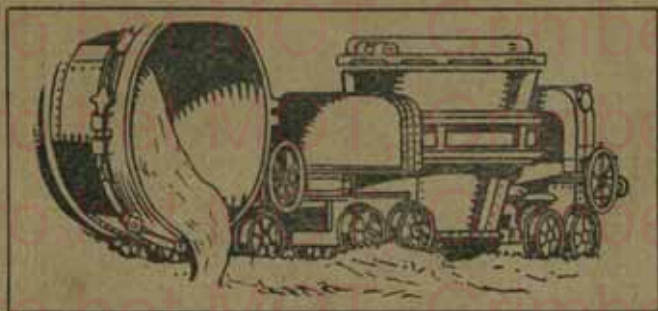


LE
LAITIER DE HAUT FOURNEAU
ET SES DÉRIVÉS



SES
EMPLOIS
DANS LE
BÉTONNAGE
ET LES
ROUTES

Créée dans le but de mieux faire connaître les emplois du laitier de haut fourneau et de ses dérivés, cette brochure a été éditée et tirée à 25.000 exemplaires, sous les auspices des producteurs ci-après :

Société d'Angleur-Athus, Tilleur.

Usines Gustave Boël, La Louvière.

Société John Cockerill, Seraing.

Société Métallurgique d'Espérance-Longdoz, Liège.

Hauts Fourneaux et Mines de Musson.

Société d'Ougrée-Marihaye.

Divisions : Ougrée, Monceau, Moncheret, Rodange.

Société Métallurgique de Sambre et Moselle,
Montigny-sur-Sambre.

Usines de Thy-le-Château, Marcinelle.

Usines Métallurgiques du Hainaut, Couillet.

Forges et Usines de la Providence,
Marchienne-au-Pont.

*Avec l'expression des sentiments distingués des
Administrations des Usines ci-dessus et avec l'hommage
de l'Auteur.*

M. Cayphray

AVANT-PROPOS

Le laitier de haut fourneau est un sous-produit du traitement par fusion des minerais de fer, formé par la combinaison de la gangue, des fondants et des cendres du combustible.

Comme la plupart des sous-produits de l'industrie sidérurgique qu'on récupère actuellement au grand avantage de l'économie générale, le laitier constituait une gêne et fut pendant longtemps considéré comme n'ayant aucune valeur d'utilisation.

Son emploi sous forme de concassé, de granulé ou de ciment qui se pratique depuis plus d'un quart de siècle, a mis à la disposition des ingénieurs, architectes, conducteurs de travaux et entrepreneurs, d'excellents matériaux dont l'usage s'est étendu rapidement dans toutes les branches de la construction.

En ordre principal, c'est la pratique qui a révélé les qualités techniques du laitier; mais par les soins apportés dans la préparation des pro-

duits, au fur et à mesure des progrès de la science, ces qualités ont été développées de plus en plus.

Grâce au bon outillage des usines, au prix excessivement bas et à l'abondance de la matière première, on peut livrer aujourd'hui à bon compte à la consommation des matériaux de choix.

Toutefois, la seule question du prix n'est pas un facteur déterminant. Il s'agit avant tout de faire œuvre durable. C'est donc par ses mérites intrinsèques que le laitier concassé ou granulé devait conquérir sa réputation actuelle.

Comme on le verra dans le corps de ce travail, il réunit, en effet, tous les avantages des meilleurs matériaux extraits des carrières ou des lits des rivières.

Les nombreuses applications faites dans les domaines les plus divers en Belgique, en France et ailleurs (les premières datent de 50 années) démontrent qu'il peut remplacer les dits matériaux dans tous les cas qui se présentent.

Les essais et expériences théoriques et pratiques effectués par des organismes officiels et des institutions scientifiques dont l'impartialité ne peut être mise en doute, ont même établi

que souvent il leur est nettement supérieur à tous points de vue.

Le Gouvernement allemand n'a-t-il pas déclaré officiellement et sans réserve que le laitier de haut fourneau de bonne qualité donne des bétons d'une résistance supérieure à celle des bétons de gravier ? Et pourtant chacun connaît la renommée des graviers du Rhin, très employés en Belgique !

Malgré l'importance qu'on doit attacher à l'opinion des savants, celle-ci n'acquiert toute sa valeur que lorsqu'elle a été confirmée par une pratique de longue durée.

C'est donc à l'usage et séparément pour les différentes classes de travaux, qu'il convient, en fin de compte, d'apprécier les nouveaux matériaux que nous présentons.

On dispose pour cela des rapports de techniciens et praticiens éminents dont les conclusions sont basées sur des milliers et des milliers d'investigations et d'observations portant sur un demi-siècle de pratique.

A cet égard, la documentation formant la division E de ce travail montre toute l'importance attachée partout à la question du laitier comme facteur économique national.

Par un sentiment tout naturel, le consommateur reste généralement circonspect dans l'usage d'un produit qui ne lui est pas familier. D'autre part, malgré son souci d'économie, il a parfois une tendance à considérer les prix avantageux comme synonymes d'infériorité, surtout quand les premières applications de ce produit n'ont pas complètement répondu aux espérances.

C'est ce qui s'est présenté, par exemple, pour le ciment à base de laitier. Certaines fournitures effectuées par de petits industriels tentés par la simplicité apparente de la fabrication, mais dont l'outillage et surtout les moyens de contrôle étaient insuffisants, lui ont fait à l'origine une réputation nuisible à son développement.

Discuté dans la suite pour des raisons qui n'étaient pas toujours objectives, il a fini par s'imposer, grâce aux fabricants expérimentés qui se sont équipés industriellement et techniquement pour sa préparation, et sa renommée est actuellement telle qu'il serait superflu de faire son éloge.

La pratique a définitivement tranché la question.

Plus personne ne met en doute les propriétés remarquables de ce ciment qui, n'ayons pas crainte d'employer le mot, occupe une place d'honneur dans l'art de la construction. Tous les Gouvernements et les grandes Administrations l'admettent, depuis des années, dans les travaux civils et militaires de très grande importance.

Il a été employé pour le Monument aux Morts de Verdun, récemment construit. En ce moment, on l'utilise pour les travaux du Tunnel sous l'Escaut.

La réserve avec laquelle il fut accueilli au début, rejallit gratuitement sur le laitier lorsqu'il apparut sous la forme de concassé ou de granulé.

Depuis longtemps, cependant, ce dernier a également conquis ses lettres de noblesse ; de même que le ciment, qui procède du laitier et qui est particulièrement recherché pour les travaux exposés à l'action d'eaux agressives ou exigeant de grandes résistances, le laitier n'est plus aujourd'hui une nouveauté pouvant comporter des aléas et il trouve sa place dans tous les ouvrages sans exception, même les plus délicats.

Aussi les matériaux dont nous parlons ont-ils acquis et retenu la faveur des spécialistes

qui ont aujourd'hui la satisfaction de pouvoir concilier deux facteurs essentiels et souvent opposés en matière de construction : la sécurité et l'économie.

On peut affirmer qu'à l'heure actuelle, tous les pays étrangers dotés, comme le nôtre, d'une industrie sidérurgique et ceux qui dépendent d'un de ces pays pour leurs approvisionnements de matériaux durs, usent sur une grande échelle du laitier de haut fourneau et de ses dérivés.

Si, dans notre pays, le grand public n'ignore plus rien de la valeur du laitier transformé en ciment, il ne connaît pas assez tout le parti qu'on peut en tirer sous forme de pierraille ou de sable et ne semble pas encore lui accorder le rang qui, sous ces aspects également, lui revient dans la nomenclature des matériaux de construction de premier choix.

Le but de notre brochure est d'éclairer davantage le public sur ce PRODUIT NATIONAL économique, de haute valeur technique et d'utilisation facile, qu'il soit présenté comme liant, agrégat pour le béton ou macadam pour les routes.

Ce faisant, nous avons le sentiment de faire œuvre utile, surtout en cette période de crise où le point de vue financier joue en matière de construction, de travaux et d'entretien un rôle plus important que jamais.

Nous nous permettons par conséquent de recommander à nos lecteurs la consultation attentive de la documentation qui va suivre, car elle établit d'une façon qui ne laisse la possibilité à aucune discussion, la supériorité des matériaux de laitier dont le champ d'emploi est pour ainsi dire illimité.

La qualité exceptionnelle de ces produits étant ainsi démontrée, le consommateur désirant calculer l'économie à retirer de leur utilisation aura donc simplement à comparer leurs prix à ceux des autres bons matériaux correspondants.

Cependant, il aura à tenir compte en plus qu'à raison de sa moindre densité, le laitier donne lieu à un volume de maçonnerie plus élevé et à des frais de transport plus réduits que les dits matériaux.

Ittre (Brabant), Octobre 1932.

A. CAYPHAS.

PLAN DE L'OUVRAGE

Ce travail comprend les divisions principales ci-après :

A. — Les divers aspects du laitier et ses emplois dans les différents pays.

B. — Applications du laitier (concaissé, granulé ou ciment) dans les constructions civiles et industrielles et les arts industriels.

C. — Emplois du laitier concaissé et granulé dans les voies de chemins de fer.

D. — Utilisations du laitier sous forme de concaissés nus ou enrobés (tarmacadam) dans les travaux de voirie.

E. — Une dernière division intitulée "*La Technique du laitier*," reproduit notamment des certificats d'essais officiels, les conclusions de rapports de Commissions scientifiques et d'Instituts professionnels, etc., qui confirment et corroborent ce que nous écrivons concernant les qualités économiques et techniques du laitier et de ses dérivés.

A

LES ASPECTS DU LAITIER ET SES EMPLOIS DANS LES DIVERS PAYS

CHANTIER D'UNE BALLASTIÈRE DE LAITIER



Le laitier en voie de refroidissement (à gauche) forme un nuage de fumée et de vapeur. A droite, les ouvriers détachent le laitier refroidi et cristallisé qui est envoyé au concasseur au moyen de petits wagonnets



LES DIVERS ASPECTS DU LAITIER

Avant que nous développiions les applications du laitier, il sera intéressant pour nos lecteurs d'avoir quelques indications sur les différentes formes sous lesquelles ce matériau se présente actuellement dans le commerce.

I. LE LAITIER CONCASSÉ

Amené dans des poches de grande capacité, du haut fourneau aux chantiers de la ballastière, le laitier en fusion est répandu sur le sol en couches d'épaisseur déterminée.

Refroidissant naturellement à l'air, il cristallise sous forme de roche silico-calcaire compacte, absolument inattaquable par l'eau et analogue au basalte (voir gravure de la page 1).

Il est alors concassé et trié, tout comme les matériaux de carrières, suivant les usages auxquels il doit servir.

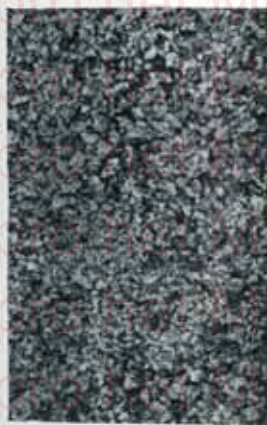
Lorsque sa préparation est complète, le laitier cristallisé ne se distingue plus guère des matériaux extraits du sol, sauf par une certaine porosité qui présente l'avantage d'augmenter l'adhérence, quand il est employé dans le béton ou en macadam ⁽¹⁾ et la perméabilité, quand il sert de ballast pour les voies de chemins de fer.

(1) Voir page 16, chapitre VI de la deuxième partie de la division E de cette brochure.

II. LE LAITIER GRANULÉ

a) Fabrication

A sa sortie du haut fourneau, alors qu'il est encore à l'état liquide, le laitier n'est pas envoyé, comme dans le cas précédent, à la ballastière pour se refroidir lentement, mais est refroidi sur place, brusquement, par un traitement spécial appelé "granulation".



Laitier granulé 3

Quoiqu'il existe plusieurs procédés pour cette opération (par l'eau, la vapeur ou l'air comprimé), elle consiste habituellement à précipiter le jet de laitier dans un courant d'eau froide ou dans des cuves remplies de ce liquide.

Au lieu de prendre, comme dans le premier cas, les apparences de la pierre naturelle, la matière se vitrifie et donne naissance à un produit doué d'une grande hydraulicité, qui crisse sous la main et qu'on désigne couramment sous l'appellation de "laitier granulé", et quelquefois de "sable de laitier", à raison de sa ressemblance avec le sable naturel. Les éléments les plus volumineux sont très spongieux et offrent une faible résistance mécanique, mais cette particularité disparaît complètement par le broyage.

b) Valeur technique du laitier granulé

Des études approfondies de ce produit pour la manufacture du béton simple et du béton armé, ont été faites par des Commissions officielles, surtout en Allemagne.

Dans le rapport présenté au nom d'une de ces Commissions par le Prof. H Burchartz, cet éminent spécialiste conclut :

« De tous les essais effectués, on peut tirer les conclusions générales ci-après :

» 1. Le laitier granulé sous la forme légère (b) comme sous la forme lourde (b) permet de préparer un béton non armé et un béton armé de bon usage.

» 2. Pour les ouvrages en élévation, le mortier de laitier granulé doit être employé en mélange compact (a) de façon à obtenir un enrobage parfait des fers.

» 3. Le granulé léger (b) de l'espèce de ceux expérimentés produira un béton de résistance un peu inférieure et le granulé lourd (b) un béton de résistance équivalente ou même supérieure à celle du bon sable naturel. »

(a) Le mélange compact comporte une partie de ciment, deux de laitier granulé broyé et trois de pierrailles de laitier.

(b) Par granulé léger, le rapporteur entend celui dont le poids spécifique à l'état de siccité complète est de 2650 à 2750 grammes et par granulé lourd, celui dont le poids spécifique est de 2900 à 2950 grammes.

Broyé, le laitier granulé améliore considérablement les qualités du béton auquel il est incorporé (1). En augmentant la finesse des éléments et en détruisant les parties

(1) M. G. Maguel, Directeur du Laboratoire du Béton armé, à Gand, a établi que le mortier de laitier granulé finement broyé (80 0/0 passant par le tamis de 1 m/m) accuse après 14 jours, une résistance supérieure de 40 0/0 à celle du mortier de laitier granulé tout venant (39 0/0 passant par le tamis de 1 m/m). (Voir « La Technique des Travaux » Avril 1927.)

spongieuses, le broyage développe ses propriétés liantes; il lui donne en outre une valeur semblable à celle des célèbres pouzzolanes du Vésuve utilisées par les Romains dans les travaux dont les restes forcent, aujourd'hui encore, l'admiration des bâtisseurs.

Après cette opération, même sommaire, le laitier granulé est par lui-même un véritable ciment capable de faire prise et de durcir lentement sans addition d'aucun catalyseur.

c) Emplois du laitier granulé

1. Le laitier granulé est très apprécié dans la maçonnerie comme sable de construction, car par suite de ses propriétés hydrauliques, il donne au mortier une résistance plus grande que le sable de carrière ou de rivière. Tous les praticiens qui l'ont employé pour cet usage le préfèrent de beaucoup au sable naturel ⁽¹⁾ dont il prend également la place dans les travaux de pavage.

2. Il forme l'élément principal des ciments de haut fourneau et il entre très souvent, surtout aux Etats-Unis, comme matière première dans la fabrication des ciments Portland artificiels, dont il améliore la qualité.

3. On commence à l'utiliser dans ce pays également pour la fabrication du verre. Le produit obtenu est parfaitement transparent; son prix de revient est très bas et ses propriétés physiques et chimiques sont, à certains égards, supérieures à celles du verre blanc ordinaire à base de chaux et de soude. ⁽²⁾

4. Légèrement broyé, il sert à créer sous les remblais et les fondations, un lit répartiteur d'une très grande efficacité.

(1) Voir page 18, deuxième partie de la division E, Chapitre VIII.

(2) Voir "Chemical and metallurgical Engineering", Décembre 1931.

5. Il compose le meilleur des amaigrissants et pour cet usage, il doit être préféré à tout autre matériau inerte.

6. Un auteur français cite cette application très intéressante : (1)

« Le laitier granulé sert pour fabriquer sous des machines puissantes et susceptibles d'engendrer des vibrations gênantes (telles que moteurs Diesel, compresseurs d'air, etc.) des **massifs d'amortissement** en béton de faible densité. Ces amortisseurs peuvent être constitués, par exemple, d'un béton maigre au dosage de 200 kilogs de ciment de laitier, par m³ de **laitier granulé**. (Rapprocher de l'emploi n° 4 ci-dessus.)

A ce sujet, nous ferons remarquer que, quand le massif des fondations sera en béton de ciment et de concassés de laitier, il se soudera intimement au massif amortisseur en laitier granulé, à raison de l'affinité que ces matériaux ont les uns pour les autres; l'augmentation de la masse de la fondation qui en résultera aura pour conséquence naturelle de réduire encore l'amplitude des vibrations et de les rendre pratiquement imperceptibles.

7. Dans un autre domaine, en agriculture, le laitier (moulu ou granulé) est très avantageusement substitué à la chaux, particulièrement pour la fertilisation et l'amendement des sols légers et de ceux riches en humus, dont il améliore notablement le rendement. (2)

III. LES LIANTS HYDRAULIQUES

Grâce à ses propriétés naturelles remarquables, le laitier de haut fourneau trouve, depuis plus de 30 ans, une grande utilisation dans la fabrication des ciments. La découverte de ces propriétés fait époque dans l'histoire de la cimenterie car, du jour au lendemain, elle a placé cette industrie en face d'une situation tout à fait nouvelle.

(1) « L'utilisation du ciment de laitier », par J. Cleret de Langavant.

(2) « Archiv fuer das Eisenhuettenwesen », - mars 1932. - Dr Hubert Kappen.

Tous les produits obtenus sont de première valeur, s'ils sont bien fabriqués. Ils ont cependant chacun des qualités particulières physiques et chimiques, qui les recommandent plus spécialement pour tel ou tel cas d'application.

On trouvera ci-après, quelques notions élémentaires qui aideront à distinguer ces ciments et à leur assurer un emploi rationnel et avantageux.

Les liants à base de laitier se divisent en deux catégories bien distinctes : 1^o les *ciments métallurgiques* proprement dits ; 2^o le *ciment de laitier*.

A. Les ciments métallurgiques

1. *Composition.* Les ciments métallurgiques sont le produit homogène de la mouture fine d'un mélange de clinker de ciment Portland (1) et de laitier granulé de haut fourneau.

Chaque producteur fixe les proportions optima du mélange des 2 éléments constitutifs, conformément à sa propre expérience, aux caractéristiques des matières premières dont il dispose, ainsi qu'aux conditions techniques ou à l'usage qui lui sont indiqués par le consommateur.

2. *Dénominations.* Ces ciments portent des dénominations différentes ; malheureusement, elles varient non seulement d'un pays à l'autre, mais souvent dans un même pays, ce qui donne lieu parfois à des confusions et à des malentendus. Aussi en vue de faire disparaître toute équivoque, l'Association belge pour l'étude et l'essai des matériaux a-t-elle chargé une Commission spéciale d'étudier une terminologie uniforme.

(1) Le clinker est le produit de la cuisson à très haute température d'un mélange de calcaire et de marne. Dans les ciments métallurgiques, celle-ci est généralement remplacée par du laitier de haut fourneau.

Cette Commission a proposé les classifications et définitions que nous donnons à titre de renseignement dans le tableau ci-après, en attendant leur adoption par les différents corps intéressés et leur consécration par la pratique.

CLASSIFICATIONS	COMPOSITION EN 0/0		SUBDIVISIONS
	Clinker	Laitier granulé	
I. Ciment Portland de fer	70 min.	30 max.	{ N. { H. R.
II. Ciment de haut fourneau	{ 30 min. à 70 max.	{ 70 max. à 30 min.	{ N. { H. R.
III. Ciment permétallurgique *	moins de 30	plus de 70	{ N. { S.

N. = Normal H. R. = Haute Résistance S. = Spécial

* Ce ciment peut également contenir une certaine quantité d'autres matières, principalement de la chaux éteinte.

3. *Equivalence avec les Ciments Portland Artificiels.*

A la conclusion de travaux pratiques commencés 15 ans auparavant, une Commission officielle (1) du Gouvernement allemand, qui se réunit pour la première fois le 2 Juin 1902 et qui travailla avec la collaboration de l'Institut Royal pour l'essai des matériaux de Berlin-Gross-Lichterfeld, mit successivement les divers ciments métallurgiques sur un pied d'égalité absolue avec les ciments Portland artificiels auxquels elle les assimila complètement (même subdivision, mêmes normes pour les résistances, etc...). (2)

(1) Cette Commission, au caractère absolument impartial et d'une haute valeur scientifique et technique, était composée de représentants compétents des Administrations publiques et Groupements de producteurs et consommateurs intéressés à la question des matériaux. Elle comprenait donc également des délégués des fabricants de Ciments Portland Artificiels plutôt portés à découvrir des points faibles aux Ciments Métallurgiques. Les décisions de la Commission furent prises à l'unanimité des membres.

(2) Décisions ministérielles des 6 Mars 1909, 18 Janvier 1915 et 13 Janvier

4. Caractéristiques techniques des ciments métallurgiques.

Dans une récente conférence, ⁽¹⁾ Mr Arthur Cousin, Chef de service des Hauts fourneaux de la Société John Cockerill, à Seraing, a exposé avec chiffres et diagrammes à l'appui, la théorie et la pratique des ciments métallurgiques.

M. Cousin a notamment établi que:

a) — La combinaison clinker-laitier peut, si elle est bien faite, donner lieu à un ciment complètement exempt de chaux libre, ce qui s'oppose à la désagrégation du béton par les eaux sulfatées.⁽²⁾

Les essais de compression après séjour des éprouvettes dans une solution de $MgSO_4$ qui caractérise les eaux agressives, (eaux de mer, eaux sulfatées des houillères, eaux d'égout, etc.) ont démontré que le Portland pur est détruit après 6 mois, le Portland de fer à 70 % de clinker après 2 ans, tandis que le ciment à 70 % de laitier non seulement est indemne après ce laps de temps, mais ne cesse de durcir.

b) — L'addition de laitier au clinker permet d'éviter le dégagement de chaleur ⁽³⁾ tout en maintenant les hautes résistances et le durcissement rapide. Cela est très im-

1916 relatives au ciment Portland de fer et des 22 Novembre 1917, 17 Novembre 1918 et 24 Mai 1924 relatives au ciment de haut fourneau.

La décision du 24 Mai 1924 déclare: 1^o qu'aucun cas de corrosion du fer ne peut être imputé aux ciments de haut fourneau, 2^o que ceux-ci accusent aux actions chimiques une plus grande résistance que le Portland artificiel et que de ce chef ils sont spécialement indiqués pour certaines constructions industrielles, ainsi que pour les travaux à la mer et en terrains marécageux.

(1) Bulletin de la Société belge des Ingénieurs et des Industriels, Année 1932, n^o 5.

(2) Voir l'ouvrage du Dr Richard Gruen intitulé « *Beton im Meerwasser* ».

(3) Au cours de la construction du barrage de Guerlédan, en Bretagne, (voir gravure de la page 16 de la division B VIII) on a constaté que l'augmentation de la température des massifs de béton de ciment de laitier était inférieure à 10°, alors qu'elle était de 20° pour un béton de Portland artificiel.

portant, par exemple, pour les puits foncés par congélation (c'est le cas pour le Tunnel sous l'Escaut), les abris de défense en béton à occuper immédiatement après achèvement, les galeries et autres travaux souterrains dans les mines, etc., etc.

c) — La stabilité en volume résultant des réactions chimiques de durcissement est pratiquement réalisée.

d) — Le retrait est également très faible, au point de n'être pas mesurable.

EN RÉSUMÉ, il résulte de ce qui vient d'être exposé que les *ciments métallurgiques* possèdent :

A. - Sans exception, toutes les qualités reconnues aux ciments Portland artificiels, telles les hautes résistances et le durcissement rapide.

B. - Des qualités importantes qui font défaut aux ciments Portland artificiels, par exemple :

a) Une grande résistance à l'action des eaux agressives ;

b) Un faible dégagement de chaleur pendant le durcissement, sans que la qualité soit affectée ;

c) Une absence d'expansion, ce qui élimine un grave inconvénient inhérent aux autres ciments. (1)

(1) Le dégagement de chaleur et l'expansion sont susceptibles de créer de fortes tensions capables d'affecter les conditions statiques de l'ouvrage, surtout dans les cas de grandes masses de béton.

A la construction des quais de Brême, les températures moyennes au 4me jour étaient de 58° pour le Portland artificiel et de 35° pour le Portland de fer. (Agatz : « *L'Utilisation rationnelle du béton* » Springer 1927.)

5. Emplois des ciments métallurgiques.

Non seulement ces ciments sont admis dans les différents pays (France, Hollande, Allemagne, Etats-Unis, etc.) au même titre que les ciments artificiels pour tous les travaux de grande importance, civils et militaires, en béton armé ou non, mais, dans bien des cas, ils leur sont préférés et sont même imposés par les cahiers des charges: il en est ainsi, notamment, pour toutes les constructions maritimes en Hollande et en Allemagne.

En *Belgique*, quoique leur emploi soit plus récent, ils ont reçu déjà de très nombreuses applications. L'une des plus remarquables est celle qui a été faite au Tunnel sous l'Escaut pour la construction de puits creusés par congélation à travers 30 mètres de sables aquifères. (1)

A l'heure actuelle, rien qu'en *Allemagne*, où les premières applications de ces ciments pour le béton armé datent de 1901, plus de 10 millions de tonnes ont servi à des constructions de tout genre, dont la moitié pour l'Etat.

Des quantités très importantes ont été livrées à la *France* par l'Allemagne, au titre des réparations, pour les travaux des ports français.

La *Hollande* s'en sert pour les travaux à la mer (Digues de Scheveninghe, assèchement du Zuiderzée, écluse et canal d'Ymuyden, etc.). L'emploi s'y généralise de plus en plus et s'étend à tous les genres de constructions.

(1) Voir page 16, de la 1^{re} partie de la Division E de cette brochure, le procès-verbal de l'essai de ce ciment fait par le laboratoire de Malines, à la demande et à l'initiative de l'employeur.

B. - Le ciment de laitier

Composition. - Le ciment de laitier est un liant hydraulique obtenu par la mouture d'un mélange à froid de laitier granulé et de chaux éteinte, la proportion de laitier étant de 70 % environ. Les ajoutes pour régulariser la prise ne dépassent pas 3 %. (1)

Suivant les résistances qui leur sont imposées, les ciments de laitier se subdivisent en ciments de laitier normaux et en ciments de laitier spéciaux.

En France, l'appellation de ciment de laitier embrasse également des ciments contenant jusqu'à 15 % de clinker, mais ceux-ci possèdent naturellement certaines propriétés différentes de celles des mélanges à la chaux.

