à des types très différents.

A l'usine du Teil, le ciment fondu est fabriqué dans un Water-jacket<sup>1</sup> tel que ceux employés dans la métallurgie du cuivre ou du plomb, mais modifié en vue de cette fabrication spéciale. Il n'y a notamment qu'un seul orifice de coulée. Le ciment en fusion est recueilli dans des coupoles, concassé après refroidissement, puis trituré très finement.

C'est en prévision de la hausse du prix des combustibles, dont la répercussion devait être des plus marquées sur le prix de revient du ciment, que furent entrepris, d'un commun accord par la Société anonyme des Chaux et Ciments de Lafarge et du Teil et par la Société d'électro-chimie et d'électro-métallurgie, les premiers essais de fusion au four électrique.

La mise au point de ce procédé nouveau donna lieu à quelques tâtonnements, mais les difficultés furent vite surmontées et la fabrication du ciment fondu électrique peut être considérée comme entièrement au point. Au prix actuel des combustibles, elle ne constitue pas, sur le premier mode de fusion, un avantage marqué, car, s'il faut relativement peu de kilowatts-heure pour fondre une tonne de ciment, la consommation des électrodes est considérable. Néanmoins, les deux Sociétés intéressées n'ont pas renoncé à la fabrication électrique du ciment fondu, et l'usine de Moutiers en Savoie livrera prochainement ce ciment, la fabrication au water-jacket se poursuivant à l'usine du Teil, comme par le passé.

On a naturellement songé à appliquer à la fabrication du ciment fondu le four rotatif, dont l'avènement a si profondément modifié les méthodes de cuisson des ciments artificiels. Les premiers essais entrepris dans cette voie, à l'usine de Lafarge, ont été peu encourageants. Ils viennent d'être repris par d'autres fabricants, sans plus de succès, croyons-nous.

Enfin, malgré son nom, le ciment fondu peut être obtenu par simple clinkérisation du mélange intime de ses consti-

tuants. C'est même à l'état de clinkers qu'il fut découvert en Amérique par le technicien Spackmann, à l'époque où le service du Laboratoire de la Société de Lafarge et du Teil l'obtenait de son côté par fusion. Voilà un exemple parmi tant d'autres d'une découverte à peu près identique faite en même temps par deux chercheurs ignorant mutuellement leurs travaux. Ajoutons que M. Spackmann n'envisageait son ciment que comme une matière d'addition propre à améliorer les qualités d'autres ciments.

Le ciment fondu, si différent des ciments connus jusqu'alors par sa composition chimique et par sa fabrication, s'en distingue non moins nettement au point de vue de ses applications pratiques par deux qualités essentielles : ses hautes résistances initiales, son indécomposabilité absolue par les eaux sulfatées.

On sait que les ciments artificiels n'atteignent qu'au bout de quelques mois une résistance qui peut être considérée comme voisine de la limite vers laquelle elle tend ; ce n'est qu'après plusieurs semaines, généralement après plusieurs mois, qu'on peut mettre en service les ouvrages construits avec ces ciments. Cette lenteur de durcissement constitue donc dans beaucoup de cas un notable inconvénient.

Le ciment fondu, au contraire, atteint en quelques jours des résistances remarquablement élevées : vingt-quatre heures après le gâchage, il donne des mortiers plus résistants que ceux des meilleurs portlands au bout d'un mois. Les bétons de granit ou de basalte concassé acquièrent en particulier une dureté telle que moins de dix heures après le gâchage, si l'on vient à les briser sous le choc d'un marteau, ils présentent une cassure intéressant aussi bien le granit ou le basalte que le ciment fondu.

Malgré son durcissement ultra-rapide, le ciment fondu a une prise lente qui laisse tout le temps nécessaire pour le gâchage et la mise en œuvre des mortiers.

Il résulterait, de recherches récentes publiées dans différentes revues techniques, que le ciment fondu jouirait de propriétés mécaniques permettant de réaliser, par son emploi, une économie notable, non seulement de ciment, mais même de fer dans les ouvrages en ciment armé.

Cette assertion n'a pas été admise unanimement par tous les techniciens : l'avenir dira jusqu'à quel point est fondée l'opinion d'après laquelle le ciment fondu révolutionnerait l'art de la construction en ciment armé.

