

LE CIMENT PORTLAND

fabriqué au moyen des

LAITIERS DE HAUT-FOURNEAU

PAR

HENRI DETIENNE

Ingénieur honoraire des Mines

[6691 : 6915]

AVANT-PROPOS

Le ciment de laitier

Dans une première note ⁽¹⁾, nous avons jadis attiré l'attention sur les propriétés du ciment de laitier. A la suite de nombreux essais faits par divers expérimentateurs, nous en étions arrivés à cette conclusion que le ciment de laitier ne le cède en rien au ciment portland, tout en présentant sur ce dernier l'avantage d'une fabrication plus simple et plus sûre. En même temps nous faisons remarquer que sous peine d'amoinrir dans une large mesure la qualité du ciment, il ne fallait « admettre dans sa fabrication que des laitiers d'allure chaude, suffisamment basiques et convenablement granulés. »

Or il est incontestable que depuis que ces lignes ont été écrites pour la première fois, la fabrication du ciment de

(1) Note sur la fabrication et les propriétés du ciment de laitier, *Revue Universelle des Mines*, etc., t. XXXIX, 3^{me} série 1897.

laitier, loin de s'être développée, est restée stationnaire dans certains pays, tels que la France, l'Autriche et la Belgique; elle est en décroissance dans d'autres, tels que l'Allemagne et l'Angleterre.

Cela tient à ce fait que l'on a fabriqué beaucoup de mauvais ciment et cela uniquement par suite du mauvais choix des laitiers utilisés. Les premiers essais et aussi ceux sur lesquels nous nous étions appuyés dans notre étude, ont porté sur du ciment provenant de laitiers de fonte de moulage ou de fonte Bessemer siliceuse. Or, les hauts-fourneaux qui produisent ces dernières fontes deviennent très rares, la plupart fabriquant des fontes pour acier Thomas. Leurs laitiers, moins calcareux, jouissant de propriétés pouzzolaniques moins développées, n'offrent pas les mêmes avantages pour la fabrication du ciment. En les utilisant, on obtient encore des produits qui ne sont pas sans valeur, et qui par suite, peuvent rendre de très grands services; mais ils ne peuvent être comparés au ciment portland, ni au ciment de laitier provenant de laitiers très basiques.

On a employé néanmoins ces laitiers sur une très grande échelle; le ciment de laitier est donc devenu un produit de qualité généralement secondaire, et parfois même franchement mauvaise. La plupart des consommateurs ont fini par craindre l'emploi du ciment de laitier en général, sans s'imaginer qu'il pouvait parfaitement exister du mauvais ciment de laitier, tout comme il y a du mauvais ciment portland.

Certaines administrations n'ont cependant pas prohibé le ciment de laitier d'une façon complète; elles en ont admis l'emploi pour certains travaux. Tel est le cas, par exemple, pour le Génie militaire belge, lequel, à la suite d'essais effectués en 1897 et 1898 au moyen de ciment de laitier provenant de deux usines du pays, a décidé ce qui suit :

Les cahiers des charges pourront dans les entreprises ordinaires prescrire pour les mortiers à employer dans les maçonneries de briques, bétons et enduits de fondations, l'emploi du ciment de laitier, composé de laitier basique et de chaux à l'exclusion de toute autre matière.

La finesse de ce ciment devra être telle que le résidu au tamis de 900 mailles ne s'élève pas à plus de 2 p. c. du poids total.

Le ciment de laitier ne pourra être employé pour la confection de mortiers, enduits, dallages, etc., exposés à l'air, ni dans les travaux qui nécessitent une très grande résistance ou qui doivent résister soit à l'usure, soit au choc.

En ce qui concerne ce cas particulier où une grande résistance est nécessaire, l'un des ciments examinés, celui fourni par la Société Cockerill et provenant de laitiers de fonte Bessemer, a donné des résultats supérieurs à ceux du ciment portland, fabriqué au moyen d'argile, auquel il a été comparé; mais le même fait n'ayant pas été constaté pour le ciment de l'autre usine et provenant de laitier Thomas, dans l'impossibilité de faire une exception pour une usine déterminée, la clause d'exclusion rappelée ci-dessus a été instituée.

Le ciment de laitier peut être employé, mais en fondation seulement, dans les travaux à la mer. Dans ce cas, les cahiers des charges spécifieront que les essais de réception doivent se faire au moyen de l'eau de mer.

En somme ces conclusions prises à la suite de l'examen de produits fabriqués, en partie du moins, au moyen de matières que nous considérons plutôt comme de qualité secondaire, confirment ce que nous écrivions en 1896 au sujet de l'excellence d'un ciment provenant de laitier bien choisi. Toutefois comme ce dernier est rare et que le problème de l'utilisation des laitiers en général, et particulièrement de ceux de fonte Thomas, se posait à nouveau

et avec d'autant plus de désir de le voir résoudre, que l'on avait entrevu la possibilité de réussir, on chercha à perfectionner le mode de fabrication du ciment de façon à rendre également utilisable la majeure partie des laitiers produits par tous les hauts-fourneaux indistinctement.

Cette recherche aboutit à la fabrication d'un véritable ciment portland.

C'est ce dernier que nous allons étudier dans les pages qui vont suivre.

LE CIMENT PORTLAND DE LAITIER

CHAPITRE I

Analogie chimique des laitiers et des marnes.

Comme on le sait, « le ciment portland est le produit de » la cuisson jusqu'à commencement de fusion d'un mélange » intime, physiquement et chimiquement homogène, de » carbonate de chaux et d'argile. Les matières premières » destinées à fournir le carbonate de chaux et l'argile » peuvent être assez variées; tantôt ce sont des marnes » argileuses qui contiennent à peu près dans la proportion » voulue les deux éléments essentiels et avec lesquelles il » suffit de mélanger une petite quantité d'argile. Dans » d'autres cas, on emploie un calcaire composé presque » entièrement de carbonate de chaux que l'on mélange » avec de l'argile pure ou une marne très argileuse (1). »

En pratique, c'est souvent ce dernier cas qui se présente, le carbonate de chaux est à peu près pur et on y ajoute une marne très argileuse. Voici l'analyse d'une telle marne employée par une usine anglaise :

Perte à 110° C	1.20
Silice	17.25
Alumine	7.25
Carbonate de chaux	73.92
Alcalis	0.45
	100.07

(1) CANBLOT, Ciments et chaux hydrauliques, p. 39, 2^{me} édition, Paris, Baudry, 1898.

Si pour comparer cette marne avec les laitiers nous éliminons de cette analyse la perte à 110° et l'acide carbonique que les laitiers ne renferment pas, nous obtiendrons pour la marne calcinée la composition centésimale suivante :

Marne I	}	Silice	26.00
		Alumine	10.92
		Chaux	63.39
		Alcalis	0.67

Les marnes renferment d'ailleurs en général des oxydes de fer et de magnésium comme le montre l'analyse suivante d'une marne employée aussi pour la fabrication du ciment :

Marne II	}	Humidité	10.55
		Perte par calcination.	3.67
		Silice	27.25
		Oxyde de fer	3.25
		Alumine	1.50
		Carbonate de chaux	53.00
		Alcalis	0.10
		Magnésie	0.68

En conséquence, si l'on compare les laitiers et les marnes on constate que, abstraction faite des éléments volatils, eau et acide carbonique, les uns et les autres renferment les même composés chimiques et cela dans des proportions presque semblables; c'est ainsi qu'en général les laitiers renferment plus de silice et moins de chaux que la marne I ci-dessus et moins de silice et autant de chaux que la marne II. On peut donc les considérer eux-mêmes comme des marnes calcinées et les admettre dans la fabrication du ciment portland artificiel.

