

QUESTION N° 15

QUATRIEME CONGRES
DES GRANDS BARRAGES
NEW DELHI, 1951

CAMPUS
BELGIQUE

EPREUVE
Reproduction interdite

BETON POUR GRANDS BARRAGES (*)

F. CAMPUS

Membre du Comité belge des grands barrages

1. — EXPERIENCES FAITES EN BELGIQUE SUR LES
CIMENTS METALLURGIQUES (CONTENANT DU LAITIER
BASIQUE DE HAUT FOURNEAU)

Parmi les diverses catégories de ciment normalisées en Belgique (1), il en existe trois qui sont considérées comme appropriées pour l'emploi dans le béton pour grands barrages, parce qu'elles concernent des ciments à faible teneur en chaux et grand pouvoir d'hydraulicité et à faible dégagement de chaleur. Ils sont composés en majeure partie de laitier basique granulé de haut fourneau et se distinguent précisément par la proportion de laitier. Ce sont les catégories suivantes :

- I. *Ciments de haut fourneau* (HF) (2), produit de la mouture homogène d'un clinker de ciment portland et de laitier granulé par refroidissement brusque, dans la proportion d'au moins 30 % et d'au plus 70 % de laitier. La teneur en SO^3 ne peut dépasser 3 %.
- II. *Ciments permétallurgiques* (PM) (3) : comme précédemment, mais la proportion de laitier dépasse 70 % et la teneur en SO^3 est inférieure à 5 %.
- III. *Ciments métallurgiques sursulfatés* (MS) (4) : formés en proportion prédominante de laitier et d'une proportion de sulfates telle que la teneur en SO^3 dépasse 5 %; il peut y avoir, en faible proportion, des additions de clinker et de ciment portland.

Ces ciments sont à mouture fine, sauf éventuellement les permétallurgiques. Dans les catégories I et III, on définit le ciment

(*) *Concrete for large Dams.*

normal (N) et le ciment à haute résistance (HR), qui diffèrent par la finesse de mouture et par les résistances requises. Pour les ciments de haut fourneau et pour les ciments métallurgiques sursulfatés, les spécifications pour les résistances sont les mêmes que les ciments portland correspondants (c'est-à-dire N ou HR). Pour le ciment permétallurgique normal (PMN), le seul qui soit normalisé complètement, les résistances requises sont moindres, mais la norme permet la production de ciment permétallurgique spécial (PMS) répondant à des spécifications particulières.

Ces ciments sont produits et utilisés en grandes quantités et pas seulement pour les bétons de barrages. Pour ce dernier usage, il est possible de compléter les normes par des spécifications particulières, par exemple pour limiter la proportion de chaux et la quantité de chaleur dégagée pendant le durcissement. Ils sont couramment utilisés en Belgique pour les travaux hydrauliques et maritimes (écluses, murs de quai, etc.), dont les bétons ne sont pas sans analogie avec les bétons de barrages.

Les résultats résumés ci-après sont extraits des compte-rendus (5) d'un important essai comparatif effectué pour éprouver la résistance à l'eau de mer des divers ciments d'usage courant en Belgique. Il a été entrepris en 1934 à la demande de l'administration des Ponts et Chaussées. Des éprouvettes de mortier et de béton ont été immergées dans la mer à Ostende, à mi-marée. Des éprouvettes-témoins ont été conservées dans l'eau potable et dans une solution de sulfate de magnésie cristallisé à 15 grammes par litre.

Parmi les dix ciments essayés, cinq appartiennent aux catégories précitées :

un ciment de haut fourneau à haute résistance..	HFHR
un ciment de haut fourneau normal	HFN
un ciment permétallurgique normal	PMN
un ciment métallurgique sursulfaté normal	MSN
un ciment permétallurgique spécial	PMS

Les éprouvettes de mortier, de $4 \times 4 \times 16$ cm., contenaient 300, 450 ou 600 kg. de ciment pour 1.500 kg. de sable 0/2 mm., avec 11 % d'eau en poids des matières sèches.

Les éprouvettes de béton étaient des cubes de 16 cm. de côté, au dosage suivant :

1.250 kg. de gravier 5/15 mm., 630 kg. de sable 0/2 mm., 350 kg. de ciment et 158 litres d'eau en moyenne.