Caractéristiques. - Le ciment de laitier fournit des bétons dont la résistance est un peu inférieure à celle des bétons de ciment Portland artificiel ou de ciment de haut fourneau.

Il est très intéressant par son prix réduit qui est loin d'être au niveau de ses qualités. Il procure, en effet, des résultats remarquables dans tous les travaux où des résistances tout à fait exceptionnelles et un durcissement rapide ne sont pas indispensables.

Un spécialiste français, M. Cleret de Langavant, a publié sur le ciment de laitier de nombreuses études dont nous pouvons résumer les conclusions comme suit :

1°. Le ciment de laitier voit son durcissement croître de façon presque indéfinie dans l'eau ou en souterrain.

2°. Il peut être utilisé en toute sécurité dès son arrivée sur le chantier, l'emmagasinage préalable imposé aux ciments non à base de laitier devenant ainsi inutile.

(1) Le degré de finesse de la mouture est un facteur important.

M. G. Magnel, professeur à l'Université de Gand, a établi qu'un ciment de laitier donnant un refus de 10,3 % sur le tamis à 4,901 mailles par cm² accusait après 28 jours, une résistance à la compression de 332 kgs/cm², tandis qu'il n'accusait plus que 244 kgs, lorsqu'il était moulu à 16 % seulement.

3°. A l'encontre des ciments naturels et artificiels, il ne donne jamais d'expansion.

4°. Il n'est pas cassant et résiste victorieusement aux chocs et aux vibrations.

5°. Son rendement en mortier est très supérieur à celui des ciments artificiels ; à égalité de dosage, il fournit un mortier plus compact, plus plastique et naturellement plus facile à mettre en œuvre que ces derniers.

6°. Dans la maçonnerie en fondation et en élévation, la substitution du ciment de laitier à la chaux hydraulique assure, sans qu'il en résulte pratiquement une augmentation du prix de revient, les avantages du ciment artificiel du type courant, alors que l'emploi de ce dernier entraîne une dépense supplémentaire très importante. (1)

* * *

Emplois. - L'usage du ciment de laitier se répand rapidement en Belgique, où nous citerons comme exemples, les travaux suivants exécutés avec ce matériau :

Les darses d'Anvers (60.000 tonnes) ; les murs de quai de la Meuse, à Liège ; les piles et culées du pont de Visé ; les silos *suspendus* (de 3.000 tonnes de capacité) à la Cimenterie et Briqueterie de Tilleur ; les accumulateurs à minerais d'Ougrée-Marihaye, à Ougrée, d'une contenance de 150.000 tonnes ; les silos à ciment des usines John Cockerill, à Seraing et une grande partie des constructions représentées à la Division B de cette brochure.

En France, l'Etat, la Ville de Paris (pour les égouts, les galeries du chemin de fer métropolitain, les fondations de chaussées) et l'Administration des Travaux Publics utilisent les deux tiers de la production du pays.

Plus de 30.000 T. ont été mises en œuvre pour la seule construction du barrage d'Eguzon. Celui de Sarrans, sur la Truyère (105 mètres de hauteur), en cours d'édification à l'heure actuelle, en absorbera 80.000 tonnes.

(1) Il n'est pas toujours nécessaire, tant au point de vue économique que sécurité, de recourir à du ciment Portland artificiel de qualité courante. Il existe une catégorie de ciments très intéressants par leur prix réduit (60 % environ des Portlands) et devenus intéressants par leurs qualités : ce sont les ciments de laitier (G. Magnel : " La Technique des Travaux ", avril 1927.)

II

LES EMPLOIS DU LAITIER

DANS

LES DIFFÉRENTS PAYS.

Nous pensons que le meilleur moyen de montrer la mesure dans laquelle les produits de laitier sont entrés dans la pratique courante, est de donner tout d'abord un bref aperçu de ce qui se fait, depuis près d'un demi-siècle, dans différents pays.

AUX ÉTATS-UNIS

C'est d'Amérique qu'est venue l'idée de l'utilisation, sur une grande échelle, des laitiers de haut fourneau sous forme de concassés et de pierrailles calibrés.

Les premières applications datent de la deuxième moitié du siècle dernier.

Vingt ans plus tard, 15 millions de mètres cubes de béton de laitier avaient servi à l'édification d'importants ouvrages civils et industriels, sans qu'aucun mécompte se fût produit au cours de cette longue période.

Ce résultat est d'autant plus remarquable, qu'à l'époque, les connaissances sur la préparation et l'emploi du laitier, quoique déjà avancées, n'avaient certainement pas la valeur scientifique qu'elles ont aujourd'hui.

L'emploi de ce matériau s'est généralisé dans le bâtiment.

Des constructions de rapport à 20 étages ont absorbé jusqu'à 40.000 m³ de béton chacune.

A Cleveland et à Philadelphie, de grands magasins à 4 étages ayant 15 années d'existence ont été livrés à la démolition pour des raisons d'agrandissement ou autres convenances.

L'examen des matériaux retirés a montré que le béton de laitier n'avait subi aucune détérioration et que l'armature était indemne de toute trace d'altération. (1)

Parmi les grands ouvrages du génie civil construits dès le principe, en béton de laitier, on relève notamment :

1^o Le viaduc de North Hill, Akron, Ohio, de près de 700 m. de longueur, avec 19 ouvertures, de 40 m. de hauteur au-dessus du niveau de la rivière.

2^o Le pont-route de Bingaman, à Reading, Pa, d'une longueur totale de près de 500 mètres et d'une largeur de 18 mètres.

3^o Le "Curry Hollow Arch", sur la ligne de Monongahela, de la Compagnie du chemin de fer du Sud, à trafic excessivement intense.

Depuis, les constructions en béton de laitier sont de plus en plus importantes et laissent bien loin derrière elles les exemples que nous venons de citer.

De plus, d'autres applications ont été données aux concassés : par exemple, la construction de *bassins filtrants*.

(1) Voir page 2 de la deuxième partie de la division E, le chapitre III intitulé : "L'action du laitier de haut fourneau sur le fer."

Citons entre autres, les filtres d'Akron (Ohio) et de Canton (Ohio) qui ont absorbé respectivement 70.000 T. et 60.000 T. de laitier.

Toutes les organisations américaines tant officielles que privées, intéressées aux matériaux de construction, ont accepté l'usage du laitier et ont déterminé dans leurs cahiers des charges et spécifications, les règles auxquelles il doit obéir.

Actuellement, la production annuelle du laitier pour usages commerciaux est de plus de 10 millions de tonnes dont 1/3 environ sert d'agrégat pour le béton.

EN ALLEMAGNE

En Allemagne, pays par excellence du progrès technique systématisé, les principaux produits entrant dans la construction sont généralement soumis à des études scientifiques de laboratoire, avant de passer dans l'usage courant.

Il n'est donc pas surprenant que les allemands aient repris les travaux américains en leur appliquant leurs lentes et méthodiques recherches scientifiques et aient entrepris sous le patronage gouvernemental, les premiers essais officiels qui ont permis de déterminer, d'une façon précise, la valeur du laitier pour le bétonnage, ainsi que les normes pour sa préparation et sa mise en œuvre.

Nos lecteurs comprendront ainsi pourquoi nous serons souvent amenés à faire des emprunts aux travaux consciencieux exécutés dans ce pays.

A raison de l'importance du problème, la Commission gouvernementale nommée en vue des études sur le

laitier, a attendu les résultats de 15 années de recherches expérimentales et de laboratoire, avant de déposer des conclusions définitives.

Dans son rapport de janvier 1924, approuvé par la décision ministérielle du 30 Avril de la même année, la Commission s'est exprimée dans les termes suivants :

“ Il résulte des expériences faites jusqu'à présent, que le laitier de haut fourneau concassé fournit un bon béton qui est même supérieur, dans certains cas, au béton de gravier.

Par conséquent, là où les conditions locales le permettent, les laitiers de haut fourneau seront, pour des considérations d'économie, employés comme matière com-posante dans le béton non armé et dans le béton armé.”

La Commission déclara en outre que les concassés de laitier peuvent être utilisés **dans tous les cas** où les autres matériaux trouvent leur application et que leur influence sur les armatures métalliques n'est pas différente de celle exercée par ces derniers. (1)

Cette consécration officielle des qualités du laitier pour le bétonnage, qui promettait les plus importantes conséquences, eût un vif retentissement dans tout le pays, car la pierre de grande résistance y abonde partout, soit en carrière, soit comme gravier dans le lit des rivières.

Elle a été suivie de la construction de travaux considérables du génie civil qui, en ce qui concerne l'importance et la solidité, ne le cèdent en rien à ceux exécutés avec les meilleurs matériaux naturels.

(1) Voir Spécifications allemandes d'Avril 1931, page 3 de la deuxième partie de la division E, ainsi que le Rapport d'analyse de l'Institut Meurice, de Bruxelles, page 11 de la division C de cette brochure.

EN FRANCE ET EN BELGIQUE

C'est surtout au lendemain de la guerre, qu'on a commencé à utiliser en grand le laitier pour les constructions civiles et industrielles.

L'importance, la multiplicité et la variété des travaux exécutés au cours de ces dernières années témoignent de l'intérêt et de la confiance accordés au nouveau matériau et il est permis de dire que peu de produits peuvent s'enorgueillir de s'être imposés aussi rapidement à l'attention des spécialistes pour les travaux où la sécurité et la solidité sont des conditions essentielles.

On l'utilise dans toute la région du Nord et de l'Est de la France pour tous les emplois industriels (massifs de machines, ancrages, soutènements, etc.) et pour les travaux du génie civil et militaire.

La plupart des travaux de restauration des usines sidérurgiques belges, après la guerre, ont été exécutés en béton confectionné uniquement à l'aide de sous-produits de haut fourneau (pierrailles de laitier, laitier granulé, ciment de laitier).

Mentionnons entre autres : les Usines d'Angleur-Athus; les Forges de Clabecq ; les Usines Métallurgiques du Hainaut, à Couillet ; les Usines Gustave Boël, à La Louvière ; les Usines de la Providence, à Marchienne-au-Pont ; la Société d'Alliance-Monceau, à Monceau-sur-Sambre ; la

Société d'Ougrée-Marihaye, à Ougrée ; la Société John Cockerill, à Seraing ; les Usines Moncheret, à Acoz ; la Société de Thy-le-Château, à Marcinelle, etc.

Une de ces sociétés a employé dans ses installations environ 100.000 m³ de béton de laitier armé et non armé, non seulement pour les fondations et les pilots, mais aussi pour les parties en élévation et ce avec le même succès.

Ces exemples de constructions modèles peuvent certainement être cités à cause de leur importance, des difficultés rencontrées et des exigences auxquelles il fallait satisfaire.

Si on considère, par exemple, les masses énormes qui, dans les hauts fourneaux et les laminoirs, reposent sur les fondations soumises aux trépidations de machines extrêmement puissantes et brutales et les efforts destructifs auxquels elles sont exposées par un travail sans répit, l'empirisme ou des considérations extra-techniques devaient nécessairement être écartés dans le choix des matériaux.

L'arrêt de telles installations, ne fût-il que d'une heure, pourrait donner lieu à des pertes au regard desquelles le coût d'établissement des fondations serait insignifiant ; à raison de l'importance des responsabilités engagées, il fallait donc avant tout, avoir la certitude que le laitier ne donnerait lieu à aucun mécompte. (1)

Les résultats ont confirmé que cette confiance était pleinement justifiée.

L'emploi du laitier se répand aussi dans les *constructions civiles*. Parmi les nombreux exemples à notre disposition nous ne pouvons, nous semble-t-il, en citer de meilleur que les nouveaux locaux de l'Université du Travail, à

(1) Voir page 2 de la division B de cette brochure.

Charleroi, où la nature et le coût relatif des matériaux mis en œuvre a fait l'objet d'études spéciales de la part des techniciens de l'Établissement. Le laitier a également été employé dans la construction de l'École Normale d'Arlon.

Les *charbonnages*, particulièrement atteints par la dépression des affaires, seront heureux de pouvoir disposer d'un matériau économique pour les cuvelages de puits, les revêtements de galeries et autres travaux de bétonnage du fond et de la surface. (1)

Nous nous permettons donc de signaler le laitier à leur attention, car utilisé sous forme de monolithe ou de blocs préparés à l'avance, il leur donnera au moins autant de satisfaction que les autres matériaux d'un prix plus élevé.

Depuis des années, le laitier a également trouvé emploi dans la fabrication des carreaux pour pavements, des briques dites "de laitier", des conduites d'eau, de gaz, etc. Il en est de même pour les pieux de fondation en béton armé et ici également, le succès a été complet dans tous les cas, quelque destructives que soient parfois les conditions du battage des pilots.

* *

Les emplois du laitier pour le *béton* armé ou non armé, en fondation et en élévation, ou pour l'*empierrement* sont tellement étendus qu'il serait oiseux de vouloir les détailler davantage dans cette brochure.

Aussi nous semble-t-il plus simple de les réunir tous dans cette formule lapidaire :

L'usage du laitier de haut fourneau s'indique dans tous les cas, qu'il s'agisse de travaux de construction, de routes ou de voies de chemins de fer, ou de la manufacture de produits industriels et d'ornementation.

(1) Voir description de travaux effectués en béton de laitier au Charbonnage de Boubier, à Châtelet, page 1 de la deuxième partie de la division E de cette brochure).



LES APPLICATIONS
DU
BÉTON DE LAITIER
(CONCASSÉ, GRANULÉ, CIMENT)

DANS LES
CONSTRUCTIONS
CIVILES ET INDUSTRIELLES

Le lecteur trouvera dans les pages qui suivent des spécimens de travaux réalisés dans différents pays à l'aide de béton de sous-produits de haut fourneau.

Ils nous dispenseront de nous étendre sur le sujet, car nous pensons que l'image sera plus instructive et plus convaincante que la plume.

D'une façon générale, chaque planche indique la composition du béton employé dans l'ouvrage qu'elle représente.

IL Y A 10 ANS !

Le 8 février 1923, la " Société de Thy-le-Château et Marcinelle " adressait à la " C^{ie} Internationale des Pieux Franki ", à Liège, une lettre disant :

" Veuillez nous confirmer que les accumulateurs en laitier et ciment de laitier seront tout aussi satisfaisants, au point de vue de la résistance à l'usure par frottement des matières emmagasinées, que ceux installés aux fourneaux Nos 3 et 4 dans lesquels les matériaux employés sont : grenailles de Quenast et graviers de Taillefer, avec ciment Portland artificiel. "

Cette firme, spécialisée dans les travaux en béton et qui jouit d'une réputation mondiale, a répondu à cette demande, sous la date du 12 février 1923, dans les termes que voici :

En suite de votre honorée de 8 courant, nous avons l'avantage de vous faire savoir que les accumulateurs en laitier et ciment de laitier seront tout aussi résistants que les accumulateurs en grenaille ou gravier et ciment Portland. "

Signé : PIEUX FRANKI, C^{ie} Internationale
des pieux armés Frankignoul.

MASSIFS & FONDATIONS

HAUTS FOURNEAUX, BLOOMINGS,

MARTEAUX-PILONS, TURBO-SOUFFLEURS,

GAZOGÈNES, GAZOMÈTRES, COMPRESSEURS,

CHEMINÉES, POMPES,

CONDUITES A GAZ ET A EAU, ETC.

QUELQUES RÉFÉRENCES

SOCIÉTÉ D'ANGLEUR-ATHUS, TILLEUR-LEZ-LIÈGE.

USINES DE ET A CHATELINEAU.

SOCIÉTÉ JOHN COCKERILL, SERAING.

SOCIÉTÉ MÉTALLURGIQUE D'ESPÉRANCE-LONGDOZ, LIÈGE.

USINES DE MONCHERET, ACOZ.

SOCIÉTÉ D'UGRÉE-MARIMAYE, (DIVISION DUGRÉE.)

HAUTS FOURNEAUX, FORGES & ACIÉRIES DE DIFFERDANGE.

USINES GUSTAVE BOËL, LA LOUVIÈRE.

UNION CHIMIQUE BELGE, TERTRE.

FABRIQUE DE FER DE ET A CHARLEROI.

SOCIÉTÉ BELGE D'AGGLOMÉRATION DE MINÉRAIS, LA LOUVIÈRE.

VERRERIES DE GILLY

USINES MÉTALLURGIQUES DU HAINAUT, COUILLET.

SOCIÉTÉ D'ALLIANCE-MONCEAU, MONCEAU-SUR-SAMBRE.

FONDERIES & LAMINOIRS DE BAUME, LA LOUVIÈRE.

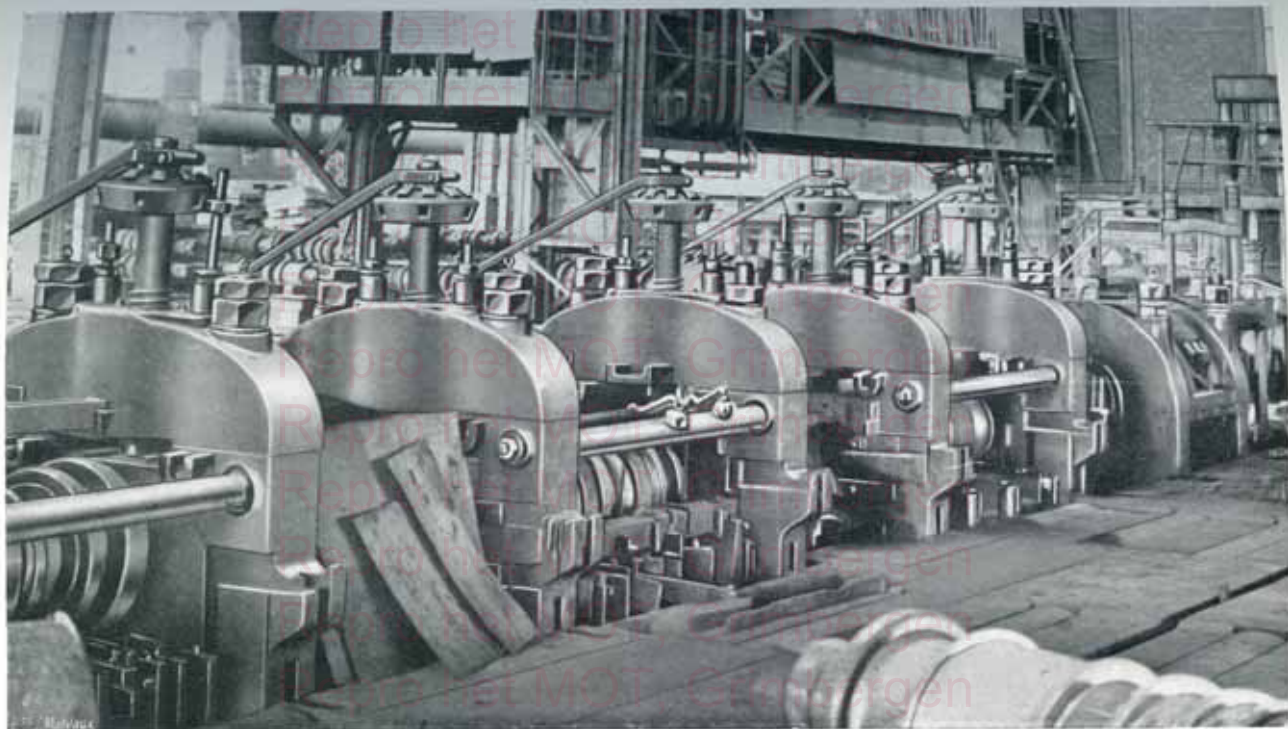
CARRIÈRES & FOURN A CHAUX (SIÈGES D'AISEMONT ET DE BOUFFIOLX)

FORGES DE CLABECQ, CLABECQ

Composition du béton (par m³) des fondations du blooming de la page 5

Ciment de laitier	300 kgr.
Laitier granulé broyé	400 litr.
Laitier concassé 20/60 m/m	800 litr.

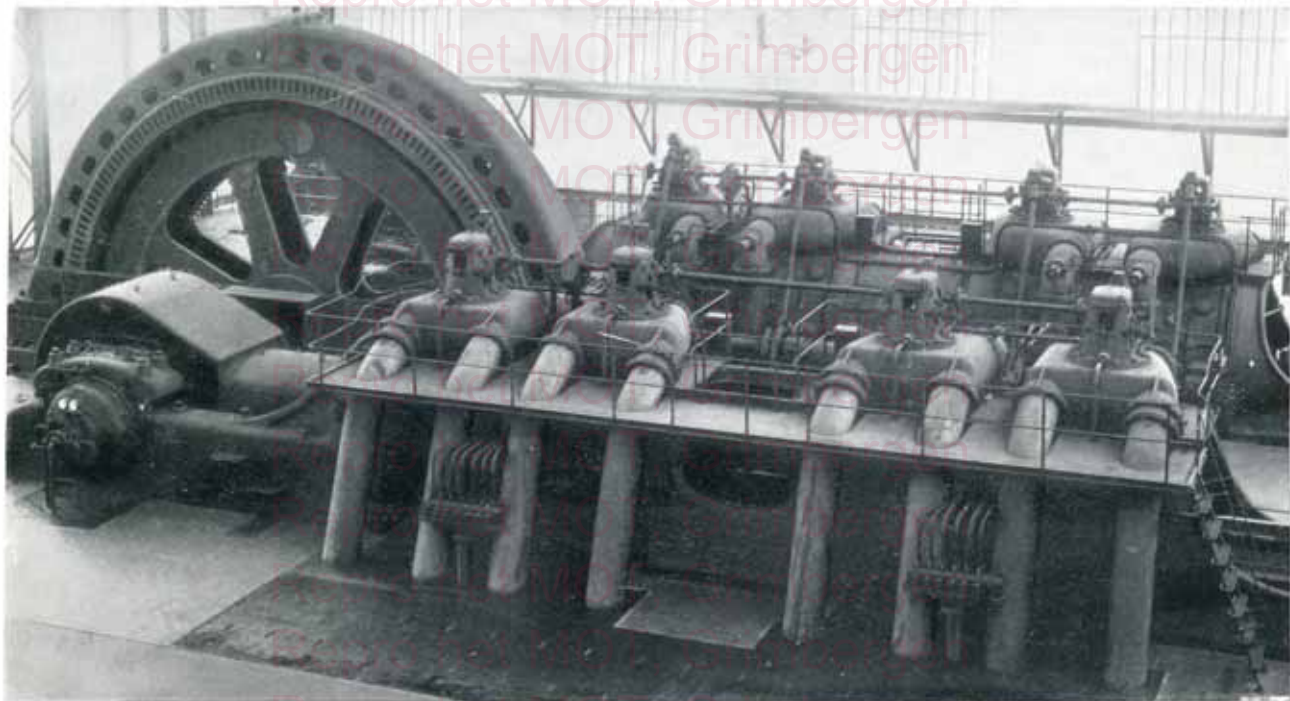
Cube de béton total des fondations du blooming 2.500 m³



Repro het MOT, Grimbergen

(Voir page 4, la composition du béton des fondations)

MOTEURS DE 10.000 HP. CHACUN SUR FONDATIONS EN BÉTON DE LAITIER
(SOCIÉTÉ D'ALLIANCE-MONCEAU, MONCEAU-SUR-SAMBRE) (Voir page 7 plan de la fondation)

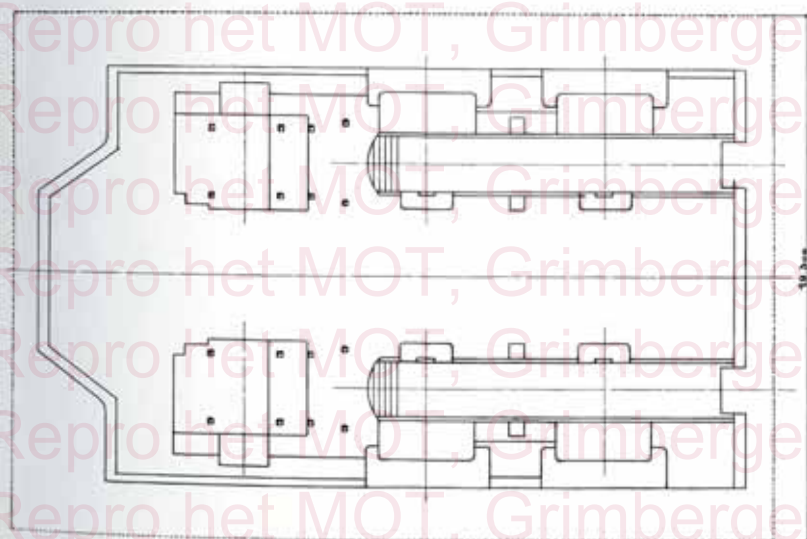
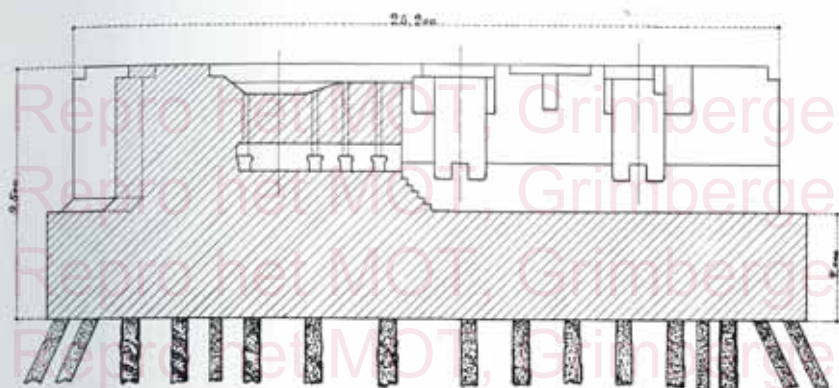


Les fondations des 2 moteurs sont établies sur 204 pieux Franki de 8 m. de long en béton de laitier.

FONDATEMENTS EN BÉTON DE LAITIER DE DEUX MOTEURS DE 10.000 HP CHACUN

(SOCIÉTÉ D'ALLIANCE-MONCEAU, A MONCEAU-SUR-SAMBRE)

(Voir page 6 ci-avant, la machine montée sur ses fondations en béton de laitier)



No 5
CUBE DE BÉTON TOTAL
 pour les
 fondations des 2 moteurs : **7200 m³**

Composition du béton (par m³)

Ciment de laitier . . .	300 kgr.
Laitier granulé broyé . . .	400 litr.
Laitier concassé 20/60 . . .	800 litr.