D'ailleurs si l'on réfléchit un peu au mode de formation du laitier, on doit déjà assimiler celui-ci à un véritable

ciment portland. En effet, lorsque l'on traite au haut-fourneau des minerais siliceux on doit les mélanger avec une base, — c'est généralement la castine, — qui s'empare de la silice dès que la réduction des oxydes métalliques est complète. Il se forme alors un silicate de calcium plus ou moins basique, constituant le laitier plus ou moins réfractaire. Dans certaines circonstances, à défaut de castine on emploie même la marne comme fondant, malgré sa propre teneur en silice qui est justement l'élément que l'on veut éliminer. On met donc en présence dans le haut-fourneau, outre les matières qui ne nous intéressent pas ici, le calcaire ou la marne d'une part et la silice de l'autre. Par la fusion du mélange on obtient notamment une matière homogène qui est le laitier.

Dans la fabrication du ciment portland artificiel le procédé est le même : on mélange intimement des marnes plus ou moins argileuses (assimilables aux gangues siliceuses des minerais) et du carbonate de chaux (castine), puis on soumet ce mélange à une température suffisante pour produire un commencement de fusion de la masse.

Les modes de formation du ciment et du laitier sont donc identiques et le premier ne diffère du second que par sa teneur plus forte en chaux et peut-être par le degré de cuisson. Le laitier est donc véritablement un *pseudo-ciment* et en réalité, pour notre part, nous avons maintes fois gâché à l'eau du laitier granulé très basique (55 p. c. de CaO) finement moulu, sans aucune addition de matières étrangères. Ce laitier faisait prise et durcissait, lentement sans doute et comme un ciment de mauvaise qualité; mais ceci tenait uniquement à sa faible teneur en chaux et probablement à ce fait qu'ayant subi non un commencement de vitrification mais une fusion complète, c'était en réalité un ciment surcuit.

Il résulte de tout cela que le ciment portland fabriqué au

moyen des laitiers répond aussi à la définition générale du portland ordinaire, définition donnée au début de ce chapitre. Nous n'aurions pas insisté si longtemps à ce propos, si certaines administrations n'avaient pas refusé d'admettre cette assimilation des laitiers et des marnes et rebuté le ciment portland de laitier comme ne répondant pas à la définition du ciment portland artificiel.

Constatons cependant à ce sujet que les idées se modifient déjà; c'est ainsi que l'Administration des chemins de fer de l'Etat belge a admis l'emploi des laitiers pour la fabrication du ciment portland artificiel destiné à ses travaux et a abrogé le § 3 de l'article 45 de son Cahier des charges.

Ce paragraphe était conçu comme suit :

« Le ciment à prise lente proviendra soit de la cuisson
» d'un mélange de carbonate de chaux et d'argile, soit de
» la cuisson de roches ou le carbonate de chaux et l'argile
» se trouvent en proportions convenables. Il ne pourra pas
» contenir plus de 3 % de magnésie. »

Les ciments sont admis quel que soit leur mode de fabrication, pour autant qu'au moment de la réception ils satisfassent aux conditions d'essai prescrites par les contrats.

Dans l'état actuel de la question cette décision fait honneur à l'Administration des chemins de fer. Nous verrons plus loin qu'il reste encore, pour toutes les Administrations, un grand pas à accomplir dans la voie du progrès, il consiste à rendre plus logiques les prescriptions de leurs cahiers des charges relatives à la réception des ciments.

En étudiant les divers procédés de fabrication du ciment portland de laitier, nous rappellerons les résultats obtenus sur les ciments qu'ils ont produits et nous pourrions nous convaincre que ce ciment est absolument comparable à celui qui provient de carbonate de chaux et d'argile.

CHAPITRE II.

Les procédés de fabrication.

Le laitier étant assimilable à une marne, le ciment portland de laitier proviendra, par analogie avec ce qui se passe dans la fabrication au moyen d'un mélange intime de matières argileuses et calcareuses, d'un mélange homogène de laitier et de calcaire.

Chacune de ces matières étant pure et exempte de corps durs à éliminer, le procédé de fabrication par voie sèche est tout indiqué, d'autant plus qu'il s'agit ici de matières non délayables.

En conséquence la fabrication se fait comme suit : le laitier et le calcaire sont réduits en poudres fines, puis mélangés dans les proportions voulues. Le dosage se détermine au moyen des formules de Michaëlis, Newberry, etc., comme s'il s'agissait d'argile et de craie. Le mélange bien homogène est humecté, puis transformé en briques. Ces dernières convenablement desséchées, sont cuites dans un four à ciment portland quelconque ; le produit de la cuisson est une roche noirâtre, pesante et dure lorsque la matière est bien cuite.

La réduction en poudre fine de ces roches donne le ciment portland.

Pour simplifier l'installation mécanique nécessaire, on se borne à mélanger plus ou moins intimement le laitier et le calcaire soit avant la mouture, soit, celle-ci se faisant généralement en deux phases, avant la seconde phase.

Ainsi entendue, la fabrication du ciment portland au moyen des laitiers serait rationnelle ; mais on doit se demander si elle serait économique ? Pour un établissement

de haut-fourneau qui veut utiliser ses propres laitiers, la fabrication du ciment se présente sous des conditions toutes autres que s'il s'agit d'une installation indépendante. Le laitier est une matière difficile à sécher et plus dure à moudre en poudre fine que l'argile. De plus comme il est granulé généralement dans l'eau, il reste longtemps imprégné d'humidité en quantité considérable (10 à 30 p.c.), ce qui grève fortement le prix du transport. Enfin l'entretien des appareils de mouture est plus coûteux pour l'emploi du laitier.

Cependant des fabriques de ciment portland de laitier, n'ayant aucune attache avec des hauts-fourneaux, se trouvant même parfois à des distances considérables de ceux-ci, se sont installées. Cela est devenu possible parce que des procédés, permettant de rendre moins coûteuses ou même de supprimer complètement certaines phases de la fabrication esquissée ci-dessus, ont été imaginés.

Nous allons les décrire sommairement, les discuter et apprécier la qualité des produits qu'ils fournissent.

*Procédé de la Société internationale des Ciments
et Brevets Stein.*

Ce procédé déjà ancien (il est breveté en Belgique depuis le 13 mars 1894) a pris un certain développement en Allemagne, son pays d'origine, où cinq ou six usines l'exploitent, et s'est introduit dans le Grand-Duché de Luxembourg et en Belgique, à Haren.

Voici comment, dans sa demande de brevet, l'inventeur décrit son procédé :

» Dans le procédé employé pour la fabrication du
» ciment artificiel, il est d'usage de mettre le mélange des
» matières brutes sous une forme convenable, que l'on

» choisit généralement analogue à celle des briques, avant
» de le soumettre à la cuisson.

» Ces briques présentent en général et particulièrement
» pendant les premiers jours une si faible résistance aux
» intempéries qu'il est nécessaire de les conserver pendant
» longtemps dans des endroits bien abrités ou de les sou-
» mettre à un séchage artificiel avant de les enfourner.

» La présente invention a pour but d'apporter un perfec-
» tionnement au mode de préparation de ces briques, per-
» fectionnement consistant à ajouter au mélange brut du
» ciment, *du laitier granulé et de l'hydrate de chaux*, et
» cela de préférence suivant la composition connue du
» ciment de laitier (des proportions de 5 à 10 p. c. sont
» suffisantes). Après cette addition, le mélange brut est mis
» sous forme de briques. Ces dernières mises immédiate-
» ment en haies en plein air deviennent en peu de jours
» très résistantes et peuvent être enfournées huit jours
» après leur fabrication. »

Comme on l'aura compris à la lecture de cette descrip-
tion, le laitier granulé et la chaux hydratée additionnés au
mélange brut forment ensemble du ciment de laitier lequel
faisant prise par le malaxage soude entre elles les particu-
les du mélange. Ces dernières jouent le rôle du sable
dans un mortier.