Quoi qu'il en soit, le durcissement extrêmement rapide du ciment fondu permet de décoffrer les hourdis au bout de vingt-quatre heures et les poutres au bout de trois jours. Il en résulte une économie de coffrage des plus appréciables.

Une économie de même ordre le recommande pour la fabrication des tuiles, ardoises, pavés et agglomérés de toutes sortes, les moules ne se trouvant immobilisés que durant quelques heures.

Son emploi est avantageux pour tous les ouvrages devant être rapidement mis en service, tels que dallages d'usines, trottoirs, chaussées, et pour les travaux à la mer à exécuter entre deux marées.

Il est indiqué également pour les travaux urgents de réparation, pour les scellements, joints, etc...

Il se recommande pour la construction des cuves, réservoirs et pour celle des tuyaux, car il donne à la fois des bétons très compacts et travaillant à la traction dans d'excellentes conditions. Il entre dans la composition d'un marbre artificiel récemment breveté.

Certains constructeurs proposent son emploi dans les travaux de construction de ponts à grandes arches, où il peut rendre de grands services ; et il vient d'être prévu pour la

<sup>1</sup> Le water-jacket est un four à cuve dont les parois réfractaires sont remplacées, sur une certaine hauteur, par une chemise métallique dans laquelle circule l'eau de réfrigération.

construction de l'usine marémotrice d'Aber-Vrach, près de Brest.<sup>1</sup>

Il reçoit en un mot les applications les plus diverses en rapport avec ses propriétés mécaniques remarquables.

Mais il possède une qualité non moins précieuse et tout aussi caractéristique : il est absolument indifférent à l'action des eaux sulfatées.

Cette action est, au contraire, très marquée sur les ciments ordinaires. Les mortiers exposés au contact des terrains humides gypseux ou d'eaux chargées en sulfate de chaux, de soude ou de magnésie, ne tardent pas à se désagréger, vouant à une destruction certaine les ouvrages d'art les plus solidement construits.

Les causes de cette décomposition sont actuellement bien connues : elles sont d'ordre physique ou d'ordre chimique. La décomposition physique des mortiers est provoquée par la cristallisation dans leurs pores des sels dissous dans l'eau qui les imprègnent. Elle se produit lorsque les maçonneries sont exposées à des alternances d'humidité et de sécheresse, les

qu'un ciment siliceux auquel on mélangeait une matière pouzzolanique, c'est-à-dire possédant la propriété de se combiner à la chaux mise en liberté au cours du durcissement. On évitait ainsi autant que possible la formation du sulfo-aluminate basique de Candlot, qui exige une proportion relativement élevée de chaux.

Avec le ciment fondu, il est impossible que la réaction se produise, car les teneurs en chaux et en alumine sont sensiblement égales. Cela revient à dire, en somme, que le ciment fondu est indécomposable parce que son indice d'hydraulicité est très élevé. En outre, le durcissement ne s'accompagne pas d'une mise en liberté de chaux.

Cette indécomposabilité, conséquence logique de la constitution du ciment fondu, a été pratiquement mise hors de doute par des expériences de laboratoire poursuivies depuis 1908. Des cubes en mortier maigre sont immergés dans une solution de sulfate de chaux à saturation ou de sulfate de magnésie à 18 grammes par litre.

La deuxième solution est particulièrement active. Nombreux sont les ciments qui, au bout de quelques mois déjà, présentent des signes indiscutables de décomposition. Rien de pareil n'a été observé pour le ciment fondu, qui s'est montré radicalement rebelle à l'action des solutions décomposantes.

Ces résultats ont été confirmés par des essais entrepris sous la haute direction de M. l'ingénieur Séjourné à proximité du tunnel du col de Brauss, sur la ligne de Nice à Coni, en vue d'apprécier le degré d'indécomposabilité des divers liants proposés pour les travaux de cette ligne. La présence d'anhydrite (sulfate de chaux anhydre) dans les terrains traversés, souvent en forte proportion, justifiait les précautions prises pour éliminer tout produit ne présentant pas les garanties suffisantes.

Une épreuve particulièrement dure fut la suivante : des cubes en mortier, dont l'agrégat était constitué par parties égales de sable et d'anhydrite, ont été immergés dans de l'eau courante très séléniteuse. Seuls, de tous les blocs mis en observation, ceux en ciment fondu n'ont manifesté aucune trace de décomposition.