ANALYSE CHIMIQUE DES CEMENTS

	Perte au feu %	% CaO	% SiO ₂	% R ₂ O ₃	% MgO	% SO ₃	% S
HFHR ...	3.92	51.90	22.40	16.25	1.39	2.35	1.60
HFN	2.50	41.70	23.80	25.20	2.11	2.38	1.85
PMN	3.42	46.30	23.95	18.10	2.81	2.93	1.95
MSN	8.80	38.90	24.10	16.50	2.94	6.67	2.12
PMS	4.68	40.50	25.50	20.40	2.10	2.95	2.19

ESSAIS NORMAUX

		HFHR	HFN	PMN	MSN	PMS
Résistance à la traction (kg./cm ²)	à 3 j.	28,3	25	23,5	16	25,9
	à 7 j.	34,3	32	26,4	28,8	34,2
	à 28 j.	37,0	36	35,1	32,9	41,6
Résistance à la compression (kg./cm ²)	à 3 j.	322	230	244	184	242
	à 7 j.	445	338	330	469	392
	à 28 j.	656	473	437	700	502
Finesse (résidu au tamis de 4.900 mailles %)	..	3	5,8	4,8	0,5	1,5
Eau pour pâte normale %.		26	26,5	27	29,5	27

Il ressort de ces résultats que la distinction industrielle entre les ciments de haut fourneau et les ciments permétallurgiques n'est pas toujours très nette. Les ciments essayés n'ont pas été approvisionnés spécialement en vue des essais, mais ont été prélevés sur des stocks existants dans des chantiers en activité à cette époque.

*Résistances à la flexion et à la compression des mortiers
Valeurs initiales communes à toutes les conservations*

	HFHR	HFN	PMN	MSN	PMS
RESISTANCE A LA FLEXION (KG/CM ²)					
Mortier à 300 kg. de ciment	36,4	34,7	29	44,4	36,7
Mortier à 450 kg. de ciment	54,4	56,6	46,3	68,4	46,8
Mortier à 600 kg. de ciment	64	63,6	62,5	79,1	57,4
RESISTANCE A LA COMPRESSION (KG/CM ²)					
Mortier à 300 kg. de ciment	165	160	116	185	179
Mortier à 450 kg. de ciment	361	360	256	389	329
Mortier à 600 kg. de ciment	483	467	386	567	426

Conservation dans l'eau potable pendant 11 ans

	HFHR	HFN	PMN	MSN	PMS
RESISTANCE A LA FLEXION (KG/CM ²)					
Mortier à 300 kg. de ciment	46,2	63,2	55,5	73,2	70
Mortier à 450 kg. de ciment	70,3	84	70	92,1	74
Mortier à 600 kg. de ciment	85,6	88,5	79,5	104,1	93

RESISTANCE A LA COMPRESSION (KG/CM²)

Mortier à 300 kg. de ciment	247	247	272	502	365
Mortier à 450 kg. de ciment	525	517	498	710	526
Mortier à 600 kg. de ciment	728	685	622	860	744

Conservation dans l'eau de mer pendant 11 ans

HFHR HFN PMN MSN PMS

RESISTANCE A LA FLEXION (KG/CM²)

Mortier à 300 kg. de ciment	15,2	0	0	0	0
Mortier à 450 kg. de ciment	36,4	77	57,3	79,8	84,1
Mortier à 600 kg. de ciment	82,3	91,5	75	107,1	106,8

RESISTANCE A LA COMPRESSION (KG/CM²)

Mortier à 300 kg. de ciment	95	0	0	0	0
Mortier à 450 kg. de ciment	360	468	280	344	413
Mortier à 600 kg. de ciment	454	591	433	705	623

*Conservation dans l'eau sulfatée pendant 11 ans*RESISTANCE A LA FLEXION (KG/CM²)

Mortier à 300 kg. de ciment	0	79	61,3	85,8	72,8
Mortier à 450 kg. de ciment	41	91,7	90,5	107,5	84
Mortier à 600 kg. de ciment	100,5	108,8	106	127,3	93

RESISTANCE A LA COMPRESSION (KG/CM²)

Mortier à 300 kg. de ciment	0	254	270	546	330
Mortier à 450 kg. de ciment	438	418	423	671	538
Mortier à 600 kg. de ciment	602	600	562	829	663