Le procédé s'applique aussi bien à la fabrication par
voie sèche du ciment portland au moyen de matières argi-
leuses qu'à celle au moyen des laitiers. Nous ne pensons
pas cependant qu'il existe des fabriques de ciment portland
d'argile et de craie qui l'aient adopté.

En ce qui concerne la fabrication du ciment portland au
moyen des laitiers, le procédé Stein se réduit donc à l'addi-
tion, au mélange dosé de laitier et de calcaire, d'environ
2 % de chaux grasse hydratée. Ce mélange très finement
pulvérisé est humecté et transformé en briques dans une

presse suffisamment puissante. Les briques sont empilées à l'air libre et soumises à la cuisson après quelques jours de durcissement.

L'adoption de ce procédé permet, soit une économie dans le coût de l'installation, — suppression des hangars pour le séchage naturel des briques ou suppression des séchoirs, — soit dans le prix de revient, — suppression de la main-d'œuvre et du combustible pour le séchage artificiel des briques.

C'est le procédé de fabrication du ciment portland de laitier qui s'est le plus répandu ; il est vrai qu'il est aussi le plus ancien. Il est plus économique que le procédé employé par les fabricants de ciment portland d'argile, et nous ne concevons pas pourquoi il n'a pas été adopté encore par l'un d'eux, pour éviter le séchage artificiel des briques.

Nous allons montrer par des exemples, qu'il fournit, appliqué à la fabrication du ciment portland de laitier, un produit comparable au ciment portland d'argile et de craie.

A. — Résultats d'essais faits en 1892 par le laboratoire royal d'essais de matériaux de construction de Berlin, sur un échantillon de ciment de l'usine de Wetzlar (Alb. Stein et C^o).

1° *Poids gravimétrique :*

1 litre de ciment non tassé	pèse	1 ^k 032
1 » tassé	»	1 ^k 651

2° *Poids spécifique* du ciment séché 3.102.

3° *Finesse de mouture :*

0 % de résidus au tamis de 900 mailles par cent.carré,	
6 % » 4900 »	

4° *Essais d'invariabilité de volume.* — Les galettes de ciment pur gâché avec 29 p. c. d'eau n'ont pas présenté la moindre trace de fissure, gonflement ou émiettement.

5° *Résistance* :

a) à la traction du mortier normal :

21 ^k 70	après	. . . . .	1 + 6	jours
26 ^k 43	»	. . . . .	1 + 27	»

b) à la compression du mortier normal :

176 ^k 1	après	. . . . .	1 + 6	jours
275 ^k 6	»	. . . . .	1 + 27	»

B. — Essais faits en 1900 au même laboratoire sur un échantillon de ciment remis par un client de la même usine de Wetzlar.

1° *Poids gravimétrique* :

1	litre de ciment non tassé	pèse	1 ^k 089
1	»	tassé	» 1 ^k 745

2° *Poids spécifique* du ciment desséché 3.043.3° *Finesse de mouture* :

0,5	%	de résidus au tamis de 900 mailles par cm ² .
14	%	» » 4900 »

4° *Durée de prise* :

Début	1 1/2	heure après le gâchage.
Fin	6 1/2	heures »

5° *Essais d'invariabilité de volume*. — Les galettes de ciment pur gâché avec 28,5 p. c. d'eau se sont bien comportées aux épreuves à l'eau bouillante, à l'air chauffé à 110° C et dans l'eau froide.

6° *Résistance* :

a) à la traction du mortier normal :

16 ^k 2	après	. . . . .	1 + 6	jours
21 ^k 4	»	. . . . .	1 + 27	»

b) à la compression du mortier normal :

189 ^k 6	après	. . . . .	1 + 6	jours
282 ^k 2	»	. . . . .	1 + 27	»

C. — Essais d'un échantillon de ciment fabriqué d'après le même procédé aux usines métallurgiques « Kraft » à Kratzwieck-Stettin.

1° *Poids spécifique* : 3.079.

2° *Finesse de mouture* : 1.3 p. c. de résidus au tamis de 900 mailles par centimètre carré.

3° *Invariabilité de volume*. — Les essais donnent tous de bons résultats.

4° *Résistance* :

a) Ciment pur :

traction	48 ^k 9	après	1 + 6	jours
	51 ^k 6	»	1 + 27	»
compression	442 ^k 1	»	1 + 6	»
	552 ^k 4	»	1 + 27	»

b) Mortier normal :

traction	16 ^k 2	après	1 + 6	jours
	24 ^k 4	»	1 + 27	»
compression	156 ^k 7	»	1 + 6	»
	239 ^k 3	»	1 + 27	»

D. — Essais d'un échantillon de ciment fabriqué d'après le même procédé aux usines métallurgiques Budérus à Wetzlar.

1° *Poids spécifique* : 3^k015.

2° *Poids gravimétrique* :

1 litre de ciment non tassé	pèse	1 ^k 106
1 » tassé	»	1 ^k 577

3° *Finesse de mouture* :

1 p.c. de résidus au tamis de 900 mailles par cent.carré	
8 p.c. »	4900 »

4° *Durée de prise* :

Début	4 h. 5'	après le gâchage.
Fin	7 h. 30'	»

5° *Invariabilité de volume.* — Les galettes soumises à l'épreuve à l'eau froide, à l'eau bouillante et à l'eau chaude se sont bien comportées.

6° *Résistance.* — Mortier normal :

a) Traction : 24^k75 après 1 + 27 jours

b) Compression : 230^k0 »

E. — Essais d'un échantillon de ciment fabriqué par le même procédé à la Société anonyme des Ciments portland de Haren-lez-Bruxelles.

1° *Poids spécifique* 3.096.

2° *Finesse de mouture* :

0.6 % de résidus au tamis de 900 mailles par cm²

13.25 % » 5,000 »

3° *Durée de prise* :

Début 1 h. 50' après le gâchage;

Fin 4 h. 45' » »

4° *Invariabilité de volume.* — Les galettes soumises aux épreuves à l'eau froide, à l'eau bouillante et à l'air chaud se sont bien comportées.

5° *Résistance à la traction* :

a) Mortier normal :

17^k22 après 1 + 6 jours

21^k40 » 1 + 27 »

b) Ciment pur :

35^k12 après 1 + 6 jours

41^k40 » 1 + 27 »

F. — Essais de résistance poursuivis pendant 4 ans, à l'usine de Wetzlar (ancienne firme Alb. Stein et C^o), sur le ciment de sa fabrication.

DURÉE DE L'ESSAI	TRACTION			COMPRESSION	
	MORTIER NORMAL CONSERVÉ		CIMENT PUR CONSERVÉ sous l'eau	MORTIER NORMAL CONSERVÉ	
	sous l'eau	à l'air		sous l'eau	à l'air
	Kilog.	Kilog.	Kilog.	Kilog.	Kilog.
Après 7 jours	15.70	16.90	37.50	—	—
» 28 »	22.40	20.80	40.10	180.00	192.00
» 56 »	27.40	24.30	42.80	204.00	206.00
» 112 »	29.70	26.80	47.40	244.00	236.00
» 1 an	30.80	32.00	51.70	308.00	260.00
» 4 ans	31.50	41.40	42.20 (?)	348.00	348.00

G. — Essais comparatifs faits au banc d'épreuves de la ville de Vienne (Autriche), sur la résistance du ciment de Wetzlar et de la plupart des ciments autrichiens. Il s'agit de la résistance en mortier normal.