FONDATEMENTS EN BÉTON DE LAITIER D'UN MOTEUR DE 5000 HP (EN COURS DE CONSTRUCTION)
(USINES MÉTALLURGIQUES DU HAINAUT, COUILLET)

BI

— 8 —



Repro het MOT, Grimbergen
Le cube total de la fondation du moteur est de 3150 m³ de béton de laitier

Opzet met 240000 m² 2005 klasse Pleurki de 8 m. de betonwerk en 12000 m² totten draalwerk

II

CHATEAUX D'EAU & RÉSERVOIRS

QUELQUES RÉFÉRENCES

USINES MÉTALLURGIQUES DU HAINAUT, COUILLET,
CHARBONNAGE DE BOUBIER, CHATELET.

CHARBONNAGE DE BRAI-LEZ-BINCHE,
FORGES & LAMINOIRS DE A JEMAPPES.

Composition du béton employé (par m³)
pour la tour du château d'eau de la page 3.

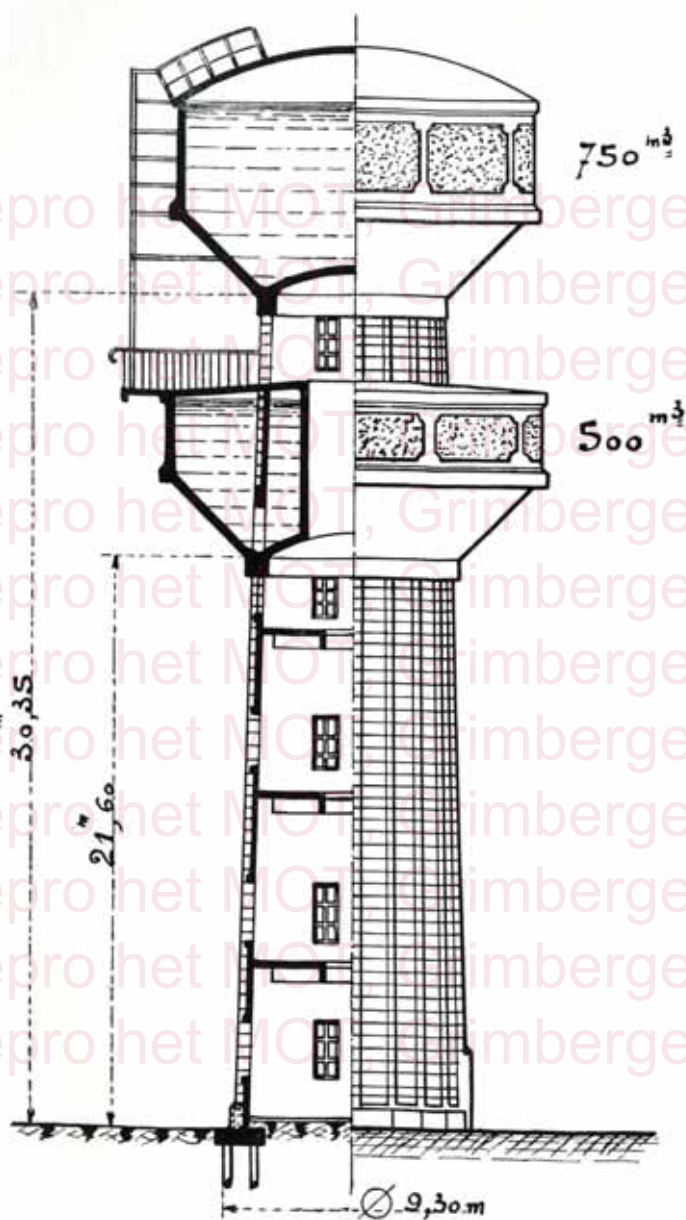
Ciment de laitier spécial	300 kgr.
Sable	400 litr.
Pierrailles de laitier de 5/20 mm.	800 litr.

CHATEAU D'EAU A DOUBLE RÉSERVOIR DE 1250 M³.

(USINES MÉTALLURGIQUES DU HAINAUT, COUILLET)

11

(Voir photo page suivante)



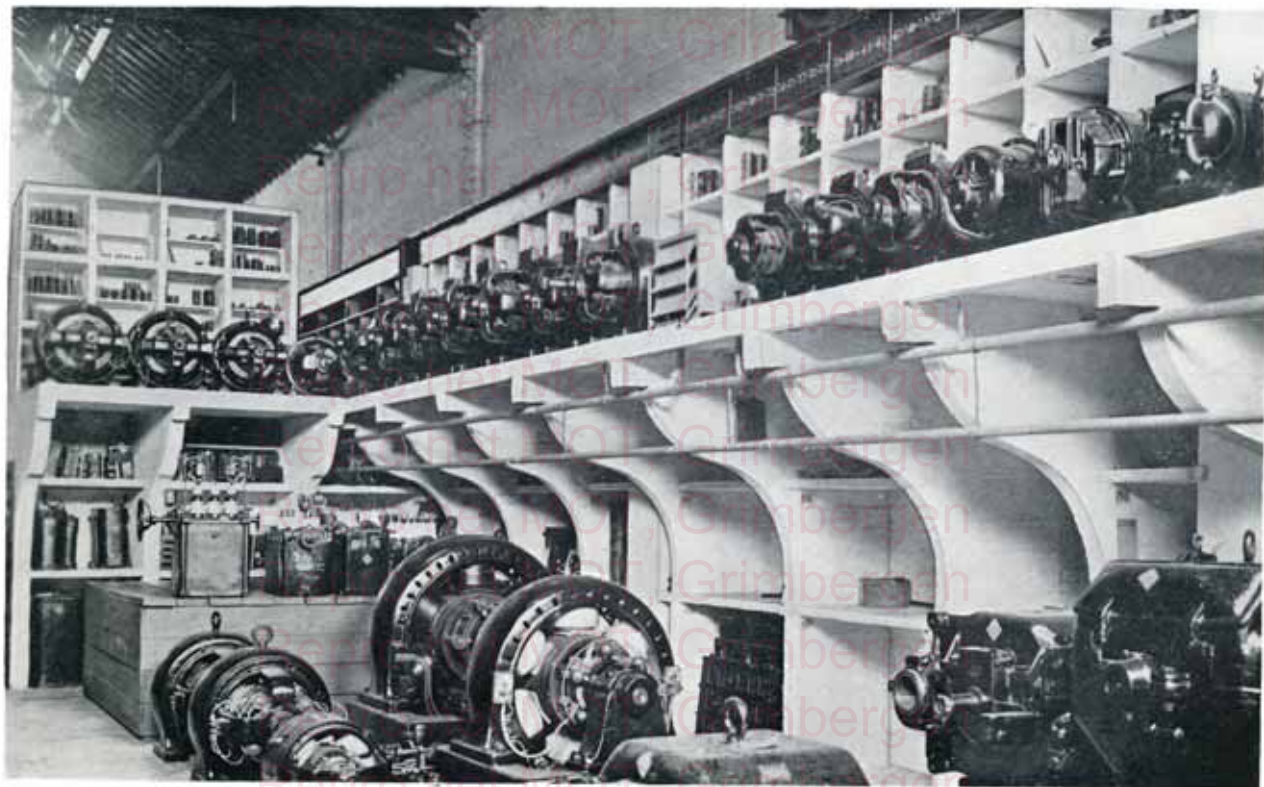
CHATEAU D'EAU A DOUBLE RÉSERVOIR DE 1250 M³
USINES MÉTALLURGIQUES DU HAINAUT, COUILLET
(Voir coupe page 2 ci-avant)

No 10



L'ouvrage, d'une hauteur totale de 40 mètres au-dessus du sol, est établi sur la rive de la Sambre. Il est fondé sur 60 pieux en béton armé de laitier de 30/30 cm. et de 8 m. de longueur, PRÉPARÉS D'AVANCE et battus à la sonnette.

CASIERS EN BÉTON DE LAITIER POUR MAGASINS



(La composition du béton est la même que celle indiquée à la page 8, BVIII.)

III

RÉFRIGÉRANTS

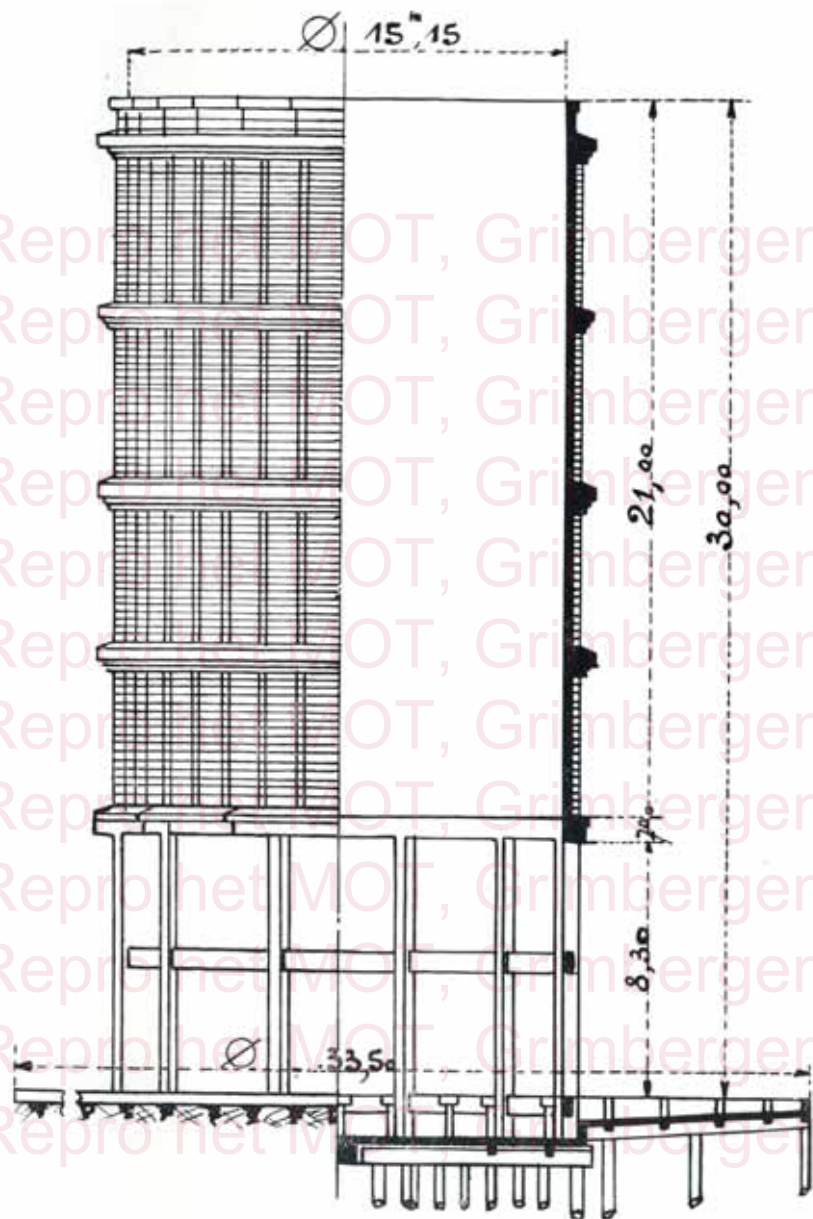
QUELQUES RÉFÉRENCES

SITUATION DES OUVRAGES	HAUTEUR (EN MÈTRES)	DIAM. INT.
SOCIÉTÉ D'ÉLECTRICITÉ INTERBRABANT, DROOGENBOSCH (Voir coupe de l'ouvrage page 2)	30	15.15
USINES GUSTAVE BOËL, LA LOUVIÈRE	30	14.50
SOCIÉTÉ D'ALLIANCE-MONCEAU, MONCEAU-SUR-SAMBRE	25	10.40
SOCIÉTÉ HADIR, DIFFERDANGE	25	9.07
FORGES & LAMINOIRS DE BAUME, HAINE-SAINT-PIERRE (1)	24	8.70
HAUTS FOURNEAUX & MINES DE MUSSON	24	8.40
USINES DE MONCHERET, ACOZ	20	7.60
UNION CHIMIQUE BELGE, TERTRE	28	13.00
CHARBONNAGE DU BOIS DU LUC	30	13.20
CHARBONNAGE DE BEERINGEN	29	11.85
CHARBONNAGE DU HAINAUT, HAUTRAGE	28	12.90
CHARBONNAGE DU RIEU DU CŒUR, QUAREGNON	25	11.30
CHARBONNAGE DE MAURAGE	22	6
	à 24	à 10,50
CHARBONNAGES HORNU & WASMES (voir photo page 3)	23	8.70
GAZ & ÉLECTRICITÉ DU HAINAUT, MARIEMONT	24	10.50

Composition normale des bétons pour réfrigérants

Ciment de laitier	350 kgs.
Sable	400 lit.
Pierrailles de laitier 5/20 mm.	800 lit.

(1) Supportant un réservoir en béton de laitier de 300 m³ de capacité.



Cet ouvrage, établi sur les rives de la Senne, repose sur 76 pieux en béton de laitier préparés d'avance et battus à la sonnette. Il y en a 52 de 10 m,50 de longueur et de $0,30 \times 0,30$ m. de section, et 24 de 11 m. de longueur et de $0,285 \times 0,285$ m. de section. Le cube de béton total est de 435 m³.



Les tuyaux ont 1 m. 25 de diam. intérieur, 3 m. de longueur et 105 millimètres d'épaisseur de paroi, armature double. Ils sont en béton vibré comprenant 450 kgs de ciment Portland de haut fourneau (type II des tableaux des pages 8 de la division A et 16 de la division E de cette brochure).



Essais effectués le 19 mars 1932, en présence de

no 12 bis

MM. BIEFNOT, Directeur de l'A. I. de D.

CAMPUS, Professeur à l'Université de Liège.

DACOS, Professeur à l'Université de Liège.

DUYCKERS, Directeur au Ministère des Travaux Publics.

VAN BELLE, Député, Bourgmestre de Tilleur.

A - Pression intérieure

La pression intérieure a été élevée à 5 atmosphères, sans déformation ni détérioration du béton; elle n'a pu être portée à un taux supérieur, le matériel approprié faisant défaut.

B - Charge extérieure

Le tuyau a subi sans déformation ni détérioration une charge de 24.000 kgs disposée sur une surface de 1 mètre de longueur et 0 m. 200 de largeur. L'installation de fortune dont on disposait n'a pas permis d'augmenter la charge.

IV

LES GRANDES CHEMINÉES D'USINES ET DE HAUTS FOURNEAUX

RÉFÉRENCES	Hauteur	Diamètre inférieur au sommet
(EN MÈTRES)		
USINES MÉTALLURGIQUES DU HAINAUT, COUILLET	85	3.60
BRASSERIES LABOR-HAINAUT RÉUNIES, MONS	55	1.50
UNION CHIMIQUE BELGE, ZANDVOORT	50	2.90
FORGES ET LAMINOIRS DE ET A JEMAPPES (1)	45	2.00
SOCIÉTÉ I.N.D.A.C. PONT-BRULÉ	46	1.65
LAMINOIRS DE LONGTAIN, LA CROYÈRE	30	1.25

(1) Cette cheminée supporte un réservoir en béton de laitier de 4 mètres de hauteur et de 80 m³ de capacité dont le fond est à 10 mètres au-dessus du niveau du sol.

CHEMINÉE DE HAUT FOURNEAU EN BÉTON DE LAITIER
(USINES MÉTALLURGIQUES DU HAINAUT, COUILLET)

Caractéristiques techniques

Hauteur au-dessus du sol: 85 m. 00

Diamètre intér. au sommet: 3 m. 60

Fondations :

Diamètre 11 m. 20

Hauteur sous le sol . . . 2 m. 50

Semelle en béton: épais. 1 m. 00

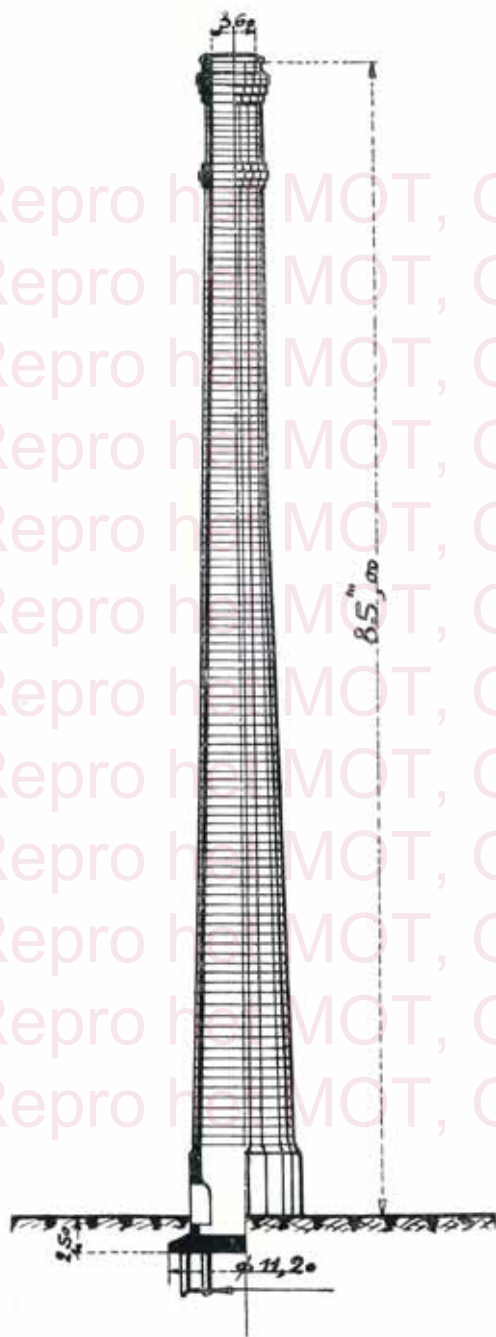
Température des gaz : 500°.

Pression du vent : 120 kgr. par m²
de surface plane.

Note intéressante :

Une société métallurgique du Pays de Charleroi signale que depuis de nombreuses années, elle a abandonné les briques réfractaires pour les remplacer par des **briques en laitier et ciment de laitier** dans les maçonneries de parties de chaudières, fours, séchoirs, carnaux de fumée, etc., où la température ne dépasse pas 300° c.

Cette cheminée repose sur 40 pieux Franki, de 8 m. de longueur, en béton de laitier également.



V

TRAVAUX HYDRAULIQUES

QUELQUES RÉFÉRENCES

USINES GUSTAVE BOËL, LA LOUVIÈRE

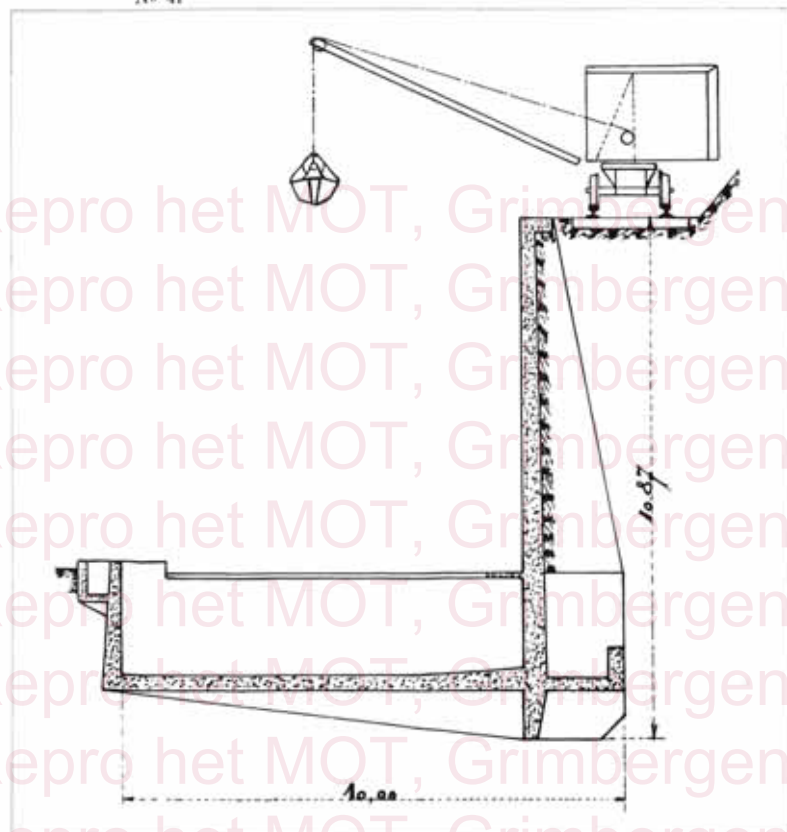
USINES MÉTALLURGIQUES DU HAINAUT, COUILLET

SOCIÉTÉ INTERCOMMUNALE BELGE D'ÉLECTRICITÉ, MONCEAU-S-SAMBRE

USINES DE THY-LE-CHATEAU, MARGINELLE

INSTALLATION DE DÉCANTATION

SOCIÉTÉ INTERCOMMUNALE BELGE D'ÉLECTRICITÉ, MONCEAU-S-SAMBRE
N° 41



Composition du béton employé (par m³)

Ferro-ciment	350 kgr.
Sable	403 litr.
Pierrailles de laitier 5/20 mm.	800 litr.

N. B. - L'installation a une longueur de 30 m. environ et une largeur de plus de 10 m.

Nous attirons l'attention du lecteur sur les réactions considérables qui s'exercent sur le mur de soutènement (d'une hauteur d'environ 10 m. au-dessus du fond du bassin) par la présence de la voie de roulement d'une grue de 40.000 kilog. établie tout le long de la partie supérieure du bassin.

VI

INSTALLATIONS

DE

TRIAGE & LAVAGE DE CHARBON

—

Composition du béton employé pour l'ouvrage de la page 2 (par m³).

—

Ferro Ciment	: 350 kgs.
Sable	: 200 lit.
Poussier de laitier	: 200 lit.
Pierrailles de laitier 5/20	: 800 lit.

—

La construction comporte un cube total de 1,025 m³ de béton de laitier.

INSTALLATION DE TRIAGE, CONCASSAGE & LAVAGE DE CHARBON, EN BÉTON DE LAITIER
(CHARBONNAGE DE BOUBIER, CHATELET)



VII

POSTES DE TRANSFORMATION

POUR

LIGNES ÉLECTRIQUES A HAUTE TENSION

RÉFÉRENCES

GAZ ET ÉLECTRICITÉ DU HAINAUT, FARCHIENNES.

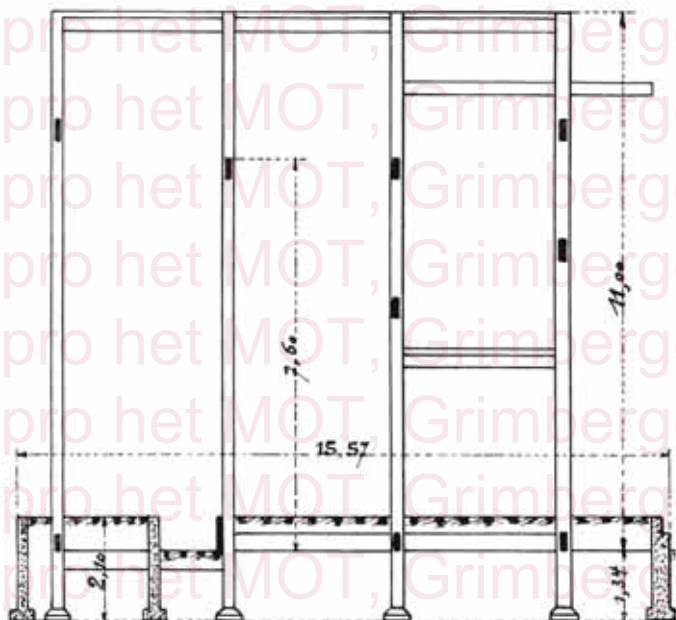
GAZ ET ÉLECTRICITÉ DU HAINAUT, MONTIGNIES-SUR-SAMBRE.

Composition normale des bétons pour ces ouvrages (par m³)

	Élévation	Pieux
Ciment de laitier	350 kgs.	400 kgr.
Sable	400 lit.	200 lit.
Poussier de laitier	—	200 lit.
Pierrailles de laitier 5/20	800 lit.	800 lit.

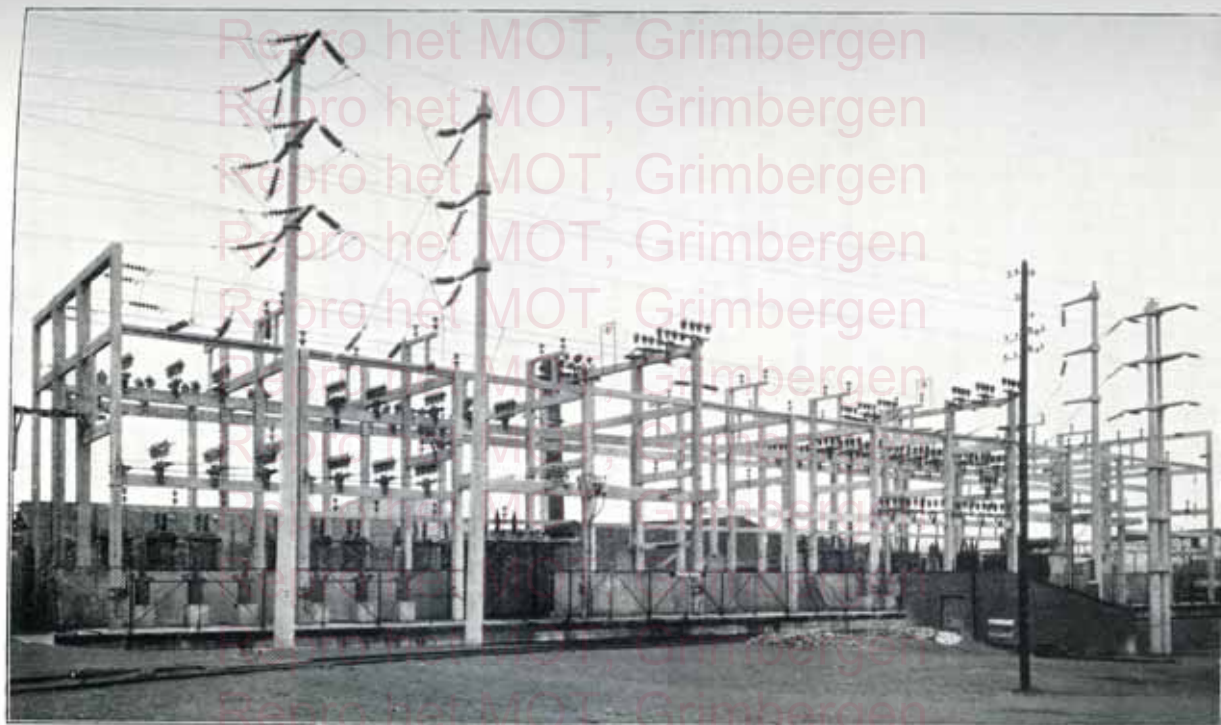
POSTE DE TRANSFORMATION EN BÉTON DE LAITIER
GAZ ET ÉLECTRICITÉ DU HAINAUT, A MONTIGNIES-SUR-SAMBRE
(voir photographie page 3)

n° 37 bis



La largeur de l'ouvrage est de 15 m. 57 et sa longueur de 80 mètres ;
il couvre donc une superficie de 1250 m².