Résistance à la compression des bétons (kg./cm²)

	HFHR	HFN	PMN	MSN	PMS
Initiale	396	334	286	402	341
Après 11 ans dans l'eau potable	587	557	517	639	469
Après 11 ans dans l'eau de mer	524	588	548	812	580
Après 11 ans dans l'eau sulfatée	576	539	513	612	478

Chaleur de durcissement

On a mesuré, par la méthode de la bouteille Thermos, la quantité de chaleur dégagée en calories par gramme de ciment, déterminée sur pâte pure à 30 % d'eau et sur un mortier formé de 1.000 grammes de sable fin siliceux, 500 grammes de ciment et 250 grammes d'eau. Les résultats sont les suivants :

	HFHR	HFN	PMN	MSN	PMS
Calories par gramme de ciment en pâte	76,1	38,7	44,4	23,1	38,4
Calories par gramme en mortier	64,1	31,5	37,7	17	28,9

Retrait

On a déterminé le retrait jusqu'à l'âge de 365 jours sur des prismes de $2 \times 2 \times 10$ cm. de pâte normale et de mortier au dosage de 450 kg. de ciment pour 1.500 kg. de sable et 11 % en % du poids sec. On s'est servi de prismes de $10 \times 10 \times 50$ cm. pour les bétons du même dosage que celui employé pour les essais de résistance précités (voir plus haut).

Il y a eu trois groupes d'éprouvettes :

1° conservées à l'air à 75 % d'humidité environ et à 16° C;

2° conservées dans l'eau potable;

3° conservées dans l'eau à 15 grammes de sulfate de magnésie cristallisé par litre.

Les retraits mesurés sont les suivants (les valeurs négatives correspondant à des gonflements), en 10^{-4} :

Ciment	HFHR	HFN	PMN	MSN	PMS
PÂTE					
Air humide	31	29	31,25	27	26,5
Eau potable	8	10,5	7	—14	11
Eau sulfatée	9	4,5	5	—22	9,75
MORTIER					
Air humide	21	22	21,25	18,5	19,25
Eau potable	12	10,25	7,25	6,75	11
Eau sulfatée	4,5	9,5	4,75	— 4,5*	3,75
BETON					
Air humide	3,3	3,2	2,7	1,2	3,1
Eau potable	— 0,2	— 0,2	— 0,8	— 1,9	0,1
Eau sulfatée	— 1,1	— 1,1	— 1,3	— 2,5	— 1,3

* à 180 jours.

Perméabilité

Des essais de filtration ont été effectués à titre comparatif sur des mortiers composés de 1.400 kg. de sable fin siliceux sec (poids d'un mètre cube 1.400 kg., module de finesse 0,5), de 420 kg. de ciment et 290 litres d'eau. On a utilisé de l'eau distillée, de l'eau de la distribution urbaine de Liège et de l'eau distillée additionnée de 3 grammes de sulfate de magnésie cristallisé par litre.

Le détail de ces essais serait trop spécial et trop long à exposer dans ce rapport. Les résultats sont les suivants :

L'eau potable (analyse moyenne SiO_2 11,2 mgr/l, $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ 8,8 mgr/l, CaO 207 mgr/l, MgO 10,95 mgr/l, CO_2 19,6 mgr/l) colmate rapidement tous les ciments considérés dans ce rapport; la teneur du filtrat en CaO se stabilise rapidement à une valeur inférieure à 50 mgr par litre. L'eau abandonne donc presque tout son carbonate de chaux au béton.

L'eau sulfatée colmate aussi très rapidement tous les ciments considérés. La teneur en CaO et en SO³ du filtrat tend rapidement vers zéro.

Le débit d'eau distillée se stabilise après 200 heures de filtration. Il est sensiblement le même pour le HFHR, le HFN et le PMN. Il est moindre d'un tiers pour le PMS et inappréciable pour le MSN.

Après moins de 100 heures, la teneur en CaO du filtrat se stabilise entre 125 et 150 mgr./litre pour les ciments HFHR, HFN, PMN et PMS.

Quant à la perméabilité du ciment MSN, elle est pratiquement nulle dans tous les cas.