PROVENANCE DES CIMENTS	TRACTION		COMPRESSION	
	Après 7 jours	Après 28 jours	Après 7 jours	Après 28 jours
	Kg. par c ²	Kg. par c ²	Kg. par c ²	Kg. par c ²
Wetzlar (portland de laitier).	26.88	38.25	270.00	375.75
Kaltenleutgeben, près de Vienne	16.23	29.90	174.00	303.75
Fabrique de ciment portland de Goleschau (Silésie).	17.63	23.03	160.50	220.25
Fabrique de ciment portland de Kurowitz, à Thematschau.	—	28.20	—	287.80
Fabrique Suess et Cie, à Witko- witz (ciment de laitier).	—	25.20	—	215.60
Fabr. de ciment de Königshof, près de Prague (cim. de laitier)	—	28.75	—	247.47
Fabrique de ciment portland de Perlmoos, en Tyrol	21.10	25.80	182.00	236.00

H. — Enfin, des essais de fabrication, par le procédé Stein, de ciment portland au moyen de laitiers très divers ont été poursuivis pendant plusieurs mois en Autriche, à la frontière bavaroise.

Ils présentent beaucoup d'intérêt, en ce sens qu'ils ont démontré que les laitiers se prêtent vraiment comme les marnes de compositions très diverses, à la fabrication du ciment portland, contrairement à ce qui se passe pour la préparation du ciment de laitier.

On y a utilisé, entre autres, trois laitiers, l'un de fonte blanche, le second de fonte grise au coke et le troisième de

fonte grise au charbon de bois, ayant la composition chimique suivante :

	LAITIER I Fonte blanche	LAITIER II Fonte grise au coke	LAITIER III Fonte grise charbon de bois
Humidité	2.62	7.60	—
Silice	33.40	22.60	38.90
Alumine	9.48	14.20	10.60
Chaux	41.76	49.00	38.90
Magnésie	2.52	3.92	9.25
Oxyde de fer	2.08	0.73	0.70
Oxyde de manganèse.	7.52	0.38	1.30
Oxyde de baryum.	0.90	1.80	—
Soufre	—	—	0.07

Le calcaire employé pour tous les essais renfermait 96 % de CaCO_3 .

Cinq ciments différents ont été préparés :

a) Le ciment I provenant du mélange brut suivant :

410 kilog. de calcaire.

400 » de laitier I (fonte blanche).

32 » de chaux hydratée;

b) Le ciment II provenant du mélange :

405 kil. de calcaire.

300 kil. laitier I. . . } soit $\frac{3}{4}$ laitier de fonte blanche
100 » laitier II. . . } + $\frac{1}{4}$ laitier fonte grise au
coke.

32 » chaux hydratée;

c) Le ciment III provenant du mélange :

400 kil. de calcaire.

267 » de laitier I. { 2/3 laitier fonte blanche.

133 » de laitier II. { 1/3 » fonte grise au coke.

32 » chaux hydratée;

d) Le ciment IV provenant du mélange :

395 kil. de calcaire.

200 » de laitier I. { 1/2 fonte blanche.

200 » de laitier II. { 1/2 » grise au coke.

32 » chaux hydratée;

e) Le ciment V provenant du mélange :

500 kil. de calcaire.

400 » de laitier III (fonte grise au bois).

32 » de chaux hydratée.

Tous les ciments obtenus ont donné de bons résultats aux essais de prise et d'invariabilité de volume. Quant à la résistance à la traction, voici les résultats que nous avons trouvé nous même :

	Après 1 + 6 jours		Après 1 + 27 jours		Après 7 mois à l'air
	Ciment pur	Mortier 1 : 3	Ciment pur	Mortier 1 : 3	Mortier 1 : 3
	Kilog.	Kilog.	Kilog.	Kilog.	Kilog.
Ciment I . . .	38.50	12.37	44.00	18.37	40.00
» II. . .	32.17	13.15	50.50	19.90	31.00
» III . . .	33.75	14.50	40.20	17.72	35.00
» IV . . .	34.75	13.05	—	—	—
» V. . .	31.75	13.72	41.80	19.40	37.00

Des galettes préparées pour les essais d'invariabilité de volume ne donnent pas, après quinze mois de conservation à l'air, la moindre trace de détérioration. Il paraît donc

résulter de ces faits que pratiquement presque tous les laitiers peuvent être utilisés à la fabrication du ciment portland, même ceux tels que les laitiers I et III, riches en oxyde de manganèse et en magnésie. Quant à l'alumine, nous verrons, plus loin, qu'elle joue un rôle néfaste et que les meilleures matières premières (tant argiles que laitiers) de la fabrication du ciment portland sont celles qui en renferment le moins.

*Fabrication du ciment portland de laitier au moyen
du four rotatif.*

L'emploi du four rotatif n'est pas récent; il a été tenté il y a des années déjà, dès 1885 pensons-nous, mais sans succès, en Angleterre. Aux Etats-Unis, là où l'on disposait de combustibles gazeux, il s'est répandu dès l'année suivante.

Les premiers fours rotatifs, pour la cuisson du ciment, se composaient d'un cylindre en tôle de 10 mètres de longueur, 1^m50 de diamètre intérieur, garni d'une chemise de matériaux réfractaires. Le cylindre était légèrement incliné et animé d'un mouvement de rotation, à raison d'un tour par minute, autour de son axe.

La matière à cuire, introduite à l'état de poudre sèche, circulait dans le four par suite de l'inclinaison et du mouvement de rotation, pour arriver dans la zone de cuisson qui se trouvait à la partie inférieure du cylindre.

Le combustible était fourni soit par un gazogène dont les gaz brûlaient à l'intérieur du four, soit par un ajutage spécial lançant un jet de pétrole dans le cylindre.

Les premières tentatives faites dans cette voie donnèrent des produits irréguliers et la consommation de combustible était énorme.

Cependant, ce mode de travail présentait de tels avantages au point de vue économique, et au point de vue de la

simplicité, que la question de l'emploi des fours rotatifs resta à l'étude malgré les premiers échecs, pour aboutir progressivement, il y a environ deux ans, à la conception du four construit par la *Brennöfen Bauanstalt-Gesellschaft* de Hambourg. Nous le décrivons ci-après; pour le moment nous voudrions montrer sommairement combien l'emploi du four rotatif simplifie la fabrication du ciment portland par voie sèche.

A-t-on remarqué combien cette fabrication, si simple en théorie, se complique en réalité par suite des nombreuses manipulations qu'elle comporte? En effet, il faut généralement *sécher* les matières premières pour pouvoir les moudre, ensuite les *humecter* pour les transformer en briques, *sécher* les briques pour les cuire. D'un autre côté, on *pulvérise* finement les matières premières pour les mélanger intimement; ce mélange est *retransformé en blocs* pour et par la cuisson, blocs que l'on doit ensuite *remoudre* pour obtenir le ciment. L'emploi du four rotatif supprime presque toutes ces opérations contradictoires.

Le four de la Société de Hambourg se compose essentiellement de trois cylindres de dimensions inégales, se superposant dans un même plan vertical, mais inclinés chacun en sens contraire du précédent et pourvu de son mouvement propre de rotation.

Le cylindre supérieur est un séchoir; il reçoit les matières premières concassées et mélangées dans les proportions voulues. Ces matières descendent le long du tube sécheur dont la tôle est à nu et rencontrent les gaz de plus en plus chauds sortant du cylindre intermédiaire qui est le four proprement dit. Le mélange séché passe alors aux appareils broyeurs des matières crues, puis revient au cylindre cuiseur. Ce dernier est pourvu intérieurement d'un revêtement réfractaire et est parcouru par les flammes provenant de la combustion du poussier de charbon, insufflé dans le courant d'air chaud lancé par un ventilateur.