P. S. — Cette installation est fondée sur 47 pieux en béton de laitier de sections variant de 0,25×0,25 m. à 0,35×0,35 m. préparés d'avance et battus à la sonnette

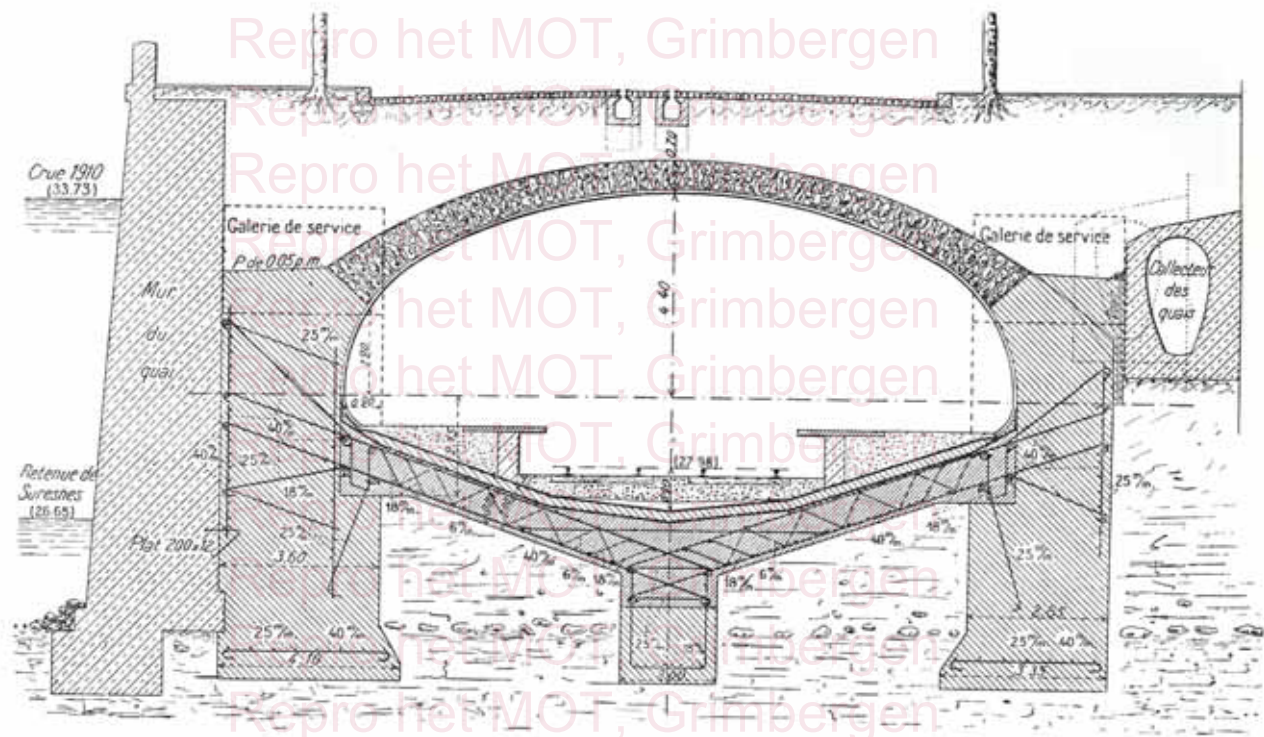


(Voir coupe page 2)

Composition du béton (voir page 1)

No 37

FERRAILLAGE DU BÉTON EN CIMENT DE LAITIÉR



Armature de renforcement de la station Pont Notre Dame, du Chemin de fer Métropolitain de Paris.

Cronis extrait de l'ouvrage "Chemins de fer urbains Parisiens, de L. Biette, Edit. Baillière.

VIII

ACCUMULATEURS A MINERAIS

MURS DE QUAI, DE SOUTÈNEMENT ET DE CLOTURE

TOURS A CHARBON

MAGASINS D'USINES

PLANCHERS, HOURDIS, PAVEMENTS

CANIVEAUX, ESCALIERS, RADIERS, PONTS

PASSERELLES

BARRAGES, ÉCLUSES, QUAIS MARITIMES

OSSATURES POUR FOURS A CHAUX

HALLS D'USINES, TRAVAUX SOUTERRAINS

ETC., ETC.

—

QUELQUES RÉFÉRENCES

SOCIÉTÉ JOHN COCKERILL, SERAING

SOCIÉTÉ ALLIANCE-MONCEAU, MONCEAU-SUR-SAMBRE

SOCIÉTÉ D'ANGLEUR-ATHUS, TILLEUR-LEZ-LIÈGE

SOCIÉTÉ D'OUGRÉE-MARIHAYE, OUGRÉE

LE FERRO-CIMENT, MARCHIENNE-AU-PONT

USINES GUSTAVE BOËL, LA LOUVIÈRE

USINES MÉTALLURGIQUES DU HAINAUT, COUILLET

SOCIÉTÉ DE THY-LE-CHATEAU, MARCINELLE

USINES DE LA PROVIDENCE, MARCHIENNE-AU-PONT

POTERIE LÉON CRANE-CHAPEAUX, CHATELINEAU

SOCIÉTÉ HADIR, DIFFERDANGE

Composition du béton (par m³) employé pour le pont de la page 14

Ciment de laitier de Rombas	400 kgr.
Sable de Steinfort	180 lit.
Laitier granulé broyé	500 lit.
Plaquettes de laitier de 5/25 m/m	700 lit.

Ce pont fait partie des nouvelles installations de chargement des hauts fourneaux des Usines de Differdange, Grand-Duché de Luxembourg.

Le cube total du béton de laitier de haut fourneau entrant dans ces installations est de : 34.000 m³

HALL DE BROYAGE DE SCORIES THOMAS EN BÉTON DE LAITIER
OSSATURE DU BATIMENT GÉNÉRAL AVEC POUTRES DE ROULEMENT POUR 2 PONTS-ROULANTS
USINES GUSTAVE BOËL. LA LOUVIÈRE



Composition normale des bétons employés

Ciment de laitier	350 kgs.
Poussier de laitier	400 lit.
Pierrailles de laitier 5/20	800 lit.

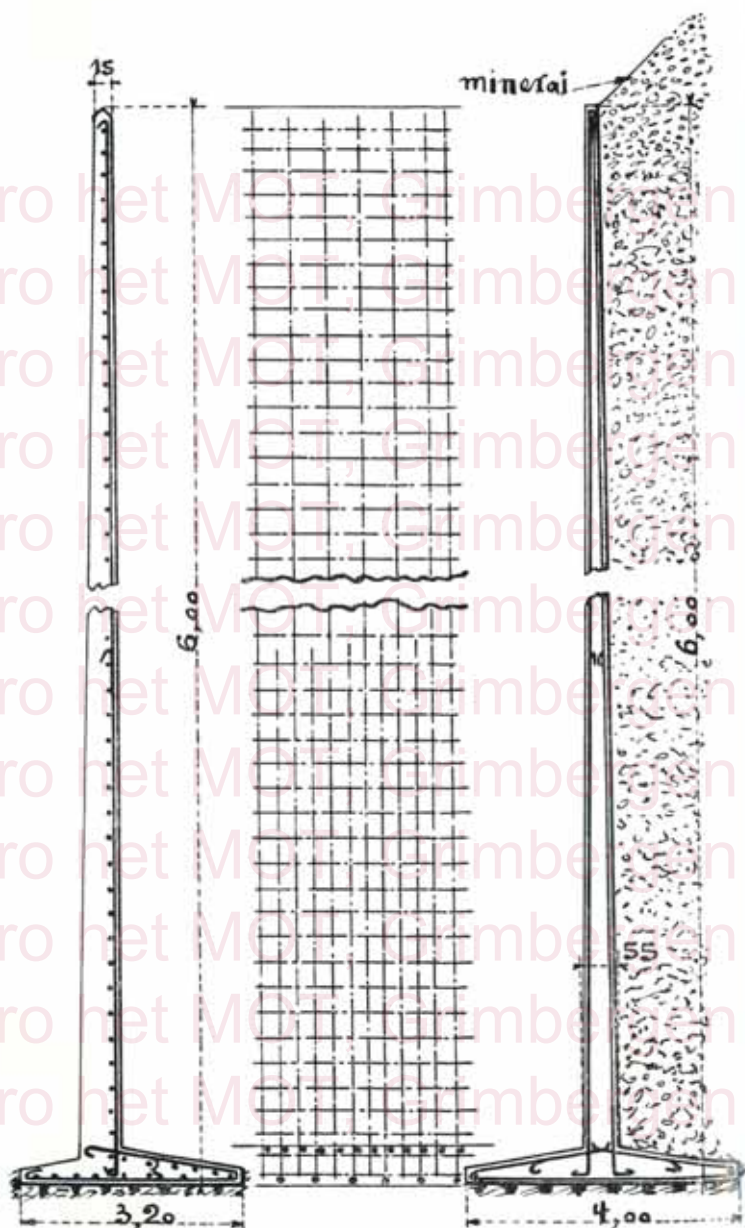
No 15

MUR DE SOUTÈNEMENT POUR PARC A MINERAIS
 SOCIÉTÉ DE THY-LE-CHATEAU, MARCINELLE
 (Ce parc a une capacité totale de 20.000 tonnes de minerais).

N° 16

Composition du béton employé (par m³)

Ciment de laitier . . . 150 kgs.
 Chaux éteinte broyée . . . 75 kgs.
 Laitier granulé broyé . . . 500 lit.
 Laitier concassé 5/20 . . . 800 lit.



Ce mur en béton armé de laitier a une longueur de 160 mètres et une hauteur de 6 mètres.
 Il sert de soutènement aux accumulateurs à minerais dont il est question à la 2^{me} page de
 la division B. La composition du béton employé pour ces derniers est la même que celle
 indiquée sur la présente feuille.

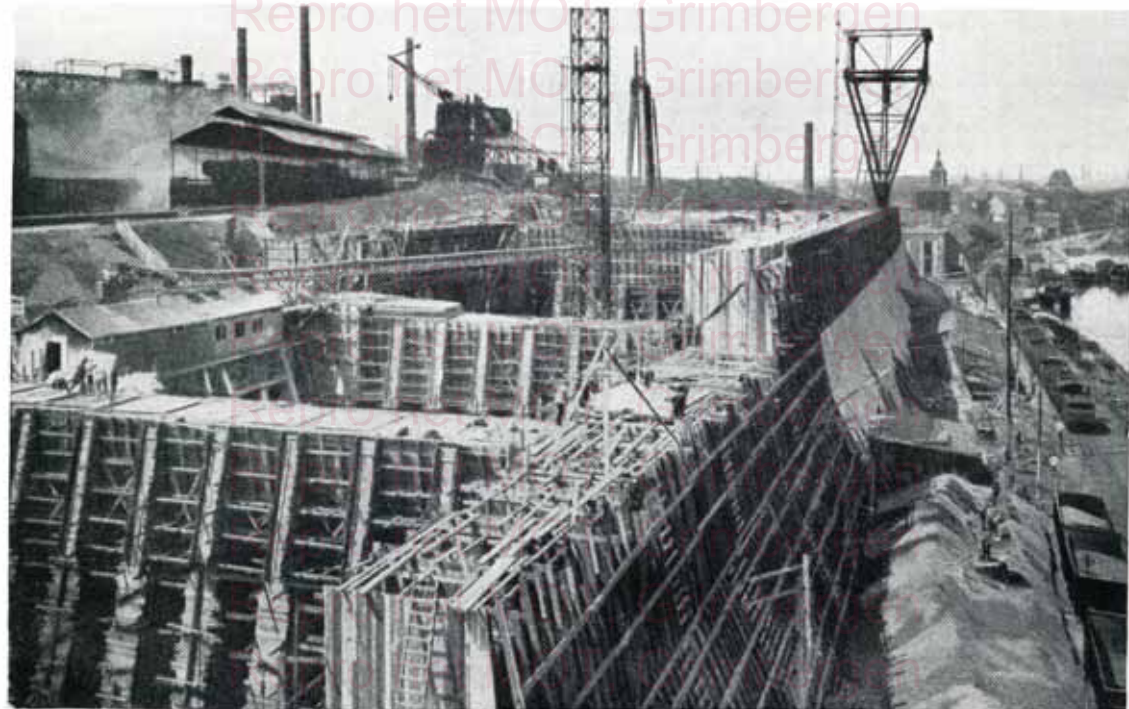
OSSATURE POUR FOUR A CHAUX
 AVEC PLANCHER DE TRAVAIL ET A BOIS SUPPORTANT UNE CHEMINÉE
 CARRIÈRES ET FOURS A CHAUX D'AISEMONT



No 16 bis

Composition du béton employé (par m³)

Ferro-ciment	350 kgs.
Sable	400 lit.
Pierrailles de laitier 5/20	800 lit.



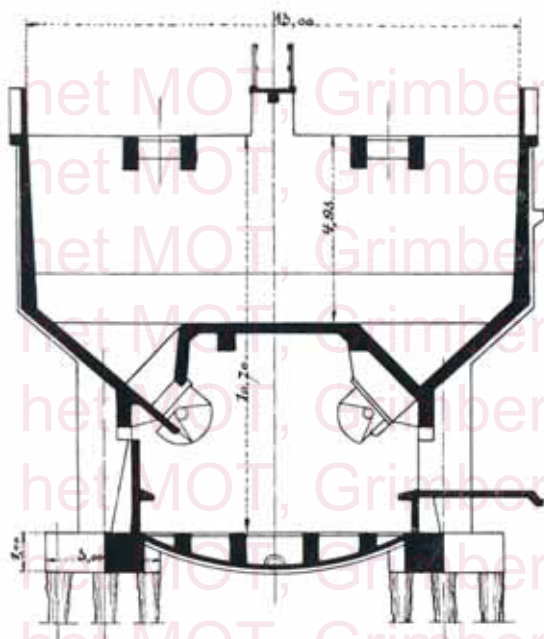
ACCUMULATEURS A MINERAIS
SOCIÉTÉ D'OUGRÈE-MARIVAYE, OUGRÉE
(MUR CÔTÉ MEUSE, EN CONSTRUCTION)
(Voir coupe page 8 et autre vue photographique des installations page 7)

Repro het MOT, Grimbergen



Composition du béton (même que celle indiquée page 8)

ACCUMULATEURS A MINERAIS
SOCIÉTÉ D'OUGRÉE-MARIHAYE (Siège D'OUGRÉE)
 (Voir photographies pages 6 et 7)



No 19

Composition du béton par m³

Ciment de laitier	350 kgs.
Laitier granulé broyé	500 lit.
Laitier concassé 5/30 m'm	800 lit.
Eau	169 lit.

Ces installations, établies sur 3019 pieux Franki de 7 à 8 m. de longueur, ont 13 m. de largeur, 77 m. 70 de longueur et 18 m. 20 en élévation, y compris la dalle de fondation.

Elles couvrent une superficie de plus de 1000 m² et ont une capacité totale de 150.000 T.

Le cube total de béton employé est de 39.323 m³ dont 4570 m³ pour les fondations et 34.753 m³ pour les parties en élévation.

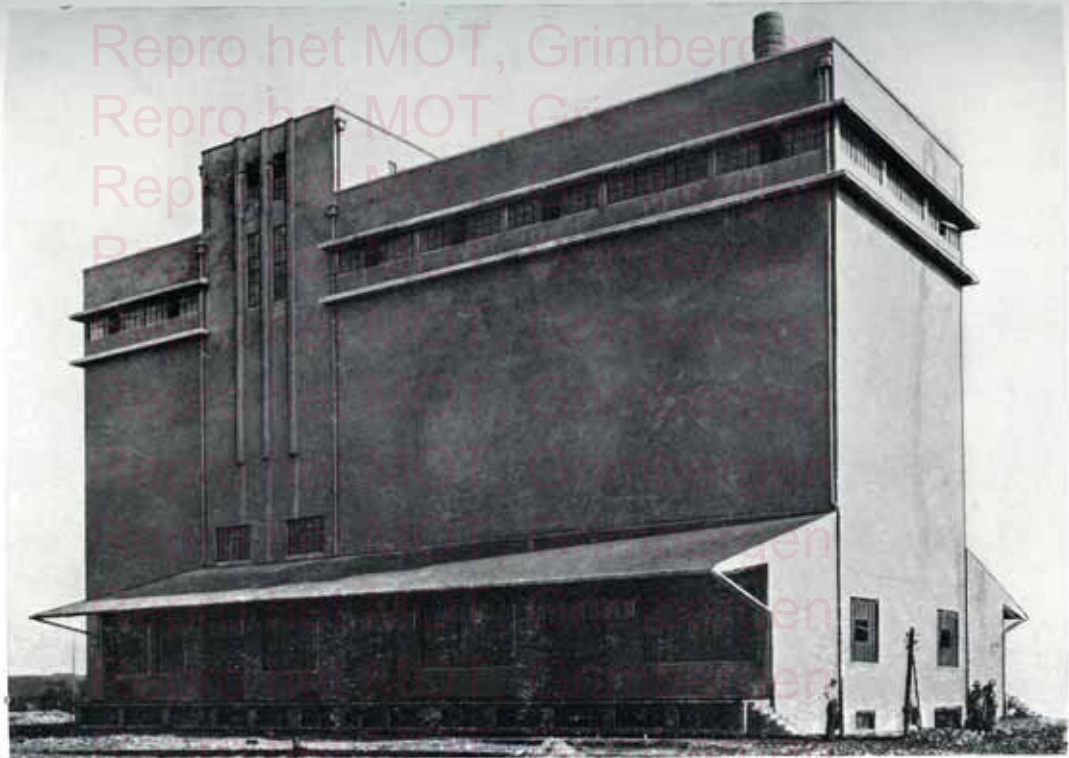


Composition du béton (même que celle indiquée à la page 8)

Cet ouvrage est établi sur 1940 pieux Franki de 8 m.50 de longueur environ. Le cube de béton total entrant dans la construction est de 21.159 m³ dont 4000 m³ pour la fondation et 17.159 m³ pour l'élevation.



MAGASIN A CIMENT DE LAITIER EN BÉTON DE LAITIER ARMÉ
(HOESCH-DORTMUND)

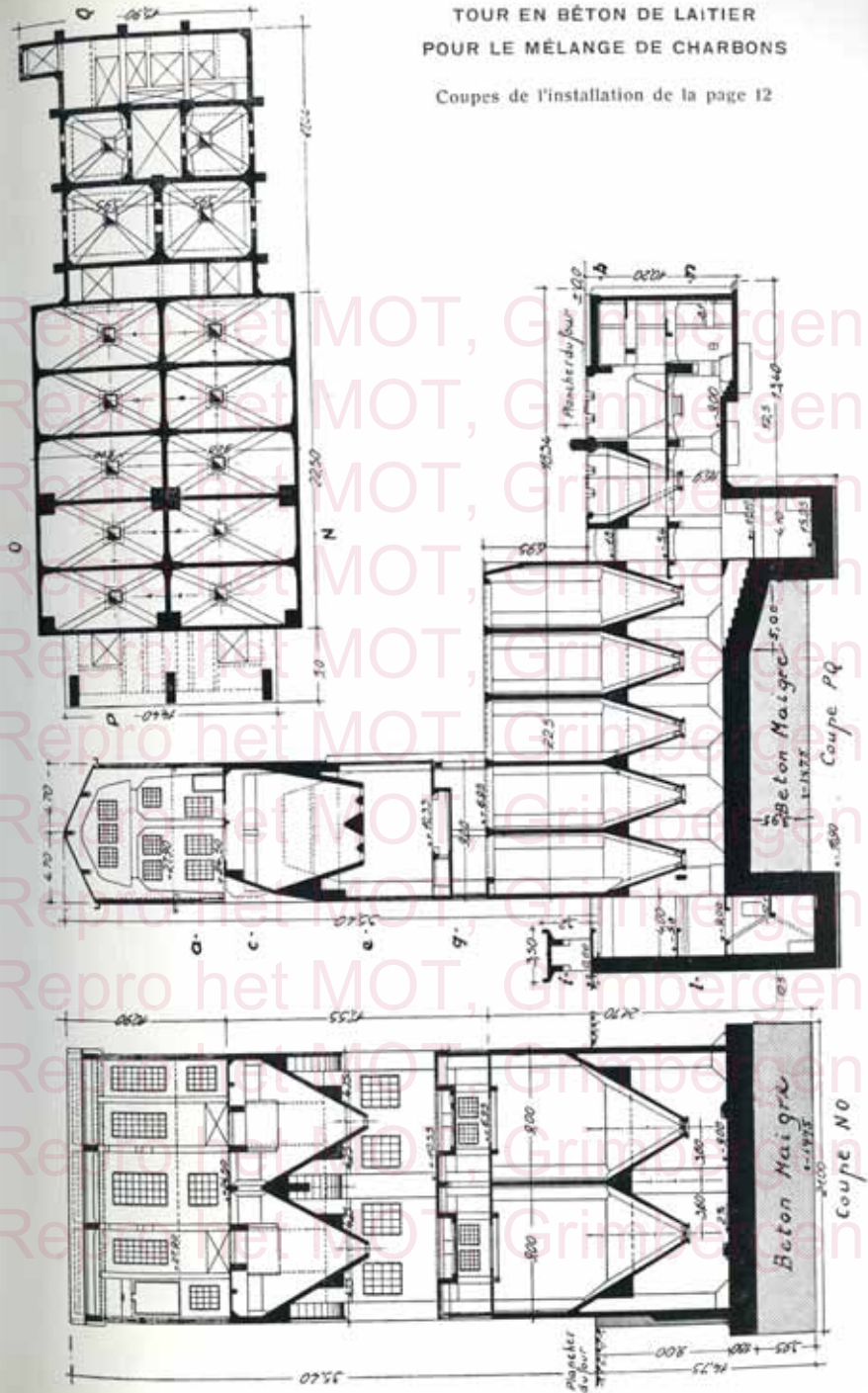


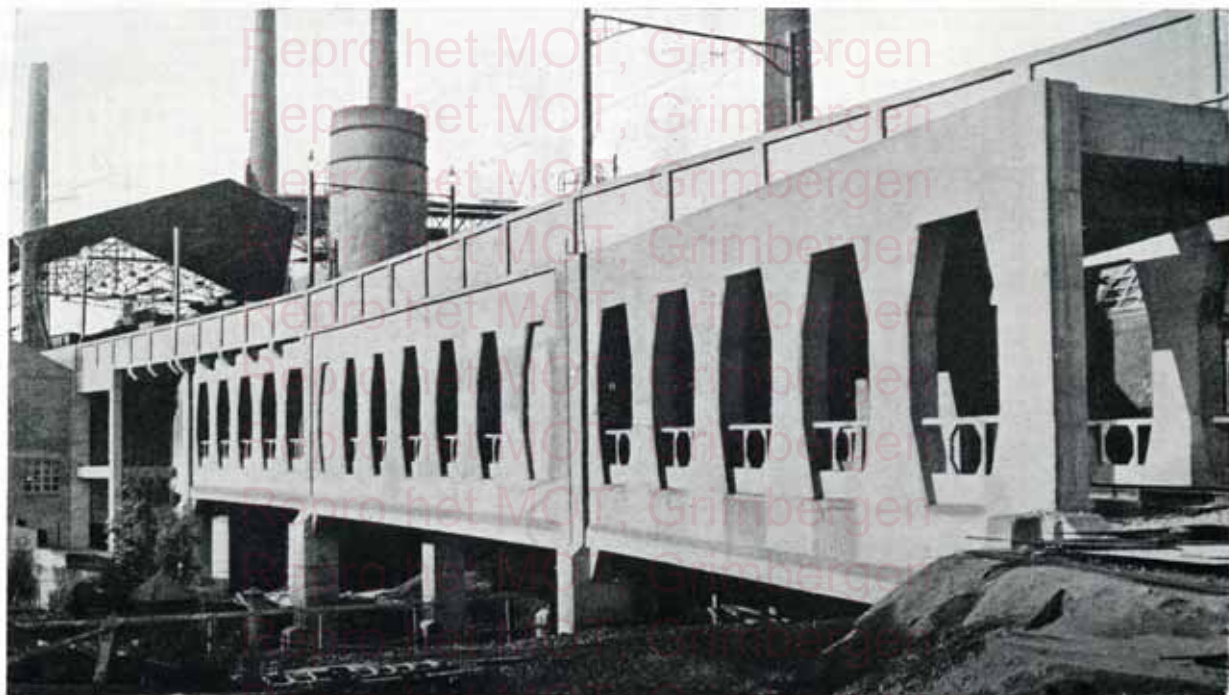


No 24
La capacité totale des soutes en béton est de 3400 T. La hauteur totale de l'ouvrage est de 52 m.
La fondation a été exécutée dans un terrain peu résistant et dans des conditions difficiles.
Le cube total est d'environ 3000 m³, de béton de ciment de haut fourneau et de laitier concassé.

TOUR EN BÉTON DE LAITIER
POUR LE MÉLANGE DE CHARBONS

Coupes de l'installation de la page 12





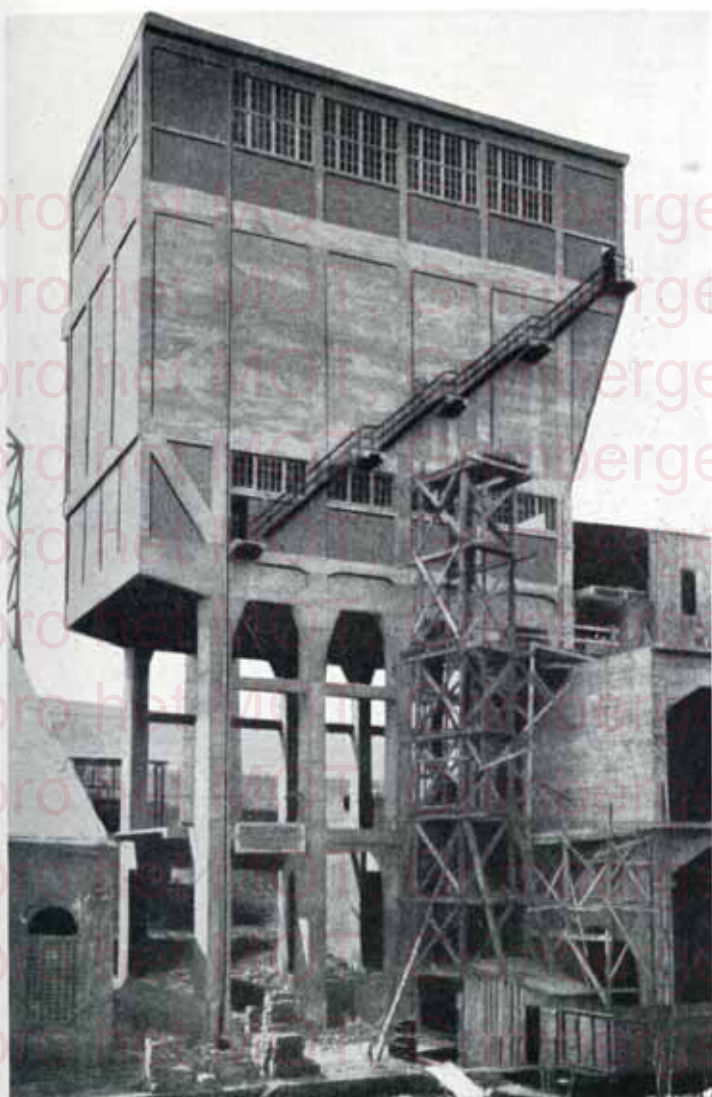
Pont en béton de laitier traversant la rue Max Meyer, à Differdange (artère urbaine de grande communication) reliant les accumulateurs aux installations d'amenée des minerais et de stockage du coke.