A la suite de ces essais, l'emploi du ciment fondu a été imposé pour toutes les parties de la ligne considérées comme les plus dangereuses.

L'indécomposabilité est, pour un ciment, une qualité des plus précieuses. Car les terrains gypseux ne sont malheureusement pas l'exception ; et comme nous le rappelions plus haut, les sulfates sont les agents les plus actifs de la décomposition des mortiers par l'eau de mer. L'invention d'un ciment qui non seulement est indécomposable, mais acquiert, en quelques heures, de très hautes résistances, est donc un événement dans l'industrie des liants hydrauliques. La Société de Lafarge en mettant au point la fabrication industrielle de ce nouveau liant, n'a fait que suivre ses traditions anciennes, qui l'ont toujours amenée, parmi les industries s'occupant des chaux et ciments, en tête du progrès, soit pour les procédés de fabrication, soit pour la qualité de ses produits.

#### NOUVEAU MODÈLE D'ANALYSEUR THERMIQUE INDUSTRIEL

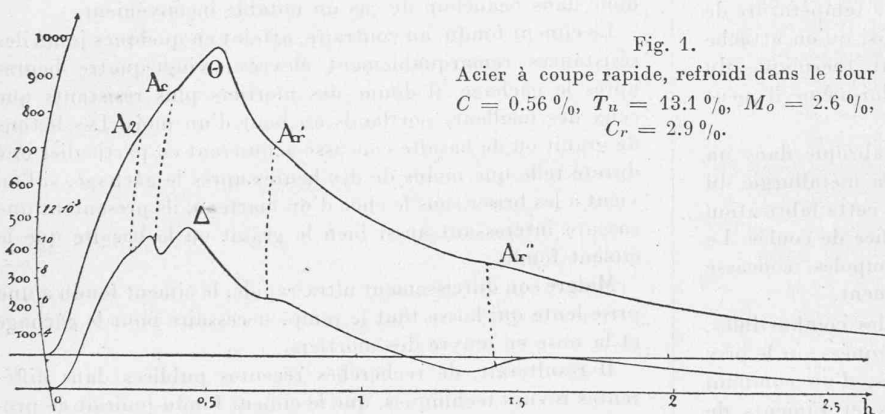


Fig. 1.

Acier à coupe rapide, refroidi dans le four  
 $C = 0.56\%$ ,  $T_{II} = 13.1\%$ ,  $M_o = 2.6\%$ ,  
 $C_r = 2.9\%$ .

cristallisations et redissolutions successives réduisant bientôt les mortiers en véritable bouillie.

Les travaux de M. Candlot ont mis en lumière le processus de la décomposition chimique. Elle est due à la formation d'un sulfo-aluminate basique de chaux aux dépens des aluminates et de la chaux en excès du liant, d'une part, et des sulfates en dissolution dans l'eau, d'autre part. Les cristaux, très volumineux, de ce sel, qui se développent dans les pores et les interstices du mortier, en agissant à la manière de coins, disloquent les maçonneries ou fendillent les enduits.

S'il est possible d'éviter la décomposition physique des mortiers en s'astreignant à n'employer que des mortiers très compacts, en évitant toute cause de pénétration de l'eau à travers les maçonneries, par contre on avait vainement cherché jusqu'à ces dernières années le ciment réellement inattaquable par les sulfates.

Puisque la désagrégation des mortiers par action chimique est due à la formation d'un sulfo-aluminate, il semblait *a priori* que les liants hydrauliques siliceux, dont la teneur en alumine est aussi réduite que possible, offraient le plus de garanties d'indécomposabilité.

Le ciment indécomposable Lafarge, dont la fabrication est abandonnée depuis l'invention du ciment fondu, n'était autre

<sup>1</sup> Nous avons signalé à la page 57 de notre N° du 5 mars 1921, la construction, à base de ciment fondu, de l'immense hangar pour dirigeables édifié à Luçon par M. H. Lossier. Le même ingénieur étudie, dans un remarquable article publié par le *Génie civil* du 28 janvier dernier, la construction à l'aide du ciment fondu des ouvrages en béton armé à grande portée, avec l'exemple d'une application au pont du Forth.