La matière est amenée au rouge et subit le commencement de vitrification nécessaire; d'ailleurs l'état de division de la matière favorise la cuisson et permet de la réaliser à une température moindre que s'il s'agissait de cuire des briques, comme l'exige l'emploi des fours verticaux. Le produit de la cuisson n'est plus sous la forme de roches plus ou moins volumineuses ou compactes, mais en grains dont la grosseur varie suivant la fusibilité du mélange brut.

Ces grains tombent enfin dans le troisième cylindre qui est un refroidisseur; le ventilateur dont nous avons parlé ci-dessus, aspire, au travers de ce cylindre, l'air froid qui s'échauffe au contact de la matière cuite, et est lancé ensuite avec le poussier de charbon dans le four proprement dit. Il y a donc là une certaine récupération de chaleur analogue à celle qui existe dans les fours à cuve.

L'installation peut comprendre un tambour sécheur, deux cuiseurs et deux refroidisseurs si la matière est difficile à cuire; ou bien deux sécheurs et les autres appareils, comme dans l'un des deux cas précédents, si le dosage des matières premières ne peut se faire avec assez d'exactitude avant le séchage.

Telle est la description sommaire d'un système de four rotatif; il en existe d'autres plus récents même, car le principe du four rotatif n'est plus brevetable.

La firme F.-L. Smidth and C^o, de Copenhague, notamment a un type de four rotatif que nous allons décrire succinctement aussi, parce qu'il est plus simple que le précédent et se rapproche beaucoup — dimensions à part — du premier four rotatif essayé il y a une vingtaine d'années.

Ce four consiste en un long tube placé obliquement sur des galets de rotation. Le mouvement est produit par engrenages, à raison de 2 à 3 tours par minute.

L'extrémité du four est fermée par une plaque de devanture mobile, sur des galets. Au centre, cette devanture

est traversée par un tuyau lançant le combustible, qui est généralement du poussier de charbon, dans la zone de cuisson du four. L'autre extrémité du tube rotatif pénètre dans une voûte en maçonnerie, communiquant avec la cheminée d'évacuation des gaz de combustion. A la même extrémité est aussi placé le chenal amenant la matière à cuire, poudre ou pâte dans la zone de dessiccation du four. Ce dernier est garni intérieurement sur toute sa longueur d'une chemise en briques réfractaires de 0^m15 d'épaisseur.

La matière à cuire, avançant très lentement dans le four, se sèche et s'échauffe jusqu'au moment où elle arrive dans la zone de cuisson où le commencement de fusion a lieu. Le ciment cuit se refroidit dans la partie inférieure du four et vient tomber sous forme de morceaux de la grosseur d'une noisette, dans un wagonnet disposé à cet effet.

La matière est complètement et régulièrement cuite, elle ne demande donc aucun triage.

Le combustible employé est du charbon gras finement pulvérisé dans un tube broyeur, après une préparation éventuelle dans le moulin à boulets. Le charbon doit naturellement être séché pour permettre le broyage. On utilise dans ce but les gaz chauds sortant du four rotatif. Le poussier est chassé dans le four par l'intermédiaire d'un courant d'air.

La longueur du tube de cuisson varie suivant les circonstances entre 20 et 25 mètres. Le diamètre extérieur est de 2 mètres, le diamètre intérieur de 1^m70. La vitesse de rotation se règle suivant la nature des matières à cuire ; elle oscille entre un 1/2 et 3 tours au maximum par minute : la force motrice nécessaire à la rotation du tube est de 5 à 7 chevaux en marche normale.

Ce four peut être employé aussi bien dans les fabriques à ciment travaillant par la voie sèche que dans celles qui emploient la voie humide.

De tels fours ont été installés par la firme F.-L. Smidth, d'abord aux Etats-Unis — une firme de Saint-Louis, en possède huit — puis successivement en Danemark, en Angleterre, en France, en Allemagne et en Suède.

En Belgique, certaines usines à ciment sont à la veille d'installer aussi des fours rotatifs.

La quantité de combustible nécessaire pour cuire une tonne de ciment portland d'argile et de calcaire est comprise entre 350 et 400 kilogrammes de charbon si l'on emploie la voie humide et 200 à 250 kilogrammes si l'on opère par voie sèche. Ces quantités sont sensiblement réduites dans la fabrication du ciment au moyen des laitiers.

Quant à l'entretien des fours, il suffit, dit-on, d'un arrêt de quelques jours, tous les trois mois, pour remplacer environ 3,000 kilogrammes de matériaux réfractaires.

Le four rotatif s'applique naturellement à la fabrication du ciment portland au moyen des laitiers. Si l'on adopte le four de la *Brennöfen Bauanstalt Gesellschaft*, on emploiera le tube sécheur pour la dessiccation du laitier granulé (il est très rare que le calcaire doive subir la même opération) et le dosage se fera au sortir du tube sécheur. Il faut cependant ne pas perdre de vue que le laitier est une matière parfois très difficile à sécher convenablement, et il est possible qu'un simple passage au travers du tube ne suffise pas à obtenir la dessiccation complète d'une quantité suffisante de granulé. Dans ce cas, l'installation d'un séchoir supplémentaire fait perdre au système l'un de ses avantages principaux.

En ce qui concerne la fabrication par voie sèche, la dessiccation du laitier tout au moins, doit être complète pour pouvoir effectuer le dosage avec suffisamment de régula-

rité et de sécurité, car les moyens de correction du mélange font défaut dans la suite des opérations.

Nous ne savons si ce four a déjà été appliqué à la fabrication par voie humide.

Quant au four Smidth, il s'emploie dans les fabrications par voie sèche ou par voie humide, dans ce dernier cas en le combinant avec les appareils pour broyage humide de la même firme.

On économise ainsi les frais de dessiccation, de briquetage et de séchage des briques. La voie humide est d'ailleurs la manière d'opérer la plus simple et la plus exacte, car elle permet les corrections de dosage; de plus, elle est souvent aussi la plus économique tant au point de vue du coût de l'installation que de celui de la main-d'œuvre.

Le four rotatif est employé, depuis plusieurs années déjà, dans la fabrication par voie sèche du ciment portland de laitier. Le procédé qui va suivre en a été une première application.

Procédé Carl von Forell.

Ce procédé est exploité à Lollar, près de Giessen, en Allemagne, et à Senelle, près de Longwy, en France. Nous ne pensons pas qu'il en existe d'autres applications.

A Lollar, on emploie un calcaire renfermant 98 % de CaCO_3 et un laitier de 47 à 50 % de chaux.

Le four rotatif qui y est employé est celui de la *Brennöfen Bauanstalt*, seulement on a supprimé le tube refroidisseur.

Le four se compose donc du tube sécheur, du tube cuiseur et des annexes pour le broyage du charbon et la soufflerie.

Voici, sommairement décrite, l'application du procédé von Forell, à Lollar :

Le laitier humide et le calcaire dosés et grossièrement mélangés sont jetés dans un concasseur, puis repris et déversés dans le tambour sècheur. Sous l'effet de la température, le calcaire subit un commencement de désagrégation due au départ de l'eau de carrière et d'une portion de l'acide carbonique. Sous cet état sa mouture devient plus facile.

A la sortie du sècheur, le mélange est broyé en farine ne laissant pas plus de 1 % de résidu au tamis de 900 mailles par centimètre carré.