Le pont est à double tablier. Le tablier supérieur (cote 316) porte les voies d'accès des trains de minerais. Le tablier inférieur (cote 311) porte les voies d'accès des trains de coke.

TOUR A CHARBON DE FOURS A COKE
SOCIÉTÉ D'OUGRÉE-MARHAYE (SIÈGE D'OUGRÉE)

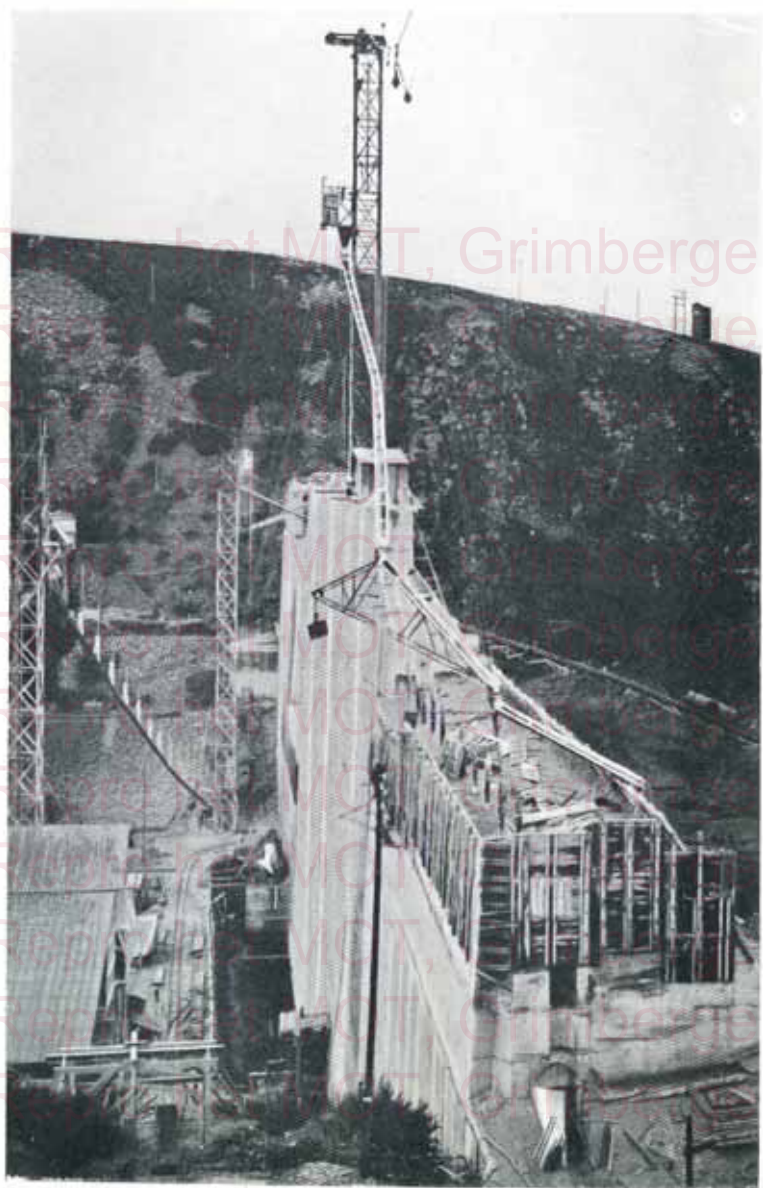
Composition du béton par m³

Ciment de laitier . . . 350 kgs.
Laitier granulé broyé . . . 500 lit.
Laitier concassé 5/30 . . . 800 lit.



N° 25

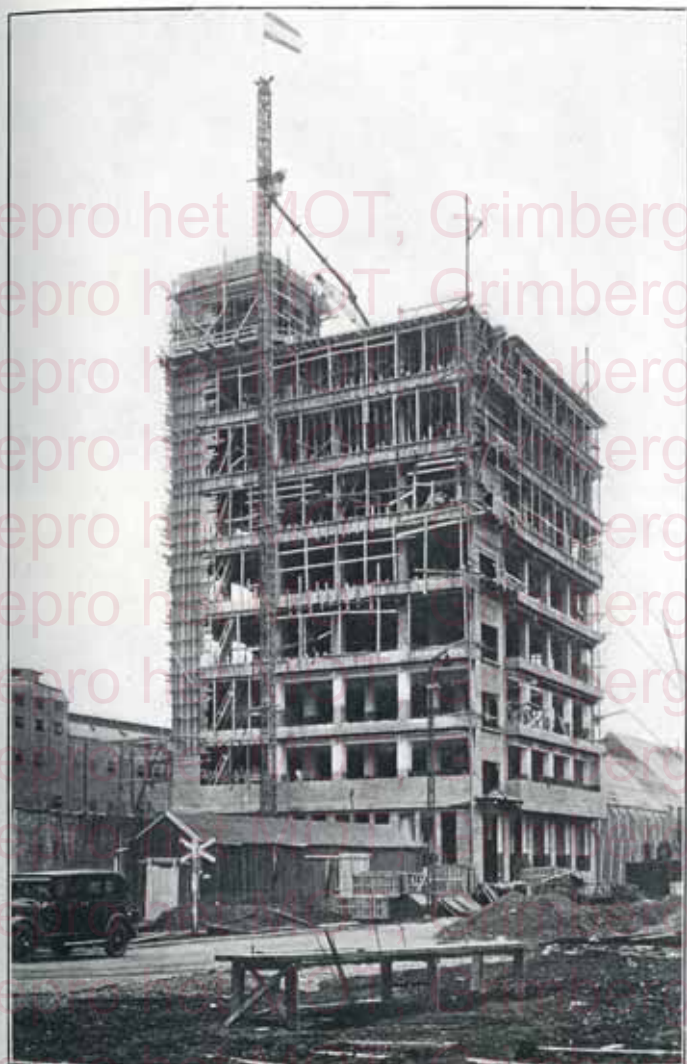
Capacité totale de la tour : 1200 tonnes de charbon



Ce barrage de 45 m. de hauteur, a été construit en béton de ciment de laitier au dosage de 150 kg. de ciment pour le corps de l'ouvrage et de 250 kg. de ciment pour la face du barrage.

FABRIQUE D'AZOTE

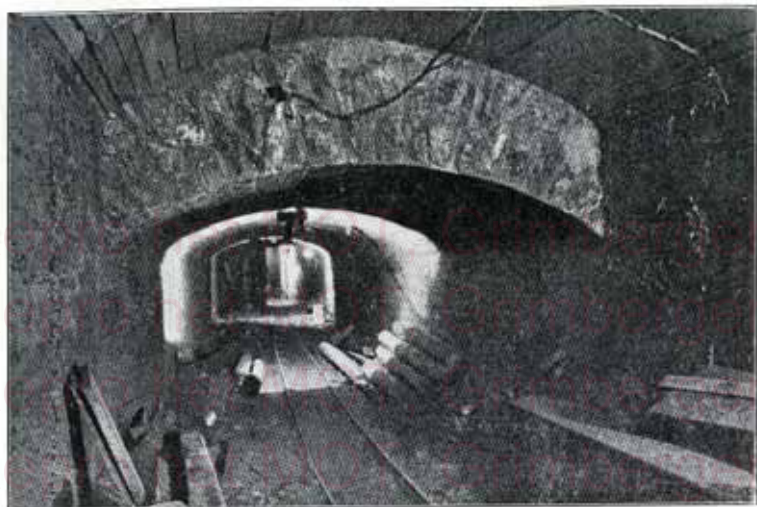
MINES DE L'ETAT NÉERLANDAIS (BATIMENTS DE DISTRIBUTION)



N° 30bis

Ce bâtiment, qui comprend 8 étages, est construit entièrement en béton armé de ciment Portland de haut fourneau de fabrication belge, de la qualité faisant l'objet des essais dont les résultats sont donnés à la page 16 de la 1^{re} partie de la division E de cette brochure.

TRAVAUX SOUTERRAINS A PARIS
DE CIMENT DE LAITIER



N° 33

Galerie d'égout à Paris

La plupart des galeries d'égout de Paris sont construites en ciment de laitier



N° 34

Croisement de 2 voies superposées du Métropolitain.

Le ciment de laitier est presque le seul ciment employé pour les galeries du Métropolitain.

Les piedroits sont exécutés en béton de ciment de laitier au dosage de 200 à 250 kg. par m³.

La voûte est faite en meulières, hordée au ciment de laitier.



LES APPLICATIONS
DU
LAITIER CONCASSÉ & GRANULÉ

—
C
BALLASTAGE
DES
VOIES DE CHEMINS DE FER

LES EXPÉDITIONS DE BALLAST DE LAITIER POUR LA SOCIÉTÉ NATIONALE DES CHEMINS DE FER BELGES.



Une rame de wagons chargés de concassés de laitier prête pour l'expédition.

LE BALLASTAGE

DES

VOIES DE CHEMINS DE FER

De minutieux essais scientifiques et pratiques commencés en Allemagne en 1917, aboutirent, après 5 à 7 années de travail, à la conclusion que le laitier de haut fourneau concassé, convenablement préparé, constitue un matériau économique et de grande valeur technique pour le ballastage des voies de chemins de fer.

La Commission des Essais de Matériaux de l'Office de l'Etat, à Berlin-Lichterfeld, élaborera alors les principes pour la fourniture du ballast de laitier.

Ces principes, adoptés par décision ministérielle du 5 octobre 1922, furent confirmés par une nouvelle décision d'avril 1931, après 9 années d'applications en grand sur les chemins de fer allemands. (1)

En *Belgique*, la Société Nationale des Chemins de Fer Belges et les Chemins de fer du Nord-Belge ; dans le *Grand-Duché de Luxembourg*, les Chemins de fer Prince Henri et Guillaume-Luxembourg et en *France*, les Compagnies des Chemins de fer du Nord, de l'Est et d'Alsace-Lorraine l'utilisent en grande quantité.

Dans les années 1927 à 1932, ces Administrations ont consommé un total de 4 à 5 millions de tonnes de ballast de laitier.

L'usage du laitier sur le réseau belge est conditionné par le prix de ce ballast comparé aux prix des pierrailles en porphyre ou en grès, compte tenu des frais de transport.

En 1928, le laitier mis en œuvre sur le dit réseau ne représentait que 22 % de la quantité totale de ballast utilisé. Ce pourcentage a progressé d'année en année pour atteindre 34 % en 1932.

(1) Voir page 8 ci-après, la conclusion du Rapport de la Commission officielle publié en Septembre 1927.

Service de la Voie

Bureau 34-1

Bruxelles, le 20 mai 1932

Brussel, den
rue de Louvain, 17,

N° 6435

A la Société Internationale pour
le Perfectionnement du Matériel
Industriel et de Transport

N° 15, rue Jonniaux, N° 15,

à

BRUXELLES

Messieurs,

En réponse à votre lettre du 6 mai courant, nous avons

l'honneur de vous faire connaître que depuis 1927, époque à laquelle
remonte l'adoption du calibre 4/6 pour les produits destinés au
ballastage des voies, nous avons acheté, en Belgique, les quantités
suivantes de laitier concassé :

en 1927	-	157.000	mètres cubes
en 1928	-	193.500	idem
en 1929	-	170.000	idem
en 1930	-	140.000	idem
en 1931	-	170.000	idem
en 1932	-	103.000	idem

Veillez agréer, Messieurs, l'assurance de notre con-
sidération distinguée.

Au nom de la Société Nationale
LE DIRECTEUR DE LA VOIE,

N.B. - Les chiffres ci-dessus ont été rectifiés par une lettre du 21 novembre 1932, de la Société Nationale

Les tonnages exacts de laitier concassé sont :

en 1929 = 190.000 mètres cubes
1930 = 162.000 id.

en 1931 = 213.000 mètres cubes
1932 = 174.000 id.

PARIS, le 24 Mai 1932.

COMPAGNIE

des

CHEMINS DE FER
DE L'EST

SERVICE de la VOIE et des TRAVAUX

CABINET DE L'INGÉNIEUR EN CHEF

23, Rue d'Alsace

PARIS - 10.

TELEPHONE NORD 407

TELEPHONES

Urbain : Botsaris 48-80
Inter : Botsaris 11 et la suite

Monsieur l'Administrateur de
la Société Internationale pour le
perfectionnement du matériel
industriel et de transport

15 rue Jonniaux

- BRUXELLES - (Belgique)

X. H. 13 A
••
Emploi de
laitier.
••

Monsieur,

-1-

En réponse à votre lettre du 6 Mai 1932, j'ai
l'honneur de vous adresser une copie des conditions
imposées à nos fournisseurs de ballast en laitier
concassé.

En période normale, nous utilisons annuellement
de 100 à 120.000 m³ de ballast de cette nature.

Veuillez agréer, Monsieur, l'assurance de ma
considération distinguée.

l'Ingénieur en Chef de la Voie et des Travaux

JG COMPAGNIE
de
CHEMIN DE FER
DU NORD

INSPECTION GÉNÉRALE
DU
NORD-BELGE

3, RUE DE LA LIMITE, LIÈGE

ADRESSE TELEGRAPHIQUE
NORBELFER - LIÈGE

TELEPHONE N° 104.31 - 242.70

REGISTRE DU COMMERCE LIÈGE N° 1238

N° 1083 III^e V.T.

Liège, le 10 juin 1932

Messieurs,

Comme suite à votre lettre du 7 courant, j'ai l'honneur de vous faire connaître que nous employons couramment laitier concassé pour le ballastage de nos voies.

Toutefois, nous ne possédons pas de cahier des charges réglant les fournitures de l'espèce.

Dans nos commandes, nous spécifions seulement que le laitier doit répondre aux conditions suivantes: être dur, ne pas être vitreux ni se réduire en menus éclats ni se réduire en poudre sous le choc; il doit être cassé mécaniquement en fragments passant à l'anneau que nous désignons suivant les besoins.

Veuillez agréer, Messieurs, l'assurance de ma considération distinguée.

P L'INSPECTEUR GÉNÉRAL
de l'Ingénieur de la voie

C. ...

Société Anonyme S.I.P.M.I.T.
Société Internationale pour le Perfectionnement du Matériel
Industriel & de Transport,
15, Rue Jonniaux,
à BRUXELLES.

81 Aemse (Belgien)

Es wird ersucht, in dem Anhang Gefährlichkeits- und Trag-Maße Schreibern anzugeben.

Kennz.: Kennz.Nr. A 2 Eins. 0030
Bestimm.: Bezugs Berlin

Berlin W 8, den 2. Juli 1932
Hofstraße 35

Herrn

A C a y p h u s
Verwalter von S.I.P.M.I.T.

Brüssel
15 Rue Jonniaux

Betr.
Verwendung von Hochofenschlacke als Gleisschotter

Auf das Schreiben vom 21. Juni 1932.

Wir haben Kleinschlag aus Hochofenschlacke, der den Richtlinien für die Lieferung und Prüfung von Hochofenschlacke als Gleisbettungsstoff entspricht, auf verschiedenen, auch betrieblich stärker beanspruchten Strecken auf Holz- und Eisen-schwellen verwendet, ohne daß sich bisher irgendwelche Nachteile bemerkbar gemacht haben.

Deutsche Reichsbahn-Gesellschaft
Hauptverwaltung

Dr. Traeff

TRADUCTION

Société Allemande des Chemins de fer
du
R.E.I.C.H.

Berlin, le 2 juillet 1932

Suite à la lettre du 21 Juin 1932.
Nous avons employé sur diverses lignes à services très intenses équipées indifféremment avec des traverses métalliques et avec des traverses en bois, du concassi de laitier de haut fourneau répondant aux spécifications pour la fourniture et la réception du laitier de haut fourneau destiné au ballastage des voies et cela sans qu'un inconvénient quelconque se soit manifesté jusqu'à présent.

L'ADMINISTRATION GÉNÉRALE
DE LA REICHSBAHN.

fin

N.B. - Il est à noter que l'appréciation ci-dessus de la Reichsbahn s'applique à une pratique de plus de 15 années.

CONCLUSION DU RAPPORT
DE LA COMMISSION OFFICIELLE ALLEMANDE
présenté en Septembre 1927
par le Professeur H. BURCHARTZ et l'Ingénieur G. SAENGER
du Laboratoire d'essais des matériaux de l'Etat,
de Berlin - Dahlem

“Notre rapport a trait aux essais comparatifs de 9 échantillons de laitier de haut fourneau et de 8 échantillons de pierres de carrières. Ces essais ont porté sur: 1^o l'action chimique du ballast sur les *traverses en fer* ⁽¹⁾ et sur les traverses en bois, 2^o la stabilité sous l'action de l'eau et de la gelée, 3^o la résistance au choc produit par la pioche à bourrer, 4^o la résistance à la pression des traverses déterminée à la pression régulièrement croissante d'après Rudeloff, 5^o la résistance à l'usure latérale déterminée par l'emploi du trommel.”

“ Il ressort des résultats des essais que les laitiers soumis aux expériences sont de valeur égale à la plus grande partie des pierrailles de carrières „

EXTRAITS

de cahiers des charges pour le ballast de Chemins de Fer
de laitier concassé.

I. — Compagnie des Chemins de fer de l'Est (France)

“ Le ballast fourni devra passer en tous sens dans un anneau de cinq centimètres (0.05) de diamètre intérieur et ne passer en aucun sens dans un anneau de vingt millimètres (20 m/m.).

„ Il sera toléré au maximum par mètre cube de laitier concassé :

(1) Voir à ce sujet le chapitre intitulé “ l'Action du laitier de haut fourneau sur le fer „ page 2 de la deuxième partie de la division E de cette brochure, ainsi que le Rapport d'analyse de l'Institut de Chimie Meurice, de Bruxelles, du 26 Août 1932, page 11, ci-après.

„ 1^o) Cinq pour cent (5 ‰) d'éléments ne passant pas, ne fût-ce que dans un sens, dans un anneau de 50 m/m.

„ 2^o) Cinq pour cent (5 ‰) d'éléments passant, ne fût-ce que dans un sens, dans un anneau de 10 m/m.

„ Il est spécifié, en outre, que la proportion d'éléments dont la plus petite dimension est comprise entre les anneaux de 10 et 20 m/m. ne devra pas excéder vingt pour cent (20 ‰) „

II. — Gouvernement Allemand (Avril 1931)

Les pierrailles et les plaquettes seront le plus possible cubiques et à vives arêtes. Les éléments plats seront éliminés dans la mesure du possible.

a) *Pierrailles de 1^{re} classe.*

Calibre de 30 à 70 m/m. — Les éléments compris entre ces limites devront être mélangés entre eux le mieux possible. On tolérera 5 ‰ de morceaux au-dessous de 30 m/m. et 5 ‰ de gros morceaux au-dessus de 70 m/m. jusqu'à 100 m/m. au maximum. On ne tolérera pas de morceaux supérieurs à 100 m/m.

b) *Pierrailles de deuxième classe.*

Calibre de 20 à 50 m/m. — Les éléments compris entre ces limites seront mélangés entre eux le mieux possible. On tolérera 5 ‰ de morceaux inférieurs à 20 m/m. et 5 ‰ de gros morceaux au-dessus de 50 m/m. jusqu'au maximum de 70 m/m. Les morceaux de 70 m/m. ne seront pas acceptés.

c) *Plaquettes de voies.*

Calibre de 20 à 40 m/m. — Les éléments compris dans ces limites seront mélangés entre eux le mieux possible. On tolérera 5 ‰ de petits morceaux au-dessous de 20 m/m.

III. — Société Nationale des Chemins de Fer Belges.

(Cahier des charges N° 20.395)

Le laitier concassé sera de texture pierreuse, rappelant la pierre compacte et devra résister au travail de bourrage des voies. Il ne pourra être ni vitreux, ni poreux ; sa cassure devra présenter des arêtes vives, de couleur grisâtre ou noirâtre. Il sera exempt de matières étrangères. Le laitier sera concassé mécaniquement ou à la main.

Le laitier concassé aura les dimensions suivantes :

4 centimètres de côté minimum et 6 centimètres maximum avec tolérance de :

10 % de morceaux de 6 à 8 centimètres ;

2 % de morceaux de moins de 4 centimètres.

Les dimensions reprises ci-dessus devront être rigoureusement respectées.

Le laitier fin et les déchets de laitier pour remblayages ne pourront contenir de matières étrangères, telles que scories, morceaux de briques réfractaires, parties terreuses, terres, schistes, etc.

En complément des conclusions de la Commission officielle allemande dont il est question à la page 8 ci-avant, on trouvera à la page 11, un Rapport d'analyse de l'Institut Meurice (Chimie) de Bruxelles, concluant à l'innocuité du soufre du laitier pour le fer et par voie de conséquence, pour les traverses métalliques des voies de chemins de fer.

Institut Maurice Chimie

LABORATOIRE D'ANALYSES

AGRÉÉ PAR

LE MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

POUR L'ANALYSE DES ENGRAIS ET DES SUBSTANCES AGRICOLES

LE MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS

(ADMINISTRATION DES PONTS ET CHAUSSÉES)

LE MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE

DU TRAVAIL ET DE LA PRÉVOYANCE SOCIALE

EXPERTISES

RECEPTIONS ET ÉCHANTILLONNAGES

Boulevard

26 août, 1932

Telegrammes : INSTITUT MAURICE

Telephone : 37 00 22

14, RUE SIMONIS

Messieurs S. CHERMANNE & C^e

15-17, Rue du Midi

CHATLANT.-

RAPPORT N° II7148

Messieurs,

Suivant votre demande, nous avons examiné l'échantillon de laitier que vous nous avez fait parvenir, afin de déterminer sous quelle forme s'y trouve le soufre.

A cet effet, nous avons fait les déterminations

suivantes:

Soufre total	0.69 %
Soufre sous forme de sulfure	0.60 %
Soufre soluble dans l'acétate d'ammonium	0.10 %
Soufre soluble dans l'eau	0.025 %
Soufre sous forme de sulfate ferreux ou de sulfate d'alumine	néant

D'autre part, 2 grs. de laitier, finement broyé, ont été additionnés de 100 cc. d'eau et portés à 100° pendant 5 minutes. Après refroidissement, nous avons déterminé le pH du liquide.

à Messieurs S. CHERMANNE & C^o à CHATELET.-

et l'avons trouvé égal à 9, ce qui correspond à une réaction nettement alcaline.

Il résulte de ces essais qu'environ 85% du soufre se trouve sous forme de sulfure et environ 15% sous forme de sulfate de calcium.

Le laitier n'abandonne pas à l'eau du sulfate de fer ou d'alumine.

D'autre part, les eaux d'épuisement du laitier ont une réaction nettement alcaline.

A notre avis, le soufre se trouvant dans le laitier est sans action corrosive sur les pièces métalliques avec lesquelles il viendrait en contact.

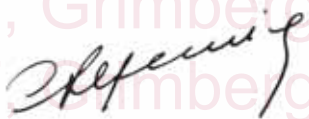
Notre appréciation est basée sur les faits suivants:

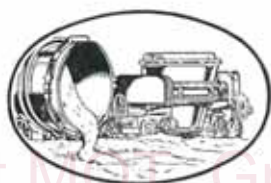
- 1°) absence de sulfate de fer et d'alumine,
- 2°) les eaux d'épuisement du laitier ont une réaction nettement alcaline,
- 3°) la teneur en soufre total est faible.

Veillez agréer, Messieurs, nos salutations distinguées.

Duplicata à:
Monsieur CAYPHAS

à
ITRE près VIRGINAL





LES APPLICATIONS

DES CONCASSÉS ET DU TARMACADAM
DE LAITIER

D

TRAVAUX DE VOIRIE

UNE OPINION AUTORISÉE

Le Département des Travaux Publics du Grand-Duché de Luxembourg ayant employé de grandes quantités de laitier pour ses travaux de viabilité, nous avons prié M. SIMON, Ingénieur d'Arrondissement, à Luxembourg, de nous donner son opinion sur ce matériau.

Ce distingué spécialiste a bien voulu nous adresser, sous la date du 16 août 1932, la lettre que voici :

" Une dizaine de jours de vacances ont retardé la communication que je vous ai promise lors de votre visite à Luxembourg.

" J'ai lu le chapitre D de votre brochure. Il rend les appréciations du praticien au sujet de l'emploi du laitier de haut fourneau comme revêtement routier. Ce produit se comporte particulièrement bien, lorsqu'il est traité par le goudronnage superficiel dont aucun rechargement à la boue, au goudron, au ciment ne saurait d'ailleurs se passer.

" Le Grand-Duché de Luxembourg utilise comme pierrailles, resp. comme grenailles, des grès calcaires et siliceux, resp. des quarzites, d'après la formation géologique de la région. La partie méridionale du pays, siège de l'industrie sidérurgique, emploie couramment le laitier de haut fourneau. Nous notons à ce sujet, les tonnages annuels suivants :

<i>Laitier concassé . . .</i>	<i>30.000 Tonnes</i>
<i>Grenaille de laitier . . .</i>	<i>10.000 Tonnes</i>

" En règle générale, le laitier de haut fourneau est mis en concurrence invariablement avec les matériaux provenant de carrières et on laisse décider le prix de soumission. "

SIMON, Ingénieur d'Arrondissement.

LE LAITIER DE HAUT FOURNEAU DANS LA VOIRIE

SES APPLICATIONS

Quel que soit son mode d'utilisation (avec ou sans agglomérant), le laitier constitue, de par sa nature, un matériau idéal pour la *construction* et l'*entretien* des routes de toutes classes. Sa mise en œuvre doit, bien entendu, s'effectuer conformément aux règles de l'art.