Le résumé qui précède des résultats des essais très importants entrepris en 1934 et qui se poursuivent toujours donne une idée concrète des propriétés des ciments considérés et de la manière la plus objective, car il s'agit d'essais effectués dans des conditions identiques, donc comparables, sur des ciments commerciaux prélevés dans des stocks de chantier, sans choix préconçu. A l'époque de la confection des éprouvettes, les qualités de ces ciments n'étaient pas encore officiellement normalisées, mais les spécifications appliquées ne différaient pas des normes récentes. D'ailleurs, les résultats des essais normaux indiqués plus haut satisfont amplement aux normes actuelles. Celles-ci sont donc susceptibles de conserver aux produits actuels les qualités qu'ils avaient en 1934 et dont ce qui précède donne une perspective assez exacte et complète.

II. — RECHERCHES ET EMPLOI DE BETON A HAUTE COMPACTITE POUR LES OUVRAGES HYDRAULIQUES, COMPORTANT DES AGREGATS DE GROSSES DIMENSIONS (6) (7) (8) (9) (10)

Le dernier barrage de réservoir construit en Belgique est celui d'Eupen, dans la vallée de la Vesdre. Il crée une chute de 57 m. Sa longueur est de 409 m. 45 et sa capacité utile est de 22,8 millions de m³ (capacité totale 24,8 × 10⁶ m³). Commencée en 1936, l'exécution a été prolongée en raison de la guerre jusqu'en 1949.

Initialement, l'intention était de le construire en moellons, avec un parement amont en maçonnerie de gros blocs de béton vibrés (10). Ces blocs devaient présenter une compacité très élevée et l'étude de la composition du béton de ces blocs fut demandée au laboratoire.

Pour réaliser des compacités maxima du béton durci, il faut :

a) Réaliser une compacité aussi grande que possible de l'agrégat sec, avec le minimum d'éléments fins, afin de diminuer la quantité d'eau nécessaire. Pour cela, il y a un moyen, celui d'augmenter la dimension des éléments les plus gros du ballast, ce qui est sans inconvénients pour des blocs assez volumineux (1,50 × 0,70 × 0,60 selon le projet primitif) ;

b) Ne pas utiliser une trop grande quantité de ciment, également pour pouvoir réduire la quantité d'eau;

c) Mouiller ce béton le moins possible. Dès lors, ce béton à gros agrégats compacts, sans excès de ciment et très sec, sera très raide et peu maniable ;

d) Disposer d'un moyen de tassement énergétique de ce béton, de manière à pouvoir le mettre en œuvre sans vides. Ce moyen existe, c'est la vibration.

Si toutes ces conditions sont remplies, la porosité totale du béton durci se réduira à la seule quantité d'eau non fixée par le ciment, qui représente de 30 à 35 % de la quantité d'eau totale. De là la nécessité de réduire la quantité d'eau au minimum, sans cependant que cela donne lieu à des vides. Au contraire, si le béton est bien composé, la vibration parviendra encore à en expulser une certaine proportion d'eau, augmentant d'autant sa compacité. C'est ce qui s'est produit pour le dosage ci-après :

Porphyre 40/80 mm.	1.050 kg.	} Densité 2.720 kg.
Porphyre 10/30 mm.	420 kg.	
Porphyre 2/5 mm.	172 kg.	
Sable siliceux 0/2 mm.	342 kg.	Densité 2.680 kg.
Ciment permétallurgique	350 kg.	Densité 2.900 kg.
Eau	128 kg.	

Des cubes de 40 cm. de côté ont été confectionnés sur table vibrante au moyen de ce béton.

Conservés à l'air, ils ont donné une résistance à l'écrasement de 350 et 363 kg./cm² à l'âge de 32 jours. Conservés sous des sacs de jute arrosés deux fois par jour, ils ont donné à 28 jours 369 et 382 kg./cm².

Une tranche de 10 cm. d'épaisseur sciée dans ce béton et soumise à une pression d'eau de 10 atmosphères a d'abord laissé suinter un peu d'eau, mais s'est entièrement colmatée après 4 jours de filtration (eau de la distribution urbaine de Liège).