C'est sous cette forme qu'il est introduit dans le four rotatif. La cuisson transforme la masse en nodules de la grosseur d'une noix. La matière, à l'état incandescent, est immédiatement mélangée avec du laitier granulé humide. Ce dernier en se desséchant provoque un refroidissement brusque de la masse et l'extinction de la chaux vive en excès; cela équivaut à l'arrosage que l'on pratique ordinairement sur les roches sortant des fours. On ajoute parfois, à Lollar, jusqu'à 100 % de laitier humide à la masse cuite.

Nous reviendrons plus longuement, dans la suite, sur l'ajoute de laitier aux roches cuites. Cette opération est généralement pratiquée, mais pas dans des proportions aussi considérables que ci-dessus.

Dans le procédé actuel c'est pour permettre cette ajoute de laitier granulé que le tube refroidisseur a été supprimé. Le tube cuiseur a une longueur de 20 mètres; sa production est de 20 à 25 tonnes de matière cuite par 24 heures, moyennant une consommation de 20 % de combustible à l'état pulvérulent. La rotation du four s'effectue à raison de 1 à 1 1/2 tour par minute.

La chemise réfractaire dans la zone de cuisson du four — soit sur une longueur de 6 mètres environ — doit être

réfectionnée tous les six mois, paraît-il. La force motrice nécessaire est de dix chevaux pour la rotation du four et une vingtaine de chevaux pour le broyage du charbon et la soufflerie. Le service du four est simple et très économique.

Le coût de l'installation complète d'un four s'élève entre 60,000 et 70,000 francs, non compris le bâtiment. Ce dernier, pour n'abriter que le four seul, doit avoir 30 mètres de longueur, 10 mètres de largeur et 12 mètres de hauteur.

Telle est la fabrication poursuivie à Lollar; elle est certainement économique, mais nous avouons n'avoir qu'une confiance très relative en la régularité de la qualité du ciment produit. En effet, nous pensons que l'on ne peut guère compter sur l'homogénéité du mélange de calcaire et de laitier qui sort du tube sécheur; de plus, la teneur en eau des laitiers est tellement variable que le dosage des matières premières avant le broyage ne nous paraît pas possible avec une approximation suffisante. Quant à l'addition de laitier granulé aux roches cuites, nous dirons plus loin que nous l'approuvons jusqu'à un certain point, c'est-à-dire, tant qu'elle se justifie au point de vue technique, mais au-delà de cette limite, elle n'est plus qu'une falsification que le consommateur de ciment peut pratiquer lui-même, s'il le juge possible.

Nous transcrivons ci-après les résultats des essais effectués sur divers échantillons de ciment portland préparé à Lollar, au moyen des laitiers, par le procédé von Forell.

Nous ne savons pas, malheureusement, quelle proportion de laitier humide a été additionnée à la masse cuite, lors du défournement de cette dernière.

A. — Résultats d'essais faits à l'Ecole polytechnique de Stuttgart.

1° *Durée de prise* du ciment gâché avec 26.5 % d'eau :

Début 3 heures après le gâchage.

Fin 11 » »

2° *Invariabilité de volume*. — Les essais à l'eau bouillante et à l'air chaud effectués sur des galettes de ciment pur n'ont pas présenté la moindre trace de détérioration.

3° *Finesse de mouture* :

0.7 % de résidus restent sur le tamis de 900 mailles par centimètre carré.

4° *Poids gravimétrique* :

1 litre de ciment non tassé (tamisé) pèse 0^k990.

1 litre » tassé » 1^k780.

5° *Poids spécifique* du ciment desséché : 3.156.

6° *Résistance* :

a) Traction ciment pur :

32^k15 après 1 + 6 jours.

45^k75 » 1 + 27 »

b) Traction mortier normal :

18^k95 après 1 + 6 jours.

22^k90 » 1 + 27 »

c) Compression ciment pur :

400^k6 après 1 + 6 jours.

633^k4 » 1 + 27 »

d) Compression mortier normal :

170^k0 après 1 + 6 jours.

265^k4 » 1 + 27 »

B. — Résultats d'essais faits au Laboratoire royal de Berlin.

1° *Poids gravimétrique :*

1 litre de ciment non tassé pèse 1^k174.
1 litre » tassé » 1^k911.

2° *Poids spécifique* du ciment sec : 3.06.

3° *Finesse de mouture :*

0.2 % de résidus au tamis de 900 mailles par cm².
8 % » » 4,900 »

4° *Essais d'invariabilité de volume.* — Les épreuves à l'eau bouillante, à l'air chaud et à l'eau froide ont donné de bons résultats.

5° *Durée de prise* du ciment pur, gâché avec 27 % d'eau :

Début 3 1/2 heures après le gâchage.
Fin 11 heures » »

6° *Résistance :*

a) A la traction du mortier normal :

19^k2 après 1 + 6 jours.
24^k7 » 1 + 27 »

b) A la traction du ciment pur :

48^k1 après 1 + 6 jours.
55^k6 » 1 + 27 »

c) A la compression du mortier normal :

181^k8 après 1 + 6 jours.
321^k2 » 1 + 27 »

d) A la compression du ciment pur :

588^k4 après 1 + 6 jours.
859^k9 » 1 + 27 »

C. — Enfin, nous avons nous même effectué des essais sur un échantillon de ciment prélevé à Lollar, par un de nos amis, en visite à cette usine. Voici les résultats obtenus :

1° *Finesse* :

1 % de résidus au tamis de 900 mailles par cm².
17.6 % » » 4,900 »

2° *Poids spécifique* : 2.90.

3° *Durée de prise* du ciment pur, gâché avec 24 1/2 % d'eau :

Début 4 1/2 heures après le gâchage.

La fin n'a pu être constatée.

4° *Essais d'invariabilité de volume*. — Les épreuves à l'eau bouillante, à la vapeur et à l'eau froide ont donné de bons résultats.

5° *Résistance* à la traction :

a) Du ciment pur :

26^k22 après 1 + 6 jours.

39^k75 » 1 + 27 »

b) Du mortier normal :

13^k80 après 1 + 6 jours.

19^k20 » 1 + 27 »

Procédé Passow.

M. le Docteur H. Passow — une personnalité de la technique du ciment, en Allemagne — a fait breveter (en Belgique, dès août 1900) un procédé de fabrication absolument nouveau, étrange même et dont l'application provoquera, s'il répond aux prévisions de son inventeur, une véritable révolution sur le marché du ciment.

Ce procédé s'applique à la fabrication du ciment portland en général, c'est-à-dire, quelles que soient les matières premières employées; mais c'est surtout au point de vue de l'emploi du laitier qu'il nous intéresse; c'est d'ailleurs dans ce cas seulement que nous le croyons éventuellement avantageux.

Ce procédé est basé entièrement sur l'action que l'oxygène ou les gaz oxydants exercent, paraît-il, sur le laitier en fusion.

L'inventeur a constaté que si l'on soumet du laitier liquide à l'action de l'oxygène ou de l'air, il subit une modification profonde. Il paraîtrait que l'insufflation de l'air dans du laitier liquide, loin d'abaisser la température de celui-ci, comme on pourrait le croire, l'élève au contraire considérablement et fait persister la fluidité de la masse pendant un laps de temps beaucoup plus long. Le même fait produit une transformation chimique du laitier et un premier caractère dévoilant cette transformation, c'est qu'un laitier ainsi oxydé ne se désagrège plus, par le refroidissement au contact de l'air.

L'inventeur assure qu'un tel laitier, finement moulu, constituera, sans la moindre addition de matières étrangères, un excellent ciment.