Il est aussi avantageusement employé dans les grandes artères modernes à trafic intense et rapide, que dans les routes provinciales à trafic moyen et dans les chemins vicinaux d'intérêt local et agricole à trafic lent et pondéreux effectué par véhicules non suspendus.

Il se recommande également pour la fondation des rues et des routes pavées, pour les voies cyclables, les chemins de halage le long des rivières et des canaux, les cours, chemins d'accès et voies intérieures d'usines et de charbonnages, les préaux d'écoles, les places publiques et les marchés, les trottoirs, les allées et avenues de parcs et de jardins, les quais et terre-pleins de stations de chemin de fer, etc., etc.

En un mot, le laitier trouve sa place dans tous les travaux de viabilité quels qu'ils soient, et il permet notamment d'éliminer l'emploi des cendrées dont la poussière, toujours incommodante, devient parfois une véritable nuisance pour les usagers et les riverains.

SES AVANTAGES TECHNIQUES

Les routes en laitier procurent au roulement des véhicules une douceur exceptionnelle due à une certaine élasticité du laitier (1). Elles sont antidérapantes ; elles ne sont pas glissantes pour la circulation hippomobile ; elles sont insonores. Leur usure est lente et régulière. Les ornières et les " nids de poule " n'apparaissent qu'après un long temps d'usage.

De plus, elles ne forment pas de boue, même quand elles sont établies rudimentairement et sont soumises à un charroi intense. (2)

Les pluies les lavent comme si elles étaient pavées, quand on a prévu un bombement convenable pour l'écoulement de l'eau.

L'empierrement en laitier est bien cohérent, imperméable et indestructible par l'action de l'eau et de la gelée.

Les pierres naturelles, plus sujettes à l'éclatement, offrent moins de résistance que le laitier aux effets destructeurs de la circulation et des changements climatiques.

A la longue, les forces agissant sur la route engendrent dans la masse de l'empierrement une certaine usure des éléments qui la constituent.

Cette usure se traduit par la formation d'une poussière impalpable, mais dans le cas du laitier, celle-ci n'est pas, loin s'en faut, une nuisance pour les usagers, ni une cause de dégradation ou de déforçement pour la route.

(1) Voir chap. VII page 17 de la 2^{me} partie de la division E.

(2) Voir A. van Linden van den Heuvell, page 6 ci-après, Chapitre II.

Cette poussière s'infiltré dans les légers interstices de la masse, lesquels subsistent malgré le tassement auquel donne lieu le passage des véhicules.

Par sa forte teneur en chaux, elle finit par y faire prise et au lieu d'en être amoindrie, la résistance de la route s'en trouve plutôt accrue. (1)

Lorsqu' il s'agit d'un macadam à l'eau dont la fondation a été composée d'après les méthodes habituelles, de moellons et de concassés du calibre requis, on étale sur la route une couche de poussier pour remplir les vides et donner une surface régulière et de bel aspect à l'ensemble du travail.

Au bout d'un certain temps, le simple macadam s'est transformé en un véritable béton. (2)

La route gagne ainsi un degré de *perfection et de solidité qu'il serait impossible d'obtenir à aussi peu de frais avec n'importe quels autres matériaux.*

Nous ne voulons pas terminer ce chapitre sans donner la traduction de quelques extraits d'un rapport remarquable de M. A. van Linden van den Heuvell, Ingénieur en chef du département des Ponts et Chaussées de la Province d'Overijssel (Hollande), publié il y a une couple d'années.

I

"Le résultat de l'étude faite en Hollande des propriétés du laitier de haut fourneau comme matériau d'empierrement conduisit rapidement à son adoption dans ce pays, tant pour la couche de roulement que pour la couche sous-jacente des nouvelles routes.

(1) Voir pages 6 et 7 ci-après, Chapitre II

(2) Voir page 7 ci-après, Chapitre III.

L'emploi, pendant les années de guerre, du concassé de laitier a certainement répondu aux espérances.

En Allemagne, d'ailleurs, on continue à l'utiliser pour une grande quantité de routes et il est incontestable qu'il possède des avantages sur le basalte et les autres pierres naturelles.

Ces avantages sont :

1^o La force adhérente des éléments entre eux qui assure la permanence de leur position et qui fait que pendant les périodes de sécheresse, les pierres déchaussées sont l'exception.

2^o L'insonorité notable du charroi sur les dits revêtements de laitier.,,

II

“ Vers l'année 1926, la Province d'Overijssel a effectué sur son réseau routier, ses premiers essais d'utilisation du poussier de laitier comme matière d'agrégation pour macadam. Le succès a été si complet que, depuis, le laitier remplace totalement l'argile dans cette fonction.

La quantité de poussier utilisée peut être évaluée au quart de l'épaisseur de la couche de ballast.

La mise en œuvre est pratiquement la même que pour l'argile, avec cette différence que l'arrosage doit être beaucoup plus copieux, principalement en été.

Le résultat de la substitution du poussier de laitier à l'argile est immédiatement très palpable. La route peut être livrée à la circulation aussitôt après le cylindrage et la formation de boue est complètement exclue. Pendant la période sèche, on ne rencontre que peu ou pas de pierres déchaussées.

L'explication de ce résultat tombe plus ou moins sous le sens.

En effet, lentement délavée sous l'action de l'eau, l'argile finit par perdre toute adhérence et ne peut plus jouer le rôle de matériau d'agrégation qui lui était dévolu. Par contre, étant donné sa forte teneur en chaux, le poussier de laitier réalise une adhérence plus parfaite des pierres entre elles, circonstance qui semble combattre victorieusement l'action de succion occasionnée par les pneumatiques passant à grande vitesse.

III

“Le poussier de laitier trouve un autre emploi en mélange avec les pierrailles de laitier et de basalte, pour la fondation des routes à revêtement de pavés ou de klinkers.”

Ici également, la composition chimique du poussier donne lieu à la formation d'une couche de béton entre la fondation et le revêtement de la chaussée.

Lors du pilonnage des pavés ou des klinkers, la pression fait refouler vers la surface, par les interstices des joints, des éléments de la couche de béton et il se crée ainsi une espèce de rejointoiement de ciment qui rend les infiltrations d'eau impossibles.

IV

“Enfin, la Province s'est évertuée à établir des pistes cyclables complètement indépendantes de la partie de la route affectée aux véhicules. Leur solidité devait être suffisante pour résister à la pression des roues des véhicules abandonnant la voie carrossable; de plus, leur roulement devait être agréable, les frais d'établissement pas trop élevés et leur entretien nul ou peu important.

Après de multiples essais de toute espèce, le choix s'est arrêté sur un béton au dosage ci-après : 1 ciment,

1 poussier de laitier, 2 sable et 3 plaquettes de laitier.

La couche d'usure est formée de fine grenaille de porphyre., (1)



La Hollande est certainement le pays où le cyclisme est le plus pratiqué et ce que M. l'Ingénieur van Linden van den Heuvel écrit au sujet des voies cyclables acquiert par ce fait une valeur toute particulière.

V

“Excellent également est le mélange de goudron et de fine grenaille de laitier pour la formation de la couche d'usure et d'adhérence sur un lit de fondation non préparé (2).

On étale d'abord le goudron sur la surface de la route et on répand immédiatement après, une couche de quelques centimètres d'épaisseur de fin laitier du calibre de 0/10 m/m. (et plus si on désire obtenir une surface plus rugueuse).

L'affinité du laitier pour le goudron est si grande que tous les fragments s'en imprègnent immédiatement. Sous l'action du poids des véhicules, ces fragments se réduisent en morceaux plus menus et s'enfoncent dans la couche de goudron.,

VI

“Les pierres naturelles sont encore moins indiquées comme matériau de fondation des routes, quand on considère leur poids spécifique, lequel est plus grand que celui du laitier. (Voir page 23 de la 2^{me} partie de la division E de cette brochure.)

En effet, elles donnent lieu de ce fait à des frais de transport plus élevés que le laitier, parce que la taxation se fait au poids, tandis que dans l'exécution du travail, seul le cube est en cause.,

(1) Nous nous permettons de signaler que la couche de roulement peut être avantageusement constituée à l'aide de grenaille de laitier.

(2) Voir page 2 ci-avant l'opinion de M. Simon, Ingénieur d'Arrondissement du Gouvernement Grand-Ducal.

SES AVANTAGES FINANCIERS

Les diverses particularités développées ci-dessus, jointes à un prix d'achat peu élevé et à des frais de transport plus réduits que ceux des pierres naturelles, font du laitier un matériau économique qui est surtout précieux à cette époque où, malgré la crise actuelle, les exigences des usagers ne sont pas diminuées.

Le développement incessant des véhicules automobiles à grandes vitesses et des lourds camions de charge requiert, en effet, pour le trafic local comme pour le trafic général, des routes toujours plus solides, plus propres, plus agréables, plus roulantes et mieux entretenues.

Mais leur coût doit cependant rester dans les limites des possibilités budgétaires.

A ce point de vue, nous pouvons citer comme un exemple remarquable, l'autostrade de Bonn à Cologne et prolongements, dans la vallée du Rhin.

Créée suivant les données les plus récentes de la science et de la technique, cette nouvelle artère est destinée à assurer un trafic à la vitesse horaire moyenne de 100 km.

Pour des considérations d'économie, il a été décidé de la construire partie en basalte dur *et partie en laitier de haut fourneau.*

Ce recours au laitier dans une région où l'on trouve à profusion, à pied d'œuvre même, les pierres naturelles de toute espèce dont la valeur au point de vue cons-

tructif est reconnue et appréciée de temps immémorial, n'est-il pas l'exemple le plus typique qu'on puisse invoquer en faveur de ce matériau pour la construction des routes ?

C'est également le laitier qu'on a choisi pour l'établissement de la majeure partie des routes du célèbre circuit de Francorchamps où se disputent chaque année les épreuves internationales de vitesse pour voitures automobiles.

Reconnaissant tous les avantages qu'il présente pour les finances publiques et pour les usagers, l'Etat, les Provinces et les Communes belges l'emploient en quantités *de plus en plus grandes* chaque année, tant pour l'établissement de routes nouvelles, que pour la réparation de celles existantes.

En cela, on ne fait d'ailleurs qu'imiter l'exemple de nos voisins : la France, le Grand-Duché de Luxembourg, (1) l'Allemagne, l'Angleterre et en général tous les pays possédant une industrie sidérurgique qui fournit à un prix peu élevé des matériaux de première valeur.

A ce sujet, nous croyons intéresser le lecteur en reproduisant le préambule du Rapport d'avril 1927, de la Commission Officielle qui, Outre-Rhin, a fait une étude complète de l'utilisation du laitier dans les travaux de voirie.

Ce rapport, suivi du cahier des charges auquel seront soumises les fournitures de concassés de laitier, est publié " in extenso " dans la *Revue Centrale de l'Administration des Constructions* 48 (1928) fascicule n° 5.

Il s'exprime notamment comme suit :

En ce moment, il y a un très grand besoin de matériaux pour les routes dont l'entretien a été négligé au

(1) Le Gouvernement Grand-Ducal a réfectionné et étendu dans ces dernières années, son réseau routier et dans la plupart des cas, il a employé pour ces travaux les concassés de laitier de haut fourneau.

cours de ces années de détresse économique. La difficulté, qui subsiste encore, d'assurer les moyens financiers suffisants pour cet entretien, oblige les pouvoirs publics à rechercher des matériaux de construction d'une valeur correspondante aux bonnes pierres naturelles, mais d'un prix notablement moins élevé.

Suivant les expériences faites, le bon laitier de haut fourneau concassé remplit cette double condition.

Une conclusion analogue avait été tirée aux Etats-Unis 20 à 25 ans plus tôt. Actuellement, 6 à 7 millions de tonnes de laitier trouvent chaque année leur emploi pour la construction et la réfection des routes, dans la République Américaine.

SON EMPLOI POUR LE TARMACADAM

Disons maintenant un mot du laitier pour la confection du tarmacadam.

Employé sous cette forme, sa valeur est incomparable. De tous les matériaux, il est, en effet, le seul qui soit capable d'assurer une longue vie au revêtement de la route.

C'est de cette façon qu'il a été utilisé pour l'autostrade de la vallée du Rhin et le circuit de Francorchamps dont il vient d'être question.

Le goudron de houille est l'agglomérant habituellement employé. A raison de sa nature calcaire, le laitier a pour ce produit une affinité qui n'existe pas dans le mélange des pierres de carrières. (1)

(1) Voir page 8 ci-avant, Chapitre V

En outre, le goudron pénètre dans les fragments de laitier jusqu'à une certaine profondeur. Il se crée ainsi une réserve de matière qui compensera ultérieurement les pertes dues à l'usure.

Il en est autrement des bonnes pierres de carrières. Celles-ci étant pour la plupart complètement lisses ou dépourvues de toute aspérité, le goudron s'y accroche mal. Leur enrobage ne consiste qu'en une pellicule très mince et de ce fait il est plus sensible que celui des éléments de laitier à la détérioration par l'oxydation, les chocs et les frottements de la circulation.

A ce propos, M. l'Ingénieur van Linden van den Heuvel que nous venons de citer, s'exprime comme suit :

“ A cause de leurs faces unies, les éléments de basalte retiennent moins bien le goudron que le porphyre dont les faces sont plus rugueuses; mais à cet égard, le porphyre vient après le laitier de haut fourneau qui est plus poreux..”(1)

La supériorité du laitier, comme tarmacadam, a été établie pratiquement par des expériences commencées en 1912, sur la route nationale de Metz à Thionville.

Le laitier a été mis en comparaison avec le porphyre.

Au bout de 20 années, la section en tarmacadam de laitier ne présentait encore aucun signe d'arrachement.

Par contre, celle en pierraille de porphyre s'était entièrement déformée et elle avait dû subir entretemps des réparations à l'aide de tarmacadam de laitier qui en ont prolongé la durée.

(1) Voir aussi deuxième partie de la division E, Chapitre VI, bas de la page 16.



LA
TECHNIQUE DU LAITIER
DE HAUT FOURNEAU

E
RECHERCHES
ESSAIS & RAPPORTS OFFICIELS

COMPOSITION DU LAITIER DE HAUT FOURNEAU

Si, pendant longtemps, on ignora l'intérêt que présente l'utilisation commerciale du laitier, il faut dire que la réputation dont celui-ci jouit maintenant au titre de matériau de construction et de viabilité est due surtout à la circonstance que, grâce aux progrès de la technique, on a pu établir avec précision les règles pour sa préparation.

En ordre principal, la qualité des matériaux de laitier dépend à la fois de la composition et de la sélection de la matière première, de la température à laquelle celle-ci est livrée à la ballastière (s'il s'agit de concassés), ainsi que des soins dont elle est l'objet pendant le refroidissement, le traitement et la préparation.

COMPOSITION. - Celle-ci résulte de la nature et de la provenance des minerais traités, des matières utilisées comme fondant, du combustible employé, des procédés de fabrication et de la qualité de la fonte qu'on veut produire.

Un type de laitier susceptible de donner de bons résultats (type normal en Belgique) est constitué approximativement à raison de 90 %, par les 3 éléments principaux suivants : (pourcentages arrondis).

Chaux (CaO) 45 %, *Alumine* (Al₂O₃) 15 %, *Silice* (SiO₂) 30 %.

Les 10 % restants représentent des produits secondaires et comprennent : *Magnésie* (MgO) 4.5 %, *Oxyde de fer* (FeO) 1.5 %, *Manganèse* (MnO) 3 %, *Sulfure* (SO₃) 1 %.

(1) Voir pages 5 et 8 ci-après, la composition moyenne du laitier de haut fourneau aux États-Unis et page 14 de la deuxième partie de cette division, la composition de laitiers allemands ayant servi aux expériences dont les résultats sont donnés aux pages 11 à 14 de la dite division.

QUALITÉS D'UN BÉTON

Les facteurs qui déterminent la qualité d'un béton au point de vue technique sont :

1^o La nature et le degré de mouture du *ciment* et la quantité pour laquelle il entre dans le mélange ;

2^o La nature, la dureté, le module de finesse et la proportion des agrégats ou *matières inertes* (et le *fer*, lorsqu'il s'agit de béton armé.)

3^o La quantité *d'eau de gâchage* par rapport à la quantité de ciment employée.

Le mélange et la graduation de ces divers éléments, ont une grande importance sur la qualité et le prix de revient des bétons ; ils ont lieu dans des rapports adéquats à chaque cas d'application.

Nous avons établi ci-avant qu'à raison de leurs qualités incomparables, les ciments à base de laitier satisfont avantageusement à tous les cas.

Les *matières inertes* doivent répondre aux conditions suivantes :

A.- Stabilité ou propriété en vertu de laquelle les éléments conservent leur volume et leur résistance.

B. - Résistance à l'écrasement au moins égale et si possible supérieure à celle du mortier durci.

C. - Absence de matières étrangères nuisibles, notamment de matières susceptibles de réagir sur le ciment.

*
*
*

Le laitier de haut fourneau employé comme matière inerte du béton, remplit-il ces différentes conditions ? C'est ce que nous allons examiner à la page suivante.

A.

La STABILITÉ du laitier, qui tient d'ailleurs à des causes parfaitement connues et sur lesquelles on peut agir en cours de préparation, est un fait que les expériences de laboratoire ont démontré et que des observations de 50 années aux États-Unis ont confirmé.

A ce sujet, l'exemple des bassins filtrants américains est remarquable ; dans ces installations, la pierraille passe par des alternatives d'humidité et de sécheresse et la température oscille de -22 à $+37$ degrés centigrades.

Les vérifications faites dans une quarantaine de bassins où le laitier est resté exposé pendant 10 à 21 ans, n'ont révélé aucune détérioration des éléments et si le cas s'est parfois présenté, c'était dans une mesure si minime que l'action du filtre n'en était aucunement influencée. (1)

B.

On voit par les tableaux des résultats d'essais donnés aux pages suivantes et spécialement à la page 6 que la RÉSISTANCE A L'ÉCRASEMENT du laitier compact est supérieure à celle des meilleurs ciments connus.

C.

Ayant passé dans le haut fourneau par des températures excessivement élevées et n'étant pas, au cours de sa préparation, en contact avec des matières étrangères, il est clair qu'il serait difficile de trouver un matériau d'un DEGRÉ DE PROPRIÉTÉ plus élevé que le laitier.

(1) Voir page 15, Chapitre V, de la deuxième partie de la division E.

RÉSISTANCES A LA TRACTION

Etats-Unis

BÉTONS DE LAITIER

Composition moyenne du laitier de haut fourneau américain établie en 1927, d'après les résultats de 12 analyses mensuelles d'échantillons provenant de 24 usines de l'Ohio, de Pensylvanie et du Kentucky :

SiO₂ = 36,44 %, — Al₂O₃ = 12,73 %, — CaO = 41,28 %, — MgO = 6,50 %.

1. - Routes en béton de laitier

construites en 1928 par le Départ. de la Haute Voirie de l'État de Pennsylvanie.

(Rapport de MM. A. S. Rea et D. W. Leggett.)

(en kil/cm²)

Nombre d'essais	Composition du béton	Nombre de jours					
		3	7	14	21	28	28
370	1 : 5 (fin et gros)	43	50	51	—	58	—
370	1 : 5 (fin et gros)	43	48	52	54	—	57
107	1 : 7 (fin et gros)	—	32	43	45	—	—

2. - Routes en béton de laitier

construites en 1928 par le Départ. de la Haute Voirie de l'État de Pennsylvanie

(Rapport de M. H. S. Mattimore.)

Eprouvettes de 6×8×40 pouces.

(en kil/cm²)

Durée de durcissement	10 Jours			14 Jours			21 Jours			
	Laitier	Pierre	Gravier	Laitier	Pierre	Gravier	Laitier	Pierre	Gravier	
Nombre d'essais	1312	6470	618	1312	6470	618	1312	6470	618	
Compétition du béton	1 : 2 : 3	45	42	41	47	45	42	49	43	—
	1 : 2 : 3 1/4	44	42	34	44	43	42	52	—	—
	1 : 2 : 3 1/2	45	39	34	45	42	38	—	—	—
	1 : 2 : 4	—	31	36	42	34	38	48	43	39

3. - Bureau des Routes des États-Unis

(Rapport de M. W. F. Kellerman.)

Résultats à 28 jours.

(en kil/cm²)

Composition du béton	Matières inertes			
	Laitier	Calcaire	Granit	Gravier
1 : 1,6 : 3	45	42	42	41
1 : 2 : 4	37	37	34	35

(d'après "Public Roads", Juin 1929, page 72)

IV

RÉSISTANCES A LA COMPRESSION

I. LAITIER CONCASSÉ NU

Belgique

Dans un certificat d'essais en date du 21 janvier 1932, de la Société Nationale des Chemins de fer belges établi par le laboratoire de Malines, on relève les résultats ci-après (éléments essayés à l'état naturel).

	Minimum	Maximum	Moyenne
LAITIER (résultats de 10 essais sur cubes de 5 à 7 c/m de côté)	817	2450	1265
GRÈS (résultats de 6 essais sur cubes de 3,6 c/m de côté)	579	1780	1060

N.-B. — Ces essais se rapportent à des laitiers type belge à 45 0/0 de chaux, 30 0/0 de silice et 15 0/0 d'alumine.

Allemagne

(Les échantillons de laitier nu ayant servi aux essais ci-après ont été prélevés au hasard sur le chantier.)

Les chiffres indiquent la résistance en kilogrammes par centimètre carré.

LAITIER

à fine porosité — à grande porosité

625 365

750 416

822 528

1.250 650

Moyenne 862 490

La résistance n'a donc été, dans aucun cas, inférieure à 350 kilogs qui est celle fixée par les normes officielles pour le ciment, après 28 jours.

N.-B. — Ces essais se rapportent à des laitiers type allemand à 40 0/0 de chaux, 30 0/0 de silice et 10 0/0 d'alumine.

2. BÉTONS DE LAITIER

Etats-Unis

Tableau élaboré d'après le Rapport du Comité 201: Spécifications des agrégats.
(M. H. F. Clemmer, Président) de l'Institut Américain du Béton.

Résistances en kg/cm²

	LABORATOIRES	Composition du mortier	Résistances en kg/cm ²			
			Laitier	Granit	Calcaire	Gravier
	ASSOCIATION AMÉRICAINE DES CEMENTS PORTLAND (Eprouvtes exposées pendant 14 jours dans une chambre humide et pendant 76 jours à l'air).					
I	A = 38 o/o de sable	1 : 4	304	310	323	308
II	B = 48 o/o id.	1 : 4	295	298	307	292
	ASSOCIATION AMÉRICAINE DES CEMENTS PORTLAND					
III	a) Eprouvtes ayant séjourné 90 jours dans sable humide.	Compositions variant de 1 : 2 à 1 : 6 id.	275	290	282	270
IV	b) Eprouvtes ayant séjourné 14 jours dans sable humide et ensuite 76 jours à l'air.		251	262	264	257
V	c) Eprouvtes ayant séjourné 1 an dans sable humide.		323	275	280	354
	BUREAU DES ROUTES DES ETATS-UNIS (Départ. de l'Agriculture) (Essais après 28 jours de séjour dans air humide).					
VI	Béton riche	1 : 1,6 : 3	280	260	257	255
VII	Béton maigre	1 : 2 : 4	190	195	197	196
VIII	Essais après 28 jours de séjour dans sable humide. (3 à 5 éprouvtes pour chaque source d'agrégat. Le laitier provient de 19 sources différentes). P. J. FREEMAN (1)	1 : 2 : 3	232	230	212	190
IX	5 ans : séjour 35 jours dans sable humide, ensuite 4 ans et 330 jours dans laboratoire sec et chaud.	1 : 2 : 4	301	280	260	217
X	10 ans : comme ci-dessus plus séjour de 4 2/3 années à l'extérieur, ensuite 1/3 année dans sable humide.	1 : 2 : 4	401	413	409	361
	MOYENNES DES ESSAIS		285	281	279	270

N. B. Le rapport de M. Freeman accompagnant les essais sous IX et X dit :

La résistance à la compression n'est pas affectée par :

a) Le poids du laitier : le poids volumétrique variait de 64 à 84 lbs par pied cube.

(1). Ingénieur en chef du Bureau des Essais et Spécifications, Pittsburg-Pa.

b) **La composition chimique du laitier** : La teneur en silice variait de 31,53 à 36,72 % - en alumine de 11,81 à 14,11 % - en chaux de 31,75 à 45,80 % et en magnésie de 1,62 à 19,43 %.

c) **L'âge du laitier** : Certains échantillons n'avaient que quelques jours ; les autres avaient séjourné dans les crassiers pendant plus de 15 ans.

Remarque : Les tableaux des pages 5 et 7 ci-avant établissent qu'au point de vue des qualités physiques, le laitier de haut fourneau est placé aux Etats-Unis en tête des bons matériaux de construction, notamment des granits, calcaires, graviers, etc.

Allemagne

Les résultats donnés dans le tableau ci-après, sont les moyennes de 10 essais de béton de laitier de diverses provenances, prélevés au hasard sur les chantiers.

Composition du béton : Une partie de ciment de laitier pour 5 parties de pierraille de laitier contenant 50 % de poussier de 0 à 7 mm (en volume). **Eau** : 11,6 % en volume.

Température moyenne des jours des essais : 17° C.

Degré hygrométrique moyen de l'air : 78 %.

(Résultats en kilogrammes par centimètre carré)

CUBES DE BÉTON DE LAITIER de 20 cent. de côté			POUTRE 7×10×220 c/m	CIMENT DE LAITIER EMPLOYÉ	
7 jours	28 jours	42 jours	42 jours	7 jours	28 jours
195	231	238 ⁽¹⁾	424 ⁽²⁾	308	415

(1) Ce chiffre est inférieur à la réalité, car la puissance de la presse employée ne dépassait pas 238 kilogs et à cette pression, les cubes de béton soumis à l'essai étaient encore intacts.

(2) Flèche maximum moyenne de la poutre avant rupture : 31 mm. La plus grande flèche constatée fut de 41 m/m., valeur jamais atteinte avec le béton de gravier.

3. BÉTON AU CIMENT DE LAITIER

Belgique

Extrait d'un article de M. G. MAGNEL, Professeur à l'Université de Gand, intitulé « Etude expérimentale sur le ciment de laitier », paru dans « La Technique des Travaux », d'Avril 1927.

Le ciment employé (mélange à froid de chaux et de laitier) donnait à 28 jours, sur mortier normal battu, une résistance de 22 Kgs 25 à la traction et de 332 Kgs à la compression.

Les essais ont été effectués avec 3 bétons (A, B, et C.) composés chacun de matières inertes différentes (laitier, porphyre, gravier du Rhin) et répondant à la formule volumétrique 1 : 1,28 : 2,56 (le poids du ciment étant supposé égal à une tonne par m³).