Le poids théorique du m³ de béton frais est 2.462 kg. Le poids réel du m³ de béton durci et séché a été mesuré égal à 2.489 kg., ce qui établit que de l'eau a été expulsée par la vibration. La compacité du béton durci et desséché, contrôlée par trois méthodes différentes, a été trouvée égale à 0,955. L'une de ces méthodes opérait par dessiccation à l'étuve suivie d'une imbibition par l'eau chaude sous pression, en autoclave (6).

Le projet de construction du barrage en moellons a été abandonné et l'ouvrage a finalement été exécuté en béton massif, divisé en gros blocs imbriqués, en vue d'assurer un refroidissement rapide de la masse. Ces blocs avaient des dimensions de l'ordre de 6 m. de largeur, 2 à 3 m. d'épaisseur et 12 à 17 m. de longueur; ils étaient pervibrés à la fréquence de 6.000 cycles par minute.

Ceci a permis, suivant les principes exposés plus haut, d'augmenter les dimensions des agrégats les plus gros. Le quasi totalité du barrage a été exécutée au moyen du béton du dosage suivant :

455 litres de pierres 100/150 mm. (639 kg.),
 360 litres de pierres 40/80 mm. (511 kg.),
 292 litres de pierres 10/30 mm. (409 kg.),
 477 kg. de sable,
 230 kg. de ciment.

Au parement amont, la quantité de ciment a été portée à 350 kg. Les résistances à la compression exigées à 28 jours étaient respectivement de 230 et 350 kg. par cm².

Le ciment devait être, selon le cahier des charges, du ciment métallurgique provenant de la mouture d'un mélange de laitier basique granulé de haut fourneau et de clinker de ciment portland. La teneur en CaO devait être inférieure à 50 % et la chaleur dégagée en cal./gr. après trois jours, déterminée par la méthode de la bouteille Thermos, inférieure à 42 Cal. (la température initiale étant 20° C).

Les pierrailles concassées sont venues des carrières de grès de l'Ourthe et le sable était composé de 60 % de sable de rivière 0,3/5 m. et de 40 % de 0/0,5 mm. (module de finesse du mélange 2,62). Les compacités exigées, déterminées par l'essai à l'autoclave, dont il est question plus haut, étaient de 90 % pour le béton de masse et de 92 % pour le béton du parement amont.

Il était prescrit qu'un intervalle de 48 heures au moins devait être laissé entre le bétonnage de deux blocs contigus et que le bétonnage devait être réglé d'une façon continue en hauteur sur toute la largeur du barrage. De la sorte, un laps de temps suffisant était écoulé entre le bétonnage de deux assises superposées pour que le retrait de l'assise inférieure ait pu avoir lieu en grande partie avant son recouvrement et pour que la chaleur de durcissement ait pu être dissipée. A la fin de 1938, la température maximum des blocs ne dépassait pas 22° C et en plein été de 1939, à la cadence de 1.500 m³ de béton par jour, elle ne dépassa pas 28° C.

La quantité de béton mise en œuvre, selon le projet, s'élève à 394.000 m³. Il a été mis en place en majeure partie au moyen de bennes à portes latérales transportées par deux grues à câbles de 6 tonnes et de 450 m. de portée. Le béton et le ciment ont donné toute satisfaction et c'est le premier ouvrage dans lequel on a mis en œuvre par pervibration en Europe un béton à aussi gros éléments. Pour plus de détails, on consultera la référence (10) de l'index bibliographique.

On trouvera aussi dans la référence (8) des indications sur les essais effectués au laboratoire en 1938-1939 pour déterminer les limites de compacités réalisables au moyen de bétons vibrés à gros éléments (vibration sur table vibrante à 3.000 cycles par minute).

On a abouti au dosage suivant :

Calcaire	160/200 mm.	1.194 kg.
Grès	40/60 mm.	327 kg.
Porphyre	5/20 mm.	517 kg.
Sable	0/2 mm.	235 kg.
Ciment portland normal.		235 kg.
Eau		82 kg.

Poids du mètre cube : 2.590 kg.

Compacité à l'état sec : 0,967.

Résistance à la compression sur cubes de 40 cm. de côté :

à 7 jours :	365 kg./cm ² ,
à 16 jours :	391 kg./cm ² .