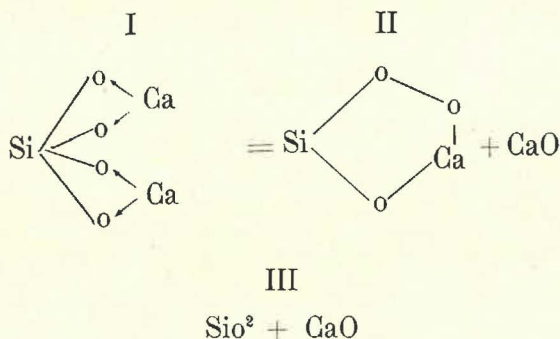
Tandis qu'un ciment portland normal renferme 60 à 65 % de chaux, la farine de laitier granulé par l'air n'en renfermera que 40 à 50 %, suivant la teneur du laitier.

Comme mode de réalisation du procédé, le D^r Passow préconise l'emploi du convertisseur Bessemer, ou de tout autre appareil analogue à insufflation d'air, ou bien l'emploi de tambours rotatifs dans lesquels la masse serait en contact avec l'oxygène ou des gaz oxygénés.

Quant à l'explication de l'effet de cette oxydation, la voici d'après M. le D^r Passow :

Dans le traitement du laitier par l'air, il se forme paral-

lément comme parties constituantes actives ou éléments utiles du ciment, les trois composés suivants :



L'inventeur prétend que les composés I et II, mais surtout I et III, sont indispensables à l'obtention d'un ciment. Il a reconnu que si un laitier fondu est refroidi brusquement, comme cela se présente lors de la granulation par l'eau, c'est presque exclusivement le composé I, l'orthosilicate à chaîne fermée qui se forme. Cet orthosilicate ne posséderait par lui-même que peu ou pas du tout la propriété de faire prise; mais par contre il l'acquiert à un haut degré, s'il est mis en contact avec la chaux.

D'autre part, si le laitier se refroidit lentement et qu'il se désagrège au contact de l'air, il contient surtout le composé II renfermant de la chaux libre. Or, ce composé gâché avec de la chaux ne fait pas prise, pas plus d'ailleurs qu'avec la chaux libre qu'il contient lui-même.

Enfin, si le laitier est surchauffé, par l'oxydation par exemple, le composé II n'existe guère; quant au composé I, il va se dissociant pour donner le composé III. La masse ainsi granulée est donc presque entièrement composée de silice et de chaux dissociées et actives, prêtes à réagir dès que le mélange, finement pulvérisé, se trouvera au contact de l'eau.

Si, par suite d'une irrégularité quelconque l'insufflation d'air est exagérée, le laitier est brusquement saisi, comme lors de la granulation par l'eau et le composé I domine dans la masse. Dans ce cas une faible addition de 1/2 à 5 % d'une matière riche en chaux est nécessaire, d'après le D^r Passow, pour amorcer en quelque sorte la dissociation du composé I, dont la décomposition libère de nouvelles molécules de chaux agissant à leur tour sur l'orthosilicate.

Telle est l'explication donnée par l'inventeur de ce procédé, pour justifier les faits qu'il assure avoir constatés. Toutefois, il ne considère pas cette théorie comme excluant toute autre, la seule chose qu'il affirme et dont il revendique la propriété, c'est la découverte d'un procédé de fabrication du ciment au moyen des laitiers de haut-fourneau notamment et caractérisé par ce fait, que le laitier liquide est traité par l'oxygène ou des gaz oxygénés. Eventuellement il y a lieu d'ajouter à ces matières jusqu'à 5 % d'un composé calcaire convenable dans le but d'assurer dans toutes circonstances leurs propriétés hydrauliques.

Il est très difficile de se prononcer à priori sur la valeur technique de ce procédé; les idées qu'il applique sont absolument nouvelles et il faut un essai pratique à grande échelle pour pouvoir l'apprécier.

Cet essai est en cours d'exécution depuis quelque temps aux hauts-fourneaux de Haiger (Nassau), et aussi à ceux de MM. Rudolf Böcking et C^{ie}, près de Saarbrücken, en Allemagne.

Les renseignements qui nous ont été fournis de diverses sources, concernant les résultats de ces essais, sont trop contradictoires pour être pris en sérieuse considération.

Quant à l'avantage économique du procédé, il serait énorme; si la qualité du ciment est telle que l'inventeur du procédé le préjuge, chaque haut-fourneau ne tardera pas à devenir un important producteur de ciment.

La Maison Fellner et Ziegler, de Francfort-sur-Main, a construit un appareil spécial pour l'application de ce procédé.

C'est un cône creux monté sur une tubulure verticale, laquelle est animée d'un mouvement rapide de rotation. L'appareil se meut au centre d'un cylindre de 3 mètres de diamètre, également vertical et en tôle, avec parois doubles afin de permettre une circulation d'eau pour refroidir l'enveloppe intérieure de ce cylindre. Le laitier en fusion tombe, amené par un chenal, sur la pointe du cône, lequel tourne très rapidement en même temps qu'un courant d'air traverse la tubulure et sort du cône par une série d'ouvertures. Le laitier est littéralement pulvérisé en parties excessivement tenues soumises au contact de l'air pendant leur parcours entre le cône et l'enveloppe circulaire du cylindre.

Procédés divers.

Il existe encore toute une série de procédés que nous allons passer très rapidement en revue, car nous ne croyons pas qu'un seul d'entre eux soit entré dans la pratique. Nous les décrirons plutôt pour montrer, soit la fertilité d'imagination de leurs inventeurs, soit la facilité avec laquelle les brevets s'imitent, même en Allemagne où la législation qui les concerne est cependant plus méticuleuse qu'ailleurs. On sait qu'un brevet n'y est accordé qu'après une enquête sur la réalité et la nouveauté de l'invention, enquête qui dure deux années, pendant lesquelles toute opposition est permise.

1° *Brevets Valdemar Kjeldsen.* — Il en existe d'abord un qui est en somme la paraphrase de celui de la Société Internationale des ciments et brevets Stein. Nous avons vu que ce dernier consiste dans l'addition au mélange brut,

d'une matière liante permettant la transformation en briques et le durcissement rapide de ces dernières sans séchage artificiel. La matière liante est l'hydrate de chaux ; or, Kjeldsen propose le ciment. Ce brevet n'a pas été accordé en Allemagne.

Un autre brevet du même inventeur — et accordé en Allemagne, celui-ci — protège un procédé pour l'obtention du mélange brut, pour la fabrication du ciment, capable d'être broyé sans séchage préalable. Dans ce cas, on ajouterait au mélange des matières brutes et humides — quelles qu'elles soient — une certaine quantité de chaux vive, laquelle s'hydratant en absorbant l'humidité du mélange, permettrait la mouture de celui-ci.

En pratique nous ne savons pas jusqu'à quel point le but visé sera atteint. Pour appliquer ce procédé, il faut faire le dosage des matières à l'état mouillé, ce qui est très peu précis ; ensuite on sera certainement amené à employer des quantités parfois importantes de chaux vive, ce qui sera coûteux, enfin, nous ne pensons pas que l'on parvienne par ce procédé à sécher suffisamment le mélange pour le passer, sans séchage supplémentaire, aux appareils de broyage.

Dans la fabrication du ciment de laitier, il existe depuis longtemps un procédé identique ; c'est-à-dire, qu'au lieu de composer le mélange de laitier sec et de chaux hydratée, on emploie le laitier humide et la chaux vive.

Toutefois, les usines qui appliquent ce procédé sont généralement obligées de faire passer le mélange aux séchoirs, sinon elles encrassent leurs appareils de mouture et diminuent leur rendement.