COMPOSITION DES BÉTONS (par m³ damé)

MATIÈRES COMPOSANTES	A	B	C
	Laitier	Porphyre	Gravier du Rhin
Ciment de laitier	385 kgs	372 kgs	336 kgs
Agrégats fins { Laitier granulé broyé, Poussier de porphyre 0-2 m,m Sable du Rhin	498 lt.	475 lt.	430 lt.
Plaquettes ou graviers	996 lt.	950 lt.	860 lt.
Eau { Quantité Rapport eau-ciment	169 lt.	191 lt.	146 lt.
	2.28	1.95	2.28

RÉSISTANCES

	3 jours	7 jours	28 jours	90 jours
Béton A (laitier)	144.5	226.0	285.0	409.1
Béton B (porphyre)	64.8	111.9	190.2	267.0
Béton C (gravier)	136.8	194.5	209.6	280.5

(Les essais ont eu lieu sur cubes de 20 cm. de côté fabriqués dans des moules métalliques et conservés dans un local non chauffé.)

Analysant les résultats ci-dessus l'auteur conclut :

« Parmi les 3 bétons, c'est le béton A qui est incontestablement le meilleur : c'est celui qui contient du laitier comme matière inerte. Cela ne doit pas étonner, puisque le laitier concassé n'est pas une matière tout à fait inerte; ses éléments les plus fins jouent le rôle de liant, de qualité inférieure sans doute, mais ayant quand même une influence sur la qualité du béton. »

4. BÉTONS EXPOSÉS A L'EAU DE MER

Tous les essais de la Commission ministérielle allemande furent effectués sur des échantillons prélevés de ciments déjà livrés au commerce et prêts à être mis en œuvre.

COMPARAISON LAITIER-GRAVIER

Allemagne

COMPOSITION DES BÉTONS					
1 partie ciment :		2 parties		3 parties	
		Poussier de laitier Sable du Rhin		Mélanges de laitier Mélanges de gravier du Rhin	
Nature du Ciment	Nature de l'Agrégat	Résistances moyennes à l'écrasement en kgs/cm ² après :			
		8 semaines	29 semaines	1 an	3 ans
Portland artificiel	Laitier	272	349	363	387
	Gravier du Rhin	263	288	306	368
Portland de fer	Laitier	275	343	366	422
	Gravier du Rhin	246	292	310	391

N. B. — On remarque qu'après un an, les bétons de concassés de laitier accusent une résistance supérieure de 20 % à celle des bétons de gravier du Rhin.

On y voit aussi la supériorité du ciment Portland de fer sur le ciment Portland artificiel, après ce même délai.

Le Prof. Burchartz, rapporteur de la Commission ministérielle, fait suivre ce tableau de l'observation suivante :

« Ce résultat est d'autant plus remarquable que les mélanges de Portland artificiel soumis aux essais étaient plus riches (dans une proportion relativement faible, il est vrai) que les mélanges de Portland de fer correspondants ».

TRACTION & COMPRESSIONBelgique

Association Belge
pour l'Étude et l'Essai des Matériaux

EXTRAITS

du Procès-Verbal de la séance du 12 février 1930
donnant le compte-rendu d'un exposé sur le béton armé
par

M. G. MAGNEL

*Professeur et Directeur du Laboratoire du Béton Armé
à l'Université de Gand*

N.B. - Les essais de béton de laitier, de porphyre et de gravier du Rhin (composition 1 : 1 : 2) dont les tableaux I à III ci-après rendent partiellement compte ont été effectués sur 720 cubes de 20 cm. de côté, dont une moitié avec incorporation, dans l'eau de gâchage, de 5 % de chlorure de calcium.

M. Magnel a opéré avec 4 sortes de ciments désignés par A, B, C et D ayant les résistances indiquées par le tableau I ci-après. (Voir l'étude granulométrique de la page 14).

Les chiffres donnés ci-après sont la moyenne des résultats d'essais de 4 échantillons pour le tableau I et de 3 échantillons pour le tableau III.

Le " Slump test " (essai à l'affaissement) dont question dans les tableaux ci-après, est une méthode américaine due à Abrams, très employée pour déterminer le degré de plasticité du béton. Celle-ci est fonction du nombre de centimètres dont diminue la hauteur d'un tronc de cône de mortier frais moulé, ayant les dimensions suivantes : 20 cent. à la base, 10 cent. au sommet et 30 cent. en hauteur.

L'affaissement doit être de 3 à 5 cm. pour le béton armé courant et de 8 à 12 cm. pour les bétons mous à transporter par goulotte.

La fluidité est le rapport entre le diamètre final et le diamètre initial de la base du cône.

Tableau I.

Résistances du mortier normal battu (essai normal)
(en kg/cm²)

Désignation des ciments essayés	Traction		Compression	
	7 jours	28 jours	7 jours	28 jours
Portland A	28.97	33.92	343	509
Portland B	33.35	38.90	405	601
Portland C	28.40	34.45	335	491
Laitier spécial D	21.95	29.00	227	316

N.B. — Les ciments A, B et C sont des ciments Portland artificiels à prise lente. Le ciment D est un ciment de laitier spécial (mélange à froid de laitier et de chaux). Chacun des chiffres ci-dessus est la moyenne des résultats d'essais de 4 échantillons.

Il sera intéressant de comparer les résistances des différents ciments ci-dessus avec celles du ciment de haut fourneau dont le certificat d'essai est reproduit à la page 16 ci-après.

Tableau II

Composition du béton par m ³ damé	Plaquettes de laitier et laitier granulé broyé		Plaquettes et poussier de porphyre		Gravier et sable du Rhin	
	Fluidité Slump (1)					
	1 c/m	5 c/m	1 c/m	5 c/m	1 c/m	5 c/m
Ciment A, B, C ou D	395 kg.	374 kg.	388 kg.	378 kg.	352 kg.	342 kg.
Agrégats fins $\left\{ \begin{array}{l} \text{sable} \\ \text{poussier} \\ \text{ou} \\ \text{granulé} \end{array} \right.$	464 lt.	436 lt.	443 lt.	430 lt.	402 lt.	390 lt.
Plaquettes ou gravier	928 lt.	872 lt.	886 lt.	860 lt.	805 lt.	780 lt.
Eau ou solution à 5 0/0 de chlorure de chaux	196 lt.	243 lt.	226 lt.	245 lt.	155 lt.	179 lt.

(1) Voir au bas de la page 11 ci-avant, la définition de ce terme.

Tableau III

Résistances en kg/cm² des bétons compris dans le tableau II
(à 28 jours)

Ciment (1)	Fluidité Slump	Sans CaCl ₂			Avec CaCl ₂		
		Laitier	Por- phyre	Gravier du Rhin	Laitier	Por- phyre	Gravier du Rhin
A	1 cm.	359	261	390	353	333	392
	5 cm.	252	239	265	256	273	285
B	1 cm.	437	320	311	381	392	385
	5 cm.	243	235	291	283	260	319
C	1 cm.	314	223	301	370	278	394
	5 cm.	238	178	240	256	190	282
D	1 cm.	287	208	250	251	199	223
	5 cm.	218	183	192	187	129	175
Moyennes	1 cm.	350	253	313	339	300	348
	5 cm.	238	209	247	246	225	265
(à 360 jours)							
A	1 cm.	423	345	436	526	434	494
	5 cm.	363	307	434	372	361	408
B	1 cm.	466	415	426	518	470	508
	5 cm.	472	327	383	399	345	406
C	1 cm.	400	306	409	519	413	468
	5 cm.	360	262	321	383	273	389
D	1 cm.	375	293	342	324	307	326
	5 cm.	317	259	294	293	204	284
Moyennes	1 cm.	416	340	403	472	406	449
	5 cm.	353	289	358	362	296	372

N.B.- Chacun des chiffres ci-dessus est la moyenne des résultats d'essais de 3 échantillons.

Explication de l'expression "Module de finesse" du diagramme de la page 14.

Abrams définit chaque matériau par un indice particulier dénommé "module de finesse", lequel représente la centième partie de la somme des refus de 10 tamis à jours carrés, variant de 0,147 millimètre à 76,200 millimètres, de la série des "Tyler Standards". (Voir au tableau de la page 23 de la 2^{me} partie, les modules des principaux matériaux pour bétons).

Cet auteur a dressé des tables indiquant pour chaque composition de mortier et chaque diamètre maximum des éléments, un module de finesse optimum du mélange inerte, module qui est la résultante des modules des divers éléments.

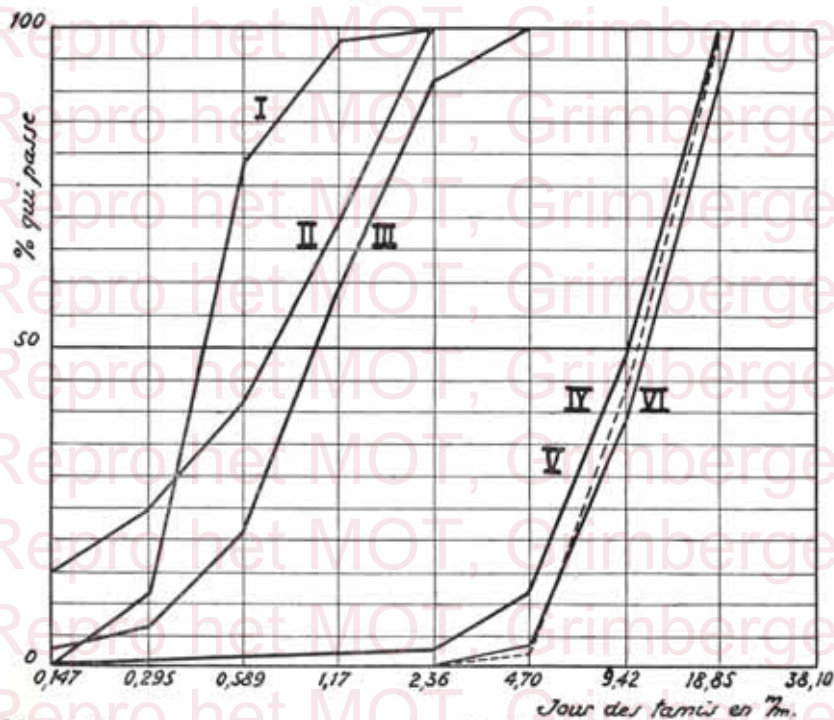
(1) Voir tableau I de la page précédente.

Laboratoire de béton armé.

Directeur : G. Kagnel.
Mandria Palace, Gand S. Pierre.

Étude granulométrique des matériaux

Diagramme



Observations:

Module finesse.

- | | | |
|-----|-----------------------|------|
| I | Sable du Rhin | 2,13 |
| II | Poussier porphyre | 2,52 |
| III | Sabler granulé broyé | 3,19 |
| IV | Sabler concassé | 6,30 |
| V | Plaquette de porphyre | 6,59 |
| VI | Gravier du Rhin | 6,44 |

(Voir page ci-avant, la définition du " module de finesse ").

BÉTONS DE CIMENT ET GROS SABLE

I. - Avec addition de laitier moulu et de trass moulu. (1)

a) à la traction en kilog/cm²

Nature du ciment	Mode de durcissement	70 ciment + 30 laitier moulu + 200 gros sable				70 ciment + 30 trass moulu + 200 gros sable			
		7 jours	28 jours	6 mois	1 an	7 jours	28 jours	6 mois	1 an
		Portland artificiel D	Air	26,2	39,1	57,4	58,7	20,1	35,1
	Eau	26,4	29,4	40,3	44,3	19,4	31,0	35,5	46,8
Portland de fer G	Air	35,9	41,0	52,6	61,3	23,2	35,8	53,8	50,5
	Eau	24,8	33,0	41,7	48,5	17,9	29,0	34,1	42,9

b) à la compression

Portland artificiel D	Air	213	329	459	443	165	290	389	380
	Eau	188	280	424	490	160	265	368	423
Portland de fer G	Air	207	344	443	429	162	310	438	415
	Eau	188	321	459	545	140	275	408	463

II. - Avec addition de laitier moulu et de sable fin moulu. (1)

A = 70 ciment + 30 laitier granulé broyé

B = 70 ciment + 30 sable fin moulu

Nature du ciment	Composition du mortier	Durcissement à l'air				Durcissement dans l'eau				
		Traction		Compression		Traction		Compression		
		28 jours	1 an	28 jours	1 an	28 jours	1 an	28 jours	1 an	
PORTLAND L	1 : 2	A	45,7	56,3	386	458	40,4	53,6	354	618
		B	40,5	54,7	288	384	30,2	49,0	244	509
	1 : 5	A	20,0	28,9	150	245	16,0	27,8	123	284
		B	16,2	24,6	108	198	12,3	24,5	77	182
PORTLAND M	1 : 2	A	52,4	56,6	498	503	47,3	53,6	509	756
		B	53,2	55,5	434	484	41,3	50,4	411	647
	1 : 5	A	22,6	32,6	213	280	21,6	29,5	183	302
		B	18,4	28,2	165	226	19,4	24,0	158	249

N. B. - Ces tableaux montrent que dans l'eau comme à l'air, le laitier (cristallisé moulu ou granulé broyé) additionné au ciment donne par rapport au trass et au sable fin des augmentations de résistance qui sont de l'ordre de 20 %, dans la plupart des cas.

(1) Résultats de la Commission ministérielle Allemande. - Le Dr H. Passow, dans son livre « Le ciment Portland de fer comparé au ciment Portland artificiel », dit : « La finesse du laitier était de 8 0/0; celle du sable de 1 0/0 (tamis de 5000 mailles). L'avantage en faveur du laitier provient de ce que ce matériau agit sur le durcissement à raison de ses propriétés hydrauliques, tandis que le sable agit simplement comme amaigrissant ».

Essais d'un échantillon de ciment de haut fourneau livré pour le Tunnel sous l'Escaut, effectués à l'initiative de l'employeur.

Laboratoire des Essais Physiques
de la Société Nationale des Chemins de fer Belges

Service du Matériel. Bureau 25 - i. N° 12 C.

Résistances en kilog/cm ² de briquettes essayées						
Numéros d'ordre	TRACTION			COMPRESSION		
	Mortier : 1 ciment + 3 sable normal					
	Après 1+2 jours	Après 1+6 jours	Après 1+27 jours	Après 1+2 jours	Après 1+6 jours	Après 1+27 jours
1	28,0	38,0	38,2	341	426	625
2	30,7	35,7	43,2	337	494	575
3	27,6	37,2	45,2	345	454	655
4	27,0	35,2	43,6	328	473	660
5	28,6	34,6	41,8	333	490	650
Résistance probable	28,00	35,70	43,20	337	473	650

Quantité d'eau employée pour la fabrication des briquettes.

Parties d'eau pour 100 parties de ciment pur 27,0

Parties d'eau pour 100 parties du mélange : 1 partie de
ciment et 3 de sable normal 7,0

Finesse de la mouture. Résidu % sur le tamis de 4900 m./cm² 7,6

Prise. { Commencement 4 h.15'

 { Fin 7 h.25'

Densité 3,11

Déformation. Ecartement entre les pointes { à froid . . . 0 mm.

des aiguilles de l'appareil Le Chatelier . . { à chaud . . 0 mm.

 { total . . . 0 mm.

Magnésie 1,69%

Anhydride sulfurique 1,63%

A Malines, le 11 Février 1932.

Au nom de la Société: Par délégation, (s) C. LIPPENS.

LA TECHNIQUE DU LAITIER DE HAUT FOURNEAU

DEUXIÈME PARTIE

I

LE LAITIER POUR LE CUVELAGE

des PUITS DE MINES

En Belgique

(Puits n° 3 du Charbonnage de Boubier, à Châtelet)

Ce puits, d'une profondeur de 900 mètres, a un diamètre utile de 4 m. 50. Il traverse :

— entre 0 et 307 m., des grès et schistes famenniens très aquifères.

— entre 307 et 395 m., le calcaire carbonifère avec des venues d'eau sous des pressions de l'ordre de 30 atm.

— entre 395 et 700 m., le houiller très dérangé.

Le revêtement, dont l'épaisseur moyenne est de 0,35 m. sur 700 mètres et de 0,40 m. à 0,70 m. sur 200 m., est un monolithe de béton de laitier concassé, dans la zone de 200 à 900 m., et de béton de porphyre concassé dans celle de 0 à 200 mètres.

Aux passes 352 à 397 mètres et 397 à 418 mètres dont le revêtement est de 0,70 cent. d'épaisseur, le béton de laitier a été ferrailé. (1)

Dans les zones exigeant une haute résistance, on a employé le dosage suivant pour le béton :

Laitier concassé de 0/5 m/m = 556 litres

" " 5/20 m/m = 500 "

" " 20/40 m/m = 292 "

Superciment 450 kgs.

Eau (par m³ de béton mis en place) 100 litres.

Le laitier n'a été adopté qu'après études et essais divers qui ont montré qu'un béton de laitier mat concassé offre une résistance au moins égale à celle du béton de grenaille

(1) Voir page 4 du chap. BVII de la Division B « Le ferrailage de bétons en ciment de laitier ».

de porphyre. Des essais sur éprouvettes de 20 cent. de côté prélevées sur des blocs mis en place ont donné à la compression, une résistance moyenne de 365 kgs/cm², à 28 jours.

(D'une note émanant de la Société du Charbonnage de Boubier.)

II — LE LAITIER POUR LE BALLASTAGE DES VOIES DE CHEMINS DE FER

Les travaux de la Commission officielle allemande ayant abouti à l'adoption du laitier concassé pour le ballastage des chemins de fer donnent comme suit, le résultat des essais de résistance de la pierraille de laitier comparée à la pierraille de granit (calibre de 32/50 m/m).⁽¹⁾

1° « Aux essais de résistance à la destruction d'après le procédé Rudeloff, les 4 échantillons de laitier (provenant de 4 hauts fourneaux différents) accusent des résultats supérieurs à ceux du granit.

2° « A la pression graduellement croissante, deux échantillons de laitier se sont révélés supérieurs au granit.

3° « Aux essais au choc et à l'usure latérale, tous les échantillons de laitier ont accusé des résistances supérieures à celle du granit. »

III — L'ACTION DU LAITIER DE HAUT FOURNEAU SUR LE FER

Etant donné l'action bien connue de l'acide sulfurique sur le fer, on a pu croire qu'à raison de sa légère teneur en sulfures, le laitier pouvait présenter certains inconvénients quand il est en contact avec des parties métalliques, notamment dans les bétons armés et dans les voies de chemins de fer à traverses en acier.

Une longue pratique dont les résultats ont été confirmés dans les différents pays où le problème a été étudié, s'est chargée de démontrer que ces craintes n'étaient pas justifiées.

(1) Rapport de septembre 1927 du Professeur H. BURCHARTZ et de l'Ingénieur diplômé G. SAENGER, de Berlin, du Laboratoire de l'Etat pour l'essai des matériaux, de Berlin-Dalhem, déjà cité à la page 8 de la division C de cette brochure.

En Allemagne

Les Spécifications allemandes pour la fourniture et la réception du laitier de haut fourneau destiné à la confection du béton, au ballastage des voies de chemins de fer et à la construction de routes, arrêtées en avril 1931 par la "Commission pour les recherches sur la possibilité de l'utilisation du laitier de haut fourneau" disent :

" Le soufre contenu dans le laitier de haut fourneau est combiné avec la chaux, ce qui le rend par conséquent inoffensif... " (1) (3)

D'autre part, dans une lettre en date du 2 Juillet 1932, reproduite à la page 7 de la division C de cette brochure, la Société Allemande des Chemins de fer du Reich qui, depuis plus de 15 ans, fait des applications méthodiques de laitier de haut fourneau déclare qu'elle n'établit aucune distinction entre les pierrailles de carrières et les pierrailles de laitier et qu'elle emploie indifféremment ces dernières dans les sections de voies à traverses métalliques et à traverses en bois, sans que cette pratique ait donné lieu à un inconvénient quelconque. (2)

En Belgique

La Société Nationale des Chemins de fer belges s'est préoccupée également de ce problème et voici ce qu'après une série d'années d'observations, elle nous écrit par sa lettre du 21 novembre 1932 :

" Notre enquête nous a conduits à la possibilité d'employer le laitier concassé avec les traverses métalliques. La conclusion est que l'emploi de ces traverses sur notre réseau ne sera pas restreint par le fait que nous mettons en œuvre du laitier concassé. "

(1) Cette Commission, créée par arrêté du Ministre des Travaux Publics du Reich du 5 août 1911, comprend des représentants des différents Ministères et des grandes Administrations publiques, de la Société des Chemins de Fer Allemands (Reichsbahn), de Groupements Professionnels : Fabricants de Ciments Portland artificiels, Fabricants de Ciments de Haut Fourneau, Association des Commerçants en Produits de Laitier, Association de l'Industrie Métallurgique, etc. etc.

(2) Voir aussi l'ouvrage du Prof. Mörsch " Le béton armé " Vol. 1 page 28, 6^{me} Ed. 1923.

(3) Voir rapport d'analyse de l'Institut de Chimie Meurice, de Bruxelles, à la page 11, de la division C de cette brochure.

Laissons, sur ce même sujet, la parole à M. Cleret de Langavant, ingénieur français, qui s'est signalé par des études très savantes sur les ciments de laitier et qui s'exprime comme suit :

“ On a pu craindre assez légitimement que la présence de ces sulfures soit redoutable pour les fers pouvant se trouver en contact avec le béton.

La question ne peut plus être controversée.

Le nouveau cahier des charges de la Ville de Paris a abandonné la prescription spéciale au ciment de laitier de contenir au total moins de 1 % de soufre. Désormais, les conditions régissant tous les liants sont celles fixées par le cahier des charges de la Commission de Standardisation, qui prescrit que la teneur en anhydride sulfurique SO^2 ne devra pas dépasser 3 %.

Il semble bien qu'à l'heure actuelle, aussi bien en France qu'à l'étranger, on soit en voie de revenir sur les craintes manifestement exagérées qui avaient été conçues à leur égard.

Les normes allemandes sont complètement muettes sur la teneur en sulfures du laitier à ajouter au Portland. (1)

Nous constatons également que les cahiers des charges anglais et américains ne font non plus aucune restriction à cet égard.

Dans toute la région du Nord et de l'Est de la France, on utilise le ciment de laitier pour tous les emplois industriels (massifs de machines, ancrages, soutènements).

Les bétons ainsi construits avec incorporation de fer sont démolis tôt ou tard pour des modifications, agrandissements, etc.

On a par suite, l'occasion de constater si les fers ont été attaqués. Or, dans les bétons effectués suivant les règles de l'art, bien compacts et enrobant bien les fers, on n'a

(1) Voir page précédente ce que disent à ce sujet, les Spécifications allemandes d'avril 1931, la Société de la Reichsbahn, dans sa lettre du 2 juillet 1932 reproduite à la page 7 de la division C, ainsi que le procès-verbal d'analyse du 26 août 1932 de l'Institut Meurice, de Bruxelles (pages 11 et 12 de la division C).

jamais constaté que ceux-ci aient souffert de leur séjour dans le béton.

Nous avons à notre bureau un fragment de barre d'acier rond de 30 m/m de diamètre ayant passé 30 ans dans un massif de ciment de laitier. Cette barre est absolument intacte et ne présente pas la plus légère trace d'altération. »

Aux Etats-Unis

Voici maintenant, en traduction, les opinions et conclusions formulées aux Etats-Unis, telles qu'elles sont relatées dans le Rapport du Comité 201 publié dans le " *Journal de l'Institut Américain du Béton* ", (Octobre 1930).

a) Bureau de Standardisation des Etats-Unis.

Les essais n'ont révélé aucun signe d'attaque due aux sulfures ou à d'autres causes. Autrefois, des ingénieurs ont pu hésiter pour donner leur autorisation à l'emploi du laitier sans l'accompagner de prescriptions spéciales, par exemple : le poids par pied cube et la teneur en sulfures.

Depuis, la pratique a établi que ces restrictions ne se justifient pas plus pour le laitier de haut fourneau que pour les autres agrégats couramment employés.

b) Comité des maçonneries de l'Association des Chemins de Fer Américains.

L'usage du béton de laitier, qui se répand depuis de nombreuses années, a consacré la valeur de ce matériau pour les bâtiments, murs de soutènement, ponts et fondations soumis aux conditions ordinaires. Aucun cas de corrosion de l'acier enrobé dans le béton de laitier n'est venu à notre connaissance.

c) M. A. T. Goldbeek, dont le nom fait autorité aux Etats-Unis.

Je ne connais aucun cas concret d'une action corrosive exercée sur l'acier dans les bétons de laitier. Il y a

8 ans environ, j'ai examiné des barres d'acier de 3 pieds de longueur retirées en notre présence d'une dalle en béton de laitier, aux Etablissements Swedeland, dans l'Etat de Pennsylvanie. Deux barres étaient parfaitement saines; l'extrémité de la troisième avait quelques trous, exempts de rouille; les faces étaient complètement brillantes.

Des recherches effectuées au Laboratoire d'Essais de Pittsburg n'ont décelé aucune corrosion de l'acier dans du béton vieux de 5 années, fabriqué en pierrailles de laitier provenant de 9 sources différentes aux Etats-Unis.

On y découvrit bien de légères traces de rouille aux endroits où des poches d'air s'étaient formées, mais elles étaient communes à tous les agrégats (calcaire, dolomie, granit, gravier et laitier de haut fourneau) soumis aux essais.

d) Comité de l'Association Américaine pour l'essai des matériaux.

L'avis péremptoire ci-après a été formulé :

“ Dans les cahiers des charges, nous n'avons fait aucune restriction au sujet de la teneur en sulfures du laitier, pour la raison que les recherches faites par des membres de notre Comité sur des parties de béton armé retirées de démolitions n'ont accusé aucune corrosion de l'armature attribuable au laitier et que d'autre part, le Comité n'a pas eu connaissance qu'un fait de l'espèce ait été notoirement établi. ”

* * *

D'ailleurs, si le laitier avait sur l'acier l'action corrosive qu'on pouvait lui attribuer quand il n'était pas connu comme aujourd'hui, le phénomène se serait manifesté dans des cas plus typiques que celui du béton armé.

Prenons, comme exemple, les installations de filtrage où les tuyaux d'amenée et d'évacuation sont recouverts d'une couche de laitier concassé de 5 à 8 pieds d'épaisseur. Les eaux résiduaires arrivant sans interruption, réalisent incontestablement les conditions les plus agressives (l'air, l'humidité et parfois les acides).

Il est évident que le liquide filtrant à travers la couche de laitier et passant ensuite dans les tuyaux crée une situation éminemment plus propice à l'attaque du fer que dans le béton armé.