Ce béton a fait l'objet d'une communication avec essai de compression le 20 juillet 1939 à la Section du Génie Civil de la 63^e Session de l'Association française pour l'avancement des Sciences, à Liège. Il semble difficile d'atteindre une compacité expérimentale plus élevée.

III. — NOUVEAUX DEVELOPPEMENTS DANS L'EMPLOI DU LAITIER BASIQUE GRANULE DE HAUT FOURNEAU POUR LA PRODUCTION DE CIMENTS HYDRAULIQUES

Les deux paragraphes qui précèdent établissent la confiance qui peut être accordée aux ciments métallurgiques normalisés et contrôlés pour la confection de béton convenant pour les grands ouvrages massifs hydrauliques. Cependant ces résultats ne peuvent être obtenus industriellement qu'au prix d'un soin de fabrication très attentif. Le laitier basique n'est qu'un sous-produit du haut fourneau, dont le but principal est la production contrôlée de la fonte; sa composition est de ce fait variable. Sa granulation doit être bien faite. D'autre part, l'obtention de résistances et d'une activité suffisantes, avec le minimum de clinker, pour réduire la teneur en chaux et la quantité de chaleur dégagée, exige une mouture très fine. Or, le laitier est dur, abrasif et difficile à broyer à sec. Des usines expérimentées et puissantes sont arrivées à maîtriser tous ces facteurs et à fournir des produits de qualité régulière par une fabrication bien mise au point.

Un industriel belge, M. V. Trief, a fait breveter un nouveau mode de broyage, par voie humide, qui permet, avec une dépense d'énergie considérablement moindre, un broyage à une finesse très grande et très régulière. Le broyage par voie humide empêche l'échauffement de la masse et l'empâtage des corps broyants. Originellement, la boue liquide inactive de laitier broyé est activée au moment de la mise en œuvre par l'addition d'une certaine quantité de ciment portland et mélangée dans la bétonnière, en proportion voulue, au gravier et au sable. On peut ainsi produire des bétons d'un dosage quelconque contenant un ciment très fin et très actif,

mais peu riche en chaux et dégageant peu de chaleur. La nature de ce ciment et de ce béton a fait l'objet de communications au Congrès international des grands barrages à Stockholm en 1948 en raison de son emploi pour la construction du grand barrage de Bort-les-Orgues, en France. Auparavant, ce béton était employé en Belgique depuis de nombreuses années pour la confection d'éléments préfabriqués, notamment pour la confection de claveaux servant au revêtement de galeries de charbonnages.

Plus récemment, avant l'application au barrage de Bort-les-Orgues, M. Trief a perfectionné ses dispositifs mécaniques de broyage afin d'assurer une régularité de finesse de mouture et de concentration de la pâte de laitier broyé, en prévoyant des réglages qui effectuent les corrections rendues nécessaires par les variations corrélatives du poids spécifique et de la dureté du laitier et la variation d'humidité. Le premier réglage fait varier le poids broyé par unité de temps, en vue de maintenir la finesse quasi constante; le deuxième maintient constante la quantité d'eau de la pâte. On atteint une finesse de l'ordre de 3.500 cm² de surface spécifique (par gramme), sans dépasser une température de 30 à 45° C. Selon M. Trief, l'avantage d'une aussi grande finesse est d'atténuer l'effet des variations de composition chimique du laitier et des imperfections de granulation. En d'autres termes, le choix des laitiers devient moins important.

L'utilisation directe de la pâte inactive de laitier broyé pour la confection de béton actif sur le chantier est pratiquement possible sans inconvénients sur un grand chantier de barrage, moyennant une bonne mise au point et un contrôle permanent bien organisé (11). Mais pour un usage plus universel, l'emploi sous forme de pâte présente l'inconvénient d'un stockage, d'un emballage et d'un transport difficiles et de la difficulté pratique de procéder à des essais de réception, usuels pour les ciments fournis en poudre sèche.

M. Trief a récemment mis au point un procédé de dessiccation de la pâte de laitier broyé et de sa mise en dispersion sous forme de poudre fine et sèche. Sous cette forme, elle peut être conservée indéfiniment sans altération, étant inactive. Elle peut être ensilée, emballée et transportée comme tous les ciments en poudre sèche. La poudre très fine et sèche de laitier sera rendue active par addition d'un catalyseur au moment de la mise en œuvre. La qualité de la poudre activée pourra faire l'objet d'essais préalables de contrôle. Cette technique, par l'économie réalisée dans le broyage, sa régularité, la grande finesse et la valorisation des laitiers de moindre qualité, semble devoir ouvrir des perspectives encore plus assurées à l'emploi des ciments métallurgiques pour les bétons massifs des grands ouvrages hydraulique, notamment des grands barrages.