Quoi qu'il en soit, si le mélange brut a pu être séché, comme l'inventeur du procédé le suppose, et réduit en farine, la fabrication des briques et le restant du travail se feront identiquement comme dans le procédé Stein, grâce à

l'hydrate de chaux qui a pris naissance par la première opération.

2° *Brevets de Carl von Forell.* — En dehors de son procédé de fabrication, décrit plus haut, cet inventeur a encore pris, en Belgique, trois brevets pour des modes de traitement des laitiers.

L'un concerne un procédé de fabrication de ciment portland par le frittage, sans addition aucune, du laitier préalablement granulé dans l'eau. Il faut pour cela des laitiers renfermant 50 % de chaux. On obtient alors une masse qui broyée donne, paraît-il, un produit de même poids spécifique, de même couleur que le ciment portland et jouissant de toutes les autres propriétés de ce dernier. Si le laitier ne renferme pas 50 % de chaux on introduit la chaux manquante, d'une façon quelconque, dans le laitier avant de le soumettre au frittage.

Un second brevet est relatif à un procédé d'enrichissement en chaux, du laitier liquide sortant du fourneau. Dans ce but, le laitier en fusion est déversé dans un four mélangeur tournant, où il reçoit une certaine addition de chaux. On maintient la fluidité de la masse par un chauffage approprié, tout en opérant le mélange intime des deux constituants. On granule ensuite ce nouveau laitier d'une façon quelconque et notamment à l'aide d'un jet de vapeur.

Enfin, le troisième brevet protège un nouveau mode de granulation par lequel le laitier est aussi transformé en ciment portland sans l'addition d'autres matières.

Cette granulation s'obtient en lançant par un jet de vapeur, le laitier sortant de la tuyère contre une surface métallique constamment refroidie. Il paraîtrait que par ce procédé, qui nous semble difficile à réaliser, la structure du laitier est différente de celle qu'on obtient par la granulation dans l'eau. De plus, ce mode de granulation réalise plus complètement la désulfuration, ce qui est un

avantage. Ce procédé offre une certaine analogie avec le procédé Passow, décrit plus haut.

3° *Brevet Hugo Stein*. — Dans presque tous ces procédés qui utilisent le laitier granulé pour la fabrication du ciment portland, il existe une anomalie.

Par la granulation dans l'eau, le laitier est refroidi subitement avec *perte* d'une énorme quantité de chaleur. Or, pendant la cuisson du ciment on doit *restituer* au mélange de laitier et de calcaire une certaine quantité de chaleur pour que les réactions entre le silice, l'alumine d'une part, et la chaux d'autre part, puissent s'accomplir.

Or, le séchage du laitier et la cuisson du ciment sont les opérations particulièrement dispendieuses de la fabrication; on a donc cherché à les éviter complètement. Le procédé Passow éliminerait entièrement ces opérations; le procédé Hugo Stein, que nous allons décrire, éliminerait le séchage et réduirait notablement les frais de cuisson.

En effet, on propose de recueillir le laitier sortant du haut-fourneau dans un autre four où il serait intimement mélangé avec des matières riches en chaux. La fusion se réduirait à celle des matières ajoutées, la consommation de combustible serait donc moindre. Comme four, l'inventeur préconise notamment le convertisseur Bessemer, comme le D^r Passow l'a déjà fait.

La masse fondue étant devenue bien homogène, on la défourne, on la laisse se désagréger par refroidissement à l'air et l'on n'admet au broyage que les particules déjà très fines. On peut aussi granuler le mélange fondu de la façon habituelle, c'est-à-dire, dans l'eau froide.

Tout cela se présente très bien en théorie. En pratique il ne sera pas facile de maintenir le laitier à un état suffisamment fluide pour que le mélange soit bien homogène.

Ensuite, cette difficulté vaincue, nous pensons que les matières auront été portées à une température trop élevée,

car c'est la fusion complète du ciment qui aura été réalisée, alors que l'on doit seulement obtenir le commencement de vitrification.

En réalité donc, le ciment aura été surcuit, et il est généralement admis qu'un tel ciment, quoique n'étant pas sans valeur, ne vaut pas le ciment convenablement cuit.

*Procédé de fabrication du ciment portland au moyen
du laitier fusé.*

L'on sait que la fabrication du ciment de laitier (par le procédé à froid) exige avant tout que le laitier soit granulé. De même pour la fabrication du ciment portland de laitier on n'a opéré jusqu'à présent qu'au moyen de laitiers granulés. Dans le premier cas, il fallait des laitiers d'allure très chaude et d'une composition bien déterminée, dans le second cas, le choix des matières permet une plus grande latitude. Par extension on doit se demander si le laitier non granulé ne peut pas aussi être utilisé à la fabrication du ciment portland.

Il ne s'agit pas, bien entendu, du laitier qui reste compact après le refroidissement, le concassage et la mouture d'une telle matière excluant toute possibilité d'emploi; mais certains laitiers très calcaireux se réduisent spontanément en poussière par le refroidissement, cette matière parfaitement sèche pourrait éventuellement être employée avec économie dans la préparation du portland.

M. L. Tetmayer a constaté jadis que si certains laitiers granulés sont chauffés au rouge sombre et refroidis ensuite lentement ils perdent leur propriété pouzzolanique et ne conviennent plus pour la fabrication du ciment de laitier.

Or, dans la fabrication du ciment portland le mélange de laitier granulé et de calcaire est amené à une température supérieure au rouge sombre, jusqu'à commencement de

fusion; il est donc bien naturel d'admettre qu'avant d'avoir atteint ce degré de température le laitier est en quelque sorte *détrempé* et se comporte dans ses réactions ultérieures avec la chaux, exactement comme le ferait un laitier non granulé placé dans les mêmes conditions.

On avait cru que la granulation avait pour effet de dissocier les laitiers pour en isoler soit de la silice, soit des composés capables de durcir la chaux sous l'eau. Or, M. E. Lunge, qui a étudié récemment cette question (1), a constaté que le laitier non granulé renferme 4 à 5 fois autant de SiO_2 libre que le laitier granulé lequel en contient très peu; mais par contre ce dernier renferme une quantité plus forte de silicate décomposable par les lessives de NaOH à 10 ou 5 %.

Quoi qu'il en soit de cette nouvelle théorie de la granulation, il paraît a priori qu'un laitier fusé spontanément au contact de l'air, peut parfaitement convenir à la fabrication du ciment portland; aussi existe-t-il un procédé de fabrication basé sur cette idée, c'est le procédé Zientarski. Il n'est donc applicable qu'aux laitiers suffisamment basiques pour s'émietter entièrement au contact de l'air froid. Ce laitier est trié pour en séparer la poudre qui est seule employée.

Celle-ci est intimement mélangée, en proportions voulues, avec de la chaux blutée ou avec du calcaire pulvérisé; la masse est alors soumise à la cuisson dans un four rotatif.

Ce procédé, à notre connaissance, n'a pas encore été appliqué.

Nous terminerons ici cette rapide revue des procédés de fabrication du ciment portland au moyen des laitiers. Comme on l'a vu, ceux qui ont reçu des applications indus-

(1) *Zeitschrift für angewandte chemie*, 1900, p. 409.

trielles produisent un excellent ciment. Naturellement cette fabrication, tout comme celle du ciment obtenu par le traitement des matières argileuses, demande des soins constants pour produire des résultats.

S'il arrive que l'on constate qu'un échantillon de ciment portland de laitier donne de mauvais résultats, il ne faut en accuser que le manque de soins apportés dans sa fabrication et peut-être aussi, jusqu'à un certain point, le relâchement survenu dans cette fabrication par l'adoption d'un procédé éventuellement plus simple et par suite plus économique, mais aussi moins précis.

(A suivre.)