Actuellement, les Etats-Unis possèdent 37 installations de filtrage dont certaines ont jusqu'à 21 années d'existence et nulle part, on n'a constaté que la détérioration des tuyaux y soit plus rapide qu'ailleurs. Ceci indépendamment du fait que plusieurs installations possèdent des filtres en pierre et en laitier, ce qui donne la possibilité de comparer utilement la tenue respective de ces deux matériaux.

IV

L'ACTION DU FEU SUR LES BÉTONS DE LAITIER DE HAUT FOURNEAU

Lorsque le béton est exposé à de hautes températures comme celles qui se produisent fréquemment dans les incendies de bâtiments, la nature des agglomérats peut avoir une influence décisive sur sa résistance à la détérioration.

On verra dans le présent chapitre que grâce à la lenteur et à l'uniformité de son expansion à la chaleur, le laitier de haut fourneau est parmi tous les matériaux celui qui offre le plus de garanties à cet égard.

Cette question est de la plus haute importance pour les Compagnies d'assurances contre l'incendie, notamment.

a) Une des premières expériences de résistance au feu dont la relation ait été faite est celle réalisée en 1906 par le " *Comité britannique pour la prévention des incendies* ". Elle consistait en un essai d'endurance au feu, suivi d'un essai d'immersion à la pompe, d'un plancher en béton fortement chargé.

La travée en béton de laitier a accusé un peu moins de déformations et beaucoup moins de fissures que celles en béton de gravier, granit, klinker ou brique.

b) Ces expériences, répétées en 1917 et 1919 par le Comité susdit, conduisirent aux conclusions suivantes:

« Les graviers, grès, granits et autres agrégats hautement siliceux ont donné de mauvais résultats. Par contre, les roches ignées à fin grain, telles que le basalte, en ont donné de bons. Les pierres calcaires sont meilleures que les agrégats siliceux, mais de tous ces matériaux, **c'est le laitier** qui a accusé les résultats les plus satisfaisants au point de vue de la résistance au feu.

« Les gros agrégats dont la température n'a pas atteint 1200° F. étaient le laitier, les pierres calcaires, le basalte et la brique concassée. Les températures les plus élevées furent obtenues aux points voisins du sommet des dalles de béton dont les gros agrégats étaient : les graviers siliceux, le gravier calcaire et le quartzite. » (voir *British Fire Prev. Committee : Proc., A. C. I p. 287, 1925*).

c) A la séance du 19 novembre 1929, dans laquelle fut discuté le rapport de MM. GRUEN et BEEKMANN dont question aux pages 11 à 14 ci-après, M. A. GUTTMANN, de Dusseldorf, s'est exprimé comme suit :

« La question de la résistance au feu des bétons de concassés de laitier a déjà été étudiée en Angleterre par le " *British Fire Prevention Committee* ". On a exposé au feu des éprouvettes de béton armé dont une partie étaient de laitier concassé et une partie de gravier de la Tamise. Il a été établi que le béton de concassés de laitier doit être déclaré incombustible, ce qui n'est pas le cas pour le béton de gravier de la Tamise. »

a) Dans son rapport relatif à des essais opérés sur des colonnes en béton chargées, M. W. A. Hull, dit : ("Fire Tests of Concrete Columns " Proc., A. C. I. pag. 89, 1919).

« Les résultats obtenus apportent une nouvelle preuve que des graviers riches en quartz donnent au feu des résultats moins satisfaisants que les bétons de pierres calcaires et de laitier. Le laitier n'a montré aucune tendance notable à l'éclatement ou à la fissuration dans les conditions de l'essai au feu standard, d'une durée de 4 heures. Dans tous les cas, les colonnes en béton de laitier se sont montrées capables de supporter, avant le refroidissement à l'eau consécutif à l'essai de 4 heures, un poids considérablement supérieur au double de leur taux de travail effectif. »

b) En octobre 1925, à Birmingham, Ala, on mit le feu à une petite maison construite en blocs de laitier et préalablement remplie de matières très inflammables. Après avoir été chauffés à blanc, les murs furent vigoureusement arrosés à l'aide de la pompe à incendie. Le Commandant du corps des pompiers de l'Etat, M. Chester E. Johnson, a présenté le rapport suivant, d'après le journal "Concrete", d'Octobre 1926 :

« Notre examen n'a permis de découvrir ni fissures, ni détériorations, ni désagréments apparentes des blocs de laitier. Ayant pratiqué des brèches dans les murs et examiné les tissus intérieurs des blocs, nous n'avons relevé aucun éclatement ou trace de rupture. Le plafond était indemne et le toit en plaques de béton de laitier n'accusait aucun signe d'endommagement.

Le laitier a pleinement démontré ses qualités de résistance au feu et son emploi doit être hautement recommandé dans la construction des édifices permanents et incombustibles. »

c) Un an plus tard, les circonstances voulurent que le même type de blocs fut soumis à une expérience de résistance au feu particulièrement sévère. Un incendie ayant éclaté dans l'église en construction du Calvary Baptist, à Tuscaloosa, Ala, celle-ci fut complètement détruite, à l'exception des murs en blocs de laitier qui résistèrent

aux flammes d'une façon remarquable. Ces murs n'ont subi aucun dommage apparent. (Voir Journal Américain "Concrete", Octobre 1926.)

d) Comme exemple de la résistance du béton de laitier aux hautes températures, M. George H. Sanger rapporte comme suit, dans son travail intitulé "Le Laitier de Haut Fourneau, 1907", ce qui se passe dans les installations de la Northwestern Iron Co, à Mayville, Wis. (1)

« Au cours des cinq dernières années, nous avons construit aux usines ci-dessus environ 25.000 m³ de béton de laitier pour différents usages et nous n'avons jamais entendu parler d'un mécompte imputable au laitier.

« Notre puits de refroidissement de la lingotière représente probablement les conditions les plus dures auxquelles nos bétons de laitier ont à faire face. La fonte rougie est descendue dans le puits et l'eau froide dont il est rempli est rapidement portée au point d'ébullition. Le puits est à nouveau rempli d'eau froide à la fin de l'opération et comme celle-ci se renouvelle toutes les 2 heures, le béton, par son contact direct avec l'eau bouillante et la vapeur, est dans un état de dilatation et de contraction perpétuel. Jusque maintenant, il n'y a aucune apparence de fissure et les parois du puits se présentent comme au jour du décoffrage. »

France.

On a étudié l'emploi, pour l'enrobage contre l'incendie des charpentes métalliques, des *bétons de laitier granulé ultra légers*, obtenus à l'allure de moulage.

Ces bétons légers présentent *une résistance au feu remarquable*, alors que les aërocrètes et bétons cellulaires y résistent mal ; de plus ils procurent un isolement excellent de la charpente métallique. Il n'y a aucun risque de corrosion à redouter si les charpentes ainsi protégées sont à l'abri de l'humidité et surtout si elles sont convenablement peintes au minium. (2)

Ce qui précède trouve sa confirmation dans les résultats des essais effectués à Bellevue, dans un esprit pratique, par l'organisme officiel

(1) Sanger : "Slag, booklet of Cleveland Furnace Co, 1907.

(2) D'une lettre du 1^{er} Juin 1932, de M. J. Cleret de Langavant, à l'auteur de cette brochure.

* COMITÉ TECHNIQUE DE LA PRÉVENTION DU FEU », ressortissant au Ministère de l'Instruction publique. - Voici, en effet, ce que nous lisons à ce sujet dans les rapports de M. Benoist, Ingénieur des Arts et Manufactures, publiés récemment dans l'organe gouvernemental " RECHERCHES ET INVENTIONS " :

Essais du 28 Avril 1931. — " L'allure de la courbe de la poutrelle en acier enrobée de 5 c/m. de béton de laitier (300 kgs de laitier granulé par m³ de ciment) et chauffée pendant 4 heures à une température de 1050° centig., montre une continuité dans la protection qui s'est maintenue jusqu'à la fin de la chauffe.

Les poutrelles enrobées de laitier ne semblent pas avoir été endommagées par l'action du feu et le béton d'enrobage paraît avoir la même consistance qu'avant les essais. Pour les poutrelles enrobées de béton calcaire, la partie supérieure de l'enrobage se désagrège et tombe pulvérisée.

Essais du 15 Octobre 1931 — Epreuve de 3 poutrelles en acier I.P.N. enrobées de plâtre ou de béton de laitier (300 kgs de ciment de laitier par m³ de laitier granulé) :

• A la température de près de 1200°, après 2 h. 1/2 de chauffe suivies d'un puissant arrosage d'une durée de 4 minutes effectué 4 minutes après l'arrêt de la chauffe, la poutre revêtue de laitier avait été moins atteinte que celles enrobées de plâtre et le matériau avait conservé une certaine solidité.

Allemagne.

a) Conclusion d'une étude approfondie intitulée : *La façon dont se comporte aux températures élevées, le béton de laitier de haut fourneau* par le Dr RICHARD GRUEN et le Dr HUGO BEEKMANN et dont il a été question dans une communication du Groupe Professionnel des Fabricants de Ciments Portland Artificiels de Belgique, en date du mois d'Avril 1930 : (1)

" A raison des dimensions toujours plus grandes des constructions modernes, surtout en hauteur, la question de l'incombustibilité ou de la résistance du béton à l'action du feu prend de plus en plus d'importance.

" En effet, l'augmentation de la hauteur fait que non seulement la pression sur les parties portantes s'accroît sans cesse, mais qu'on demande en plus à ces dernières de résister pendant plusieurs heures à l'action d'un feu intense sans s'écrouler.

(Voir pages 13 et 14 ci-après les tableaux des essais qui justifient cette conclusion.)

« Nos études ont confirmé l'opinion souvent exprimée, à savoir qu'au point de vue des hautes températures, les matériaux quartzeux sont les moins désignés comme agrégats du béton.

En même temps, nous avons constaté que de tous les bétons essayés, c'est celui de laitier de haut fourneau qui, à l'action du feu, offre les moindres diminutions de la résistance initiale. — A ce sujet, il importe peu que le laitier soit mélangé au ciment après broyage ou soit employé comme matière inerte du béton.

Cela permet de conclure qu'au point de vue de la résistance à l'action du feu, le béton optimum est celui fabriqué à l'aide d'un laitier compact et résistant (gradué suivant la courbe des poids volumétriques ou celle de Fuller (1)), avec utilisation d'un liant à base de laitier.

b) Les essais effectués en Allemagne par le Dr Kurt Endel sur des agrégats pour béton, comprenant du laitier de haut fourneau, du granit, du basalte, du porphyre et du quartz ont fait l'objet des conclusions ci-après, d'après le journal "*Rock Products*", du 16 Octobre 1926 :

« Le quartz et le granit se sont dilatés à une température de 930° F. et ont alors subi une altération accompagnée de fissures de la matière. Outre que l'expansion du basalte et du laitier de haut fourneau est moindre que celle des dits matériaux, elle se développe plus uniformément.

» Le résultat pratique de ces recherches est que pour les constructions devant résister au feu, il faut rejeter les mélanges contenant du quartz et employer des agrégats composés de laitier, de basalte ou de pierres calcaires, étant donné l'expansion lente et uniforme de ces matières. »

(1) La graduation établie par Fuller en 1907 correspond sensiblement à celle des bétons de la grande conduite d'eau romaine, d'une longueur d'environ 100 kilomètres, construite au début de l'ère chrétienne et qui, perdant de nombreux siècles, a assuré l'alimentation en eau potable de la ville de Cologne.

D'après Fuller, 32 % des matières inertes doivent être des éléments d'une dimension ne dépassant pas le 10^{me} de celle des éléments les plus volumineux entrant dans le béton. Un mélange dont les plus gros éléments auront 70 m/m comprendra donc 32 % d'éléments d'une grosseur non supérieure à 7 m/m.

TABLEAUX

annexés au Rapport de MM. R. Grün et H. Beekmann
dont question à la page 11 ci-avant

Influence de la chaleur sur la résistance à la compression de
bétons de ciment de laitier de haut fourneau dont les
agrégats sont ou des pierres naturelles de
différentes espèces ou du laitier
de haut fourneau concassé.

A

(Dosage 1 : 4 et mélange d'après la courbe de Fuller)

Age des éprouvettes : 4 jours (3 jours dans l'eau et 1 jour à l'air)

Résistances du béton à la compression (en kg/cm ²)	Pierres naturelles				Laitier de haut fourneau (1)					
	Sable quartz	Basalte	Granit	Calcaire	Rh	Gm	Vn	Gh		
Avant chauffe	391	275	194	292	334	245	281	339		
100°	454	306	199	314	355	216	309	333		
300°	Refrondissement	lent	452	314	233	426	482	336	543	466
		rapide	255	210	165	219	279	172	297	274
500°	Refrondissement	lent	189	132	135	212	279	146	335	272
		rapide	126	96	108	166	173	102	206	221
700°	Refrondissement	lent	97	58	60	82	111	98	149	127
		rapide	73	56	48	52	107	81	133	99
900°	Refrondissement	lent	63	18	21	36	49	48	41	49
		rapide	35	13	15	0	31	22	32	24

Remarque : A la température de 700°, la résistance des bétons de laitier
est encore de 30 à 50 % de la résistance avant chauffe, tandis que pour les bé-
tons de pierres naturelles elle n'est plus que de 20 à 30 %.

(1) Voir page 14, la composition chimique de ces laitiers.

B

(Au dosage 1 : 4 et mélange d'après la courbe des poids volumétriques (1))

Age des éprouvettes : 4 jours (3 jours dans l'eau et 1 jour à l'air)

Résistances du béton à la compression (en kg/cm ²)	Pierres naturelles			Concassés de laitier			
	Basalte	Granit	Calcaire	Rh	Vn	Gh(2)	Me
Avant la chauffe, . . .	203	193	214	294	253	259	272
Après chauffe de 2 h. à							
100°	194	235	229	346	272	284	292
300°	283	300	463	438	477	395	409
500°	248	272	358	351	362	357	294

Remarque : La température accroît les résistances, fait que les rapporteurs attribuent à l'emploi de ciment de haut fourneau. - A 300° elles ont augmenté de 50 à 90 % pour les laitiers; cette augmentation est moindre pour les pierres naturelles, sauf pour le calcaire.

Composition chimique des concassés de laitier employés pour les essais consignés dans les tableaux A et B ci-dessus.

Échan- tillons	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	FeO %	MnO %	CaO %	MgO %	CaS %	CaSO ₄ %
Rh	33,56	12,61	1,41	2,73	39,73	8,95	4,41	0,20
Gm(2)	36,05	11,96	0,91	3,48	31,15	9,91	6,35	0,15
Vn	32,58	17,86	1,06	0,24	38,74	2,66	6,71	0,15
Gh	34,20	14,32	1,37	3,42	39,21	4,33	2,98	0,17
Me	32,82	15,62	1,80	3,67	36,65	4,64	4,65	0,15

(1) Dans le mélange suivant la courbe des poids volumétriques, les matières inertes sont plus fines que dans le mélange d'après la courbe de Fuller.

(2) Laitier léger et spongieux ne répondant pas aux normes officielles.

V
LA LONGÉVITÉ
DES CONCASSÉS ET DES BÉTONS DE LAITIER

A
Concassés de Laitier

Le meilleur argument à invoquer en faveur de la stabilité d'un agrégat est sans aucun doute la manière dont il se comporte comme matière filtrante dans les bassins d'épuration. Ici, les éléments supérieurs éprouvent toutes les températures extrêmes possibles, y compris les alternatives de gel et de dégel, de temps humide et de temps sec, ainsi que les effets destructifs provenant de la destination des installations, effets souvent accrus par la présence dans les liquides à épurer, de déchets industriels acides.

Or, l'étude de M. C. Hommon ⁽¹⁾ a établi que sur 37 bassins d'épuration où le laitier sert de matière filtrante, il y en a 16 qui ont fonctionné pendant 10 à 21 ans. Cette étude englobait tous les bassins filtrants rencontrés aux Etats-Unis et la plus grande attention a été apportée aux 3 formes de détérioration possibles : l'éclatement, la désagrégation et l'écaillage.

Dans 29 des cas étudiés, on n'a relevé ni désagrégation, ni écaillage et aux endroits où ces phénomènes se sont produits, il a fallu examiner les matériaux de bien près pour les y découvrir. La même situation existait dans 26 installations au sujet de l'éclatement.

Là où on a pu déceler quelques cas d'éclatement et de désagrégation, la quantité totale de laitier affectée était tellement minime qu'il n'en résultait aucun inconvénient pour le fonctionnement des filtres.

Bien que plusieurs morceaux de laitier fussent écaillés, ils ne donnaient pas en poids une quantité plus élevée que les éléments éclatés et désagrégés.

(1) Etude publiée dans l'ouvrage de M. C. Hommon intitulé : " Report on Crushed Blast Furnace Slag as Medium in Sewage-Trickling Filters, " 1929.

B

Bétons de Laitier

A l'exemple des concassés de laitier, c'est également dans les bassins filtrants que le béton de laitier rencontre les facteurs les plus contraires à sa conservation. On l'emploie pour les murs et le radier des filtres, ainsi que pour les réservoirs de retenue primaires et secondaires. Ces travaux sont exposés à tous les agents atmosphériques et climatiques ; ils ont de plus à subir des alternatives d'imbibition et de séchage, de gel et de dégel, dérivant des conditions d'emploi des installations auxquelles ils appartiennent.

De par leur destination même, les conduites d'évacuation ont naturellement pour effet de provoquer la détérioration prématurée des matériaux ; pourtant le béton de laitier a été un succès complet pour ce genre de travaux, dans 19 installations de filtrage aux Etats-Unis, malgré les variations de température qui caractérisent les Etats de New-York, de Pennsylvania, d'Ohio, d'Alabama et de Tennessee.

VI

L'ACTION DU LIANT SUR LES AGRÉGATS DE LAITIER

DANS LES BÉTONS

Grâce aux faces rugueuses et anguleuses des éléments de laitier, ceux-ci possèdent sur les autres matériaux, des avantages bien marqués au point de vue de l'adhérence du mortier et des agrégats^{(1) (2)}. De fait, les essais du béton de laitier ont très rarement accusé une rupture des joints.

(1) Les graviers tels qu'on les extrait des rivières ont les faces extraordinairement lisses et de plus sont très sensibles aux chocs. Pour la première de ces raisons, ils n'adhèrent pas au mortier aussi fixement que les matériaux à surface rugueuse et pour la seconde, ils sont moins désignés que ces derniers pour la confection des bétons soumis aux chocs. Dans la construction des routes, il est donc recommandable d'utiliser du laitier de haut fourneau, du granit, ou des pierres analogues, tout au moins pour la couche supérieure.

(Voir Dr Richard Gruen : « Le Ciment de haut fourneau », 1928).

(2) « A raison de leur plus grande adhérence, les bétons de pierrailles ont une meilleure résistance à la traction, à la compression et au choc que les bétons de cailloux ». (Voir G. Magnel : « Pratique du calcul du béton armé » 1^{re} part. Edition 1931.)

M. Sanford E. Thompson (1) écrit à ce sujet :

“L'examen des échantillons de bétons de laitier où la rupture s'est produite à travers les éléments indique que l'adhérence du mortier et des agrégats est particulièrement grande. Il est probable que cela est dû en partie à la nature rugueuse du laitier, mais plus encore à une réaction chimique ultérieure qui a rendu plus intime le contact entre le liant et l'agrégat, ainsi qu'en témoigne l'arc d'une couleur spéciale qui s'est formé autour des arêtes des éléments de laitier. ”

VII

L'ÉLASTICITÉ DU BÉTON DE LAITIER

Les constructions ont à subir des vibrations et des chocs et les routes doivent être capables de résister à l'impact du trafic. L'élasticité du béton est donc une condition essentielle, quelle que soit la destination de celui-ci.

Le Prof. Curtis C. Myers, de l'Université de Cincinnati, a établi (voir son ouvrage: *Le laitier comme agglomérat dans le béton*) que le béton de laitier (composition de 1 : 2 : 4) est plus élastique que le béton de pierre calcaire ou de gravier. Des cubes de 5 pouces de côté ont été essayés à l'aide d'un mouton de 25 lbs tombant d'une hauteur de 15 pouces, les chocs étant concentrés sur un espace d'un pouce de diamètre.

Le béton de gravier a résisté à 6 coups, celui de pierre à 7 coups et celui de laitier à 10 coups, avant rupture. On a essayé en même temps des barres de béton composées d'agrégats de laitier et de pierre, la hauteur de chute du mouton étant augmentée à chaque coup.

Le béton de pierre a subi 8 coups avant de se rompre et le béton de laitier 12. Les 4 coups en plus donnés sur le béton de laitier étaient tous plus violents que ceux ayant causé la rupture du béton de pierre.

(1) S. E. Thompson "Slag as Concrete Aggregate", p. 107, Proc. A. C. I., 1917.

VIII

LE LAITIER EMPLOYÉ COMME AGRÉGAT FIN (1)

Des expériences ont été faites en vue d'introduire dans le béton les plus petits calibres de laitier (concassé ou granulé) en remplacement du sable naturel et des bâtiments solides et durables ont été et sont construits de cette façon.

Les essais à 90 jours effectués par le Bureau des Routes des États-Unis ont donné, au triple point de vue de la résistance à la compression, à la traction et à l'usure, les résultats les plus satisfaisants pour un béton constitué uniquement par du laitier.

Ils ont porté sur : 9 bétons de gravier, 10 bétons de pierre et 4 bétons de laitier au sable naturel (composition 1 : 1,5 : 3) et 1 béton tout laitier avec poussier de laitier refroidi à l'air.

En prenant 100 comme moyenne de tous les bétons essayés, l'indice attribuable à chacun séparément est donné dans le tableau ci-dessous.

Sauf une exception, le béton tout laitier a accusé des résistances plus élevées et une usure moindre que les bétons comprenant du sable naturel.

Nature du béton (2) (à 90 jours)	RÉSISTANCE		
	à la compression	à la traction	à l'usure
1. Tout laitier	104	138	68
2. Moyenne de 3 bétons de laitier	101	112	88
3. " 10 " pierre	105	97	97
4. " 9 " gravier	93	93	104

(1) Voir Jackson and Pauls: "Accelerated Wear Tests of Concrete Pavements," Proc. A S T. M. 1924.

(2) Les bétons 2 à 4 sont au sable naturel.

IX — LES CALIBRES DE LAITIER CONCASSÉS
LES PLUS USUELS
(Grandeur naturelle)

I
Poussier de 0/5 mm.



II
Poussier de 0/8 mm.



III
Plaquettes de 5/15 mm.



IV
Plaquettes de 10/20 mm.



V
PIERRAILLES DE 20/40 mm. (Type I)



VI
PIERRAILLES DE 20/40 mm. (Type II)



VII
CONCASSÉS DE 40/60 mm



VIII

(BALLAST FOURNI A LA Sté N^{le} DES CHEM. DE FER BELGES)



IX
CONCASSÉS AU-DELA DE 60 mm.



Définition du calibrage

La désignation du calibre ou volume des concassés se fait au moyen de deux dimensions extrêmes.

En pratique, les concassés d'un calibre donné sont les morceaux ayant passé par le crible à trous d'un diamètre de la dimension exprimée en *second lieu*, mais n'ayant pas passé par le crible à trous d'un diamètre de la dimension exprimée en *premier lieu*. Cette règle admet naturellement certaines tolérances.

Abstraction faite des tolérances, un calibre de 5/20 mm., par exemple, signifie donc que, lors du criblage, les éléments n'ont pas passé par un trou de 5 mm., mais ont passé par un trou de 20 mm. de diamètre.

RENSEIGNEMENTS DIVERS

1. Poids volumétriques de matériaux pour bétons.

DÉSIGNATION DES MATÉRIAUX	REFUS sur tamis à 400 mailles ou CALIBRE	Poids au m ³ sec		Vides à sec		Module de finesse moyen (1)
		non tassé kgs	tassé kgs	non tassé o/o	tassé o/o	
1. Ciment de haut fourneau . . .	7.6 o/o	1175	1600	—	—	—
2. Ciment de laitier . . .	10.3 o/o	825	1265	—	—	—
3. Sable du Rhin . . .	0/5	1600	1700	40	36	2,8
4. Sable de Meuse . . .	0/5	1650	1850	37	30	2,5
5. Poussier de porphyre . . .	0/2	1350	1800	48	32	2,5
6. Poussier de laitier	0/2	1280	1675	50	31	2,5
7. Gravier du Rhin . . .	5/20	1550	1750	40	33	6,4
8. Gravier de Meuse	»	1600	1750	38	33	6,4
9. Gravier de Meuse (concassé) . . .	»	1370	1650	49	36	6,8
10. Plaquettes de porphyre . . .	»	1300	1550	51	47	6,5
11. Laitier concassé . . .	»	1250	1450	53	45	6,3

(Les indications ci-dessus sont empruntées à l'ouvrage de M. G. Magnel intitulé : « *Pratique du calcul du Béton armé* », 1^{re} partie, édition 1931, sauf les chiffres relatifs au poussier de laitier n° 6).

2. Capacité d'absorption d'eau (en o/o du poids)

- a) Concassés de laitier 0.50 à 1.40 o/o
 b) » de carrière 0.40 à 1.20 o/o
 c) » de gravier 1.80 o/o
 (d'après H. Burchartz et G. Saenger).

N.-B. - Dans les formules de composition de béton, on indique en poids le ciment et en volume les agrégats.

Un béton à 1 : 1 : 2 sera donc (au dosage de 400 kgs de ciment) un béton à 400 litres d'agrégats fins et 800 litres d'agrégats gros.

Dans les agrégats fins, les grains varient de 0 à 5 mm. et au plus 7 mm. Dans les agrégats gros, les éléments dépassent 5 à 7 mm.

(1) Voir page 13 de la 1^{re} partie de cette division, la définition de l'expression « module de finesse ».

TABLE DES MATIÈRES

DE LA DIVISION E.

PREMIÈRE PARTIE

I. Composition du laitier de haut fourneau	2
II. Qualités d'un béton	3
Résistances des bétons et concassés de laitier .	
III. à la traction	5
IV. à la compression	6
V. à la traction et à la compression	11

DEUXIÈME PARTIE

I. Le laitier pour le cuvelage des puits de mines .	1
II. Le laitier pour le ballastage des voies de chemins de fer	2
III. L'action du laitier de haut fourneau sur le fer .	2
IV. L'action du feu sur les bétons de laitier de haut fourneau	7
V. La longévité des concassés et des bétons de laitier de haut fourneau	15
VI. L'action du liant sur les agrégats de laitier dans les bétons.	16
VII. L'élasticité du béton de laitier	17
VIII. Le laitier employé comme agrégat fin	18
IX. Les calibres de laitier concassés les plus usuels	19
X. Quelques données techniques au sujet des matériaux pour bétons	23