D'origine entièrement belge, elle ajoute un progrès important à l'état déjà remarquable auquel l'industrie et la technique belges ont élevé l'utilisation des bétons à base de ciments métallurgiques.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

- (1) Association belge pour l'étude, l'essai et l'emploi des matériaux. — Rapport de la Commission des liants hydrauliques. — Appellations et définitions des liants hydrauliques. — Revision 1938.
- (2) Institut belge de normalisation. — Norme NBN 130 - 1949.
- (3) » » » » » » 131 - 1949.
- (4) » » » » » » 132 - 1949.
- (5) F. Campus. Essais sur la résistance des mortiers et bétons à l'eau de mer. — Synthèse des résultats de 1934 à 1945. — Annales des Travaux Publics de Belgique, août 1947.
- (6) R. Dantinne et R. Jacquemin. — Mesure de la compacité des bétons. — Revue Universelle des Mines, Liège, octobre 1937.
- (7) F. Campus. — Remarques additionnelles sur l'intérêt des déterminations de compacité. — Revue Universelle des Mines, Liège, octobre 1937.
- (8) F. Campus. — Bétons compacts pour ouvrages massifs hydrauliques. — 63^e Session de l'A.F.A.S., Liège 1939. — Bulletin C.E.R.E.S., Liège, tome II, 1947.
- (9) F. Campus. — Réalisation de bétons compacts par vibration. — Publication finale du 3^e Congrès de l'Association internationale des Ponts et Charpentes, Liège, 1948.
- (10) L. Van Wetter et J. de Clercq. — Le barrage-réservoir de la Vesdre à Eupen. — Annales des Travaux Publics de Belgique, février et avril 1948.
- (11) M. Mary. — Le barrage de Bort. — Annales des Ponts et Chaussées, Paris, n^o 2, mars-avril 1949.

RESUME

En Belgique, trois catégories normalisées de ciments à base de laitier granulé basique de haut fourneau sont appropriées pour les bétons de grands barrages : le ciment de haut fourneau, le ciment permétallurgique et le ciment sursulfaté. Les résultats d'un important essai entrepris en 1934 sont relatés brièvement; ils concernent le retrait, le dégagement de chaleur, la perméabilité et les résistances de mortiers et bétons jusqu'à l'âge de onze ans, conservés de diverses manières (eau potable, eau de mer et eau sulfatée).

Pour la construction du plus récent grand barrage édifié en Belgique, il a été fait usage pour la première fois en Europe d'un béton à gros éléments (jusque 150 mm.), contenant du ciment permétallurgique. Il a été mis en place par vibration. On donne la relation d'essais préliminaires et d'autres sur des bétons très compacts contenant des éléments jusqu'à 200 mm.

Un nouveau procédé de broyage du laitier granulé par voie humide a été mis au point en Belgique. Déjà utilisé pour la construction d'un grand barrage en France, il ouvre, par des développements récents, de nouvelles perspectives pour l'emploi des ciments métallurgiques.

SUMMARY

In Belgium, three standard categories of cements containing granulated basic blast-furnace slag are appropriated for large dams concrete. They are called : blast-furnace cement, permetallurgical cement and supersulphated cement. The results of important series of tests, beginning in 1934, are briefly related. They concern shrinkage, heat development, permeability and the ultimate stresses, till eleven years, of mortars and concrete stored in various conditions (drinkwater, sea-water and sulphated water).

For the erection of the latest large dam built in Belgium, use has been made, for the first time in Europe, of concrete with large agregates (till 150 mm.), containing permetallurgical cement. It has been compacted by vibration. Preliminary tests are related and others concerning concrete of high compacity containing pebbles as large as 200 mm.

A new process of wet milling of granulated slag has been initiated in Belgium. Already used for the construction of a large dam in France, his latest developments open new prospects for the use of metallurgical cements.