

***POZZOLANAS AND SLAGS
FOR CONCRETE
FOR LARGE DAMS***

**POUZZOLANES ET LAITIERS
POUR BÉTONS
DES GRANDS BARRAGES**



***POZZOLANAS AND SLAGS
FOR CONCRETE
FOR LARGE DAMS***

**POUZZOLANES ET LAITIERS
POUR BÉTONS
DES GRANDS BARRAGES**



AVERTISSEMENT – EXONERATION DE RESPONSABILITE:

Les informations, analyses et conclusions auxquelles cet ouvrage renvoie sont sous la seule responsabilité de leur(s) auteur(s) respectif(s) cité(s).

Les informations, analyses et conclusions contenues dans cet ouvrage n'ont pas force de Loi et ne doivent pas être considérées comme un substitut aux réglementations officielles imposées par la Loi. Elles sont uniquement destinées à un public de Professionnels Avertis, seuls aptes à en apprécier et à en déterminer la valeur et la portée et à en appliquer avec précision les recommandations à chaque cas particulier.

Malgré tout le soin apporté à la rédaction de cet ouvrage, compte tenu de l'évolution des techniques et de la science, nous ne pouvons en garantir l'exhaustivité.

Nous déclinons expressément toute responsabilité quant à l'interprétation et l'application éventuelles (y compris les dommages éventuels en résultant ou liés) du contenu de cet ouvrage.

En poursuivant la lecture de cet ouvrage, vous acceptez de façon expresse cette condition.

NOTICE – DISCLAIMER :

The information, analyses and conclusions referred to herein are the sole responsibility of the author(s) thereof.

The information, analyses and conclusions in this document have no legal force and must not be considered as substituting for legally-enforceable official regulations. They are intended for the use of experienced professionals who are alone equipped to judge their pertinence and applicability and to apply accurately the recommendations to any particular case.

This document has been drafted with the greatest care but, in view of the pace of change in science and technology, we cannot guarantee that it covers all aspects of the topics discussed.

We decline all responsibility whatsoever for how the information herein is interpreted and used and will accept no liability for any loss or damage arising therefrom.

Do not read on unless you accept this disclaimer without reservation.

1. PREFACE

During the meeting of the Committee on Concrete for Large Dams of the ICOLD, held in 1967 in Istanbul, it was decided that, in addition to the document entitled " Guide and Recommendations for tests on surface-active admixtures for concrete for large dams ", investigations should be pursued to prepare a Guide on the use of pozzolanas and accelerators and retarders in concrete for large dams.

The preliminary work was carried out by the USCOLD Concrete Committee. At the meeting of the Concrete Committee of ICOLD on 5th June 1968 in Stavanger the first draft of the report was presented. It was decided that two working groups composed of members of the Committee on Concrete of ICOLD would prepare the drafts of two separate documents, one for pozzolanas and powdered cement substitutes, the other for accelerators and retarders.

The Working Group charged with preparing the draft " Guide and Recommendations on pozzolanas and other powdered substitutes for cement in concrete for large dams " was constituted as follows :

Mr. de la JARRIGE (France), Chairman.
Prof. ARREDI (Italy).
Prof. KOKUBU (Japan).
Mr. PRICE (U.S.A.).
Mr. ROBERTS (Great-Britain).
Prof. STOLNIKOV (U.S.S.R.).

At the Concrete Committee meeting in Warsaw on 8th September 1969 after discussion a decision was taken to change the title of the document to " Guide and Recommendations for tests on pozzolanas and slags for use in concrete for large dams ".

The Committee charged the Working Group to prepare a new agreed text of the draft for submission to the Committee on Concrete at its meeting in Montreal in May 1970, taking into account remarks and proposals made by the members of the Committee on Concrete of the ICOLD.

At the Committee meeting in Montreal each clause of the new agreed text of the draft was considered, discussed and the

1. PRÉFACE

Au cours de la réunion du Comité des Bétons des Grands Barrages de la Commission Internationale des Grands Barrages tenue en 1967 à Istanbul, il a été convenu qu'en complément au document intitulé « Guide et recommandations pour les essais sur les adjuvants tensio-actifs pour les bétons des grands barrages », des études seraient poursuivies afin de préparer un guide sur l'utilisation des pouzzolanes et des accélérateurs et retardateurs de prise dans les bétons des grands barrages.

Un travail préliminaire a été entrepris par le Comité des Bétons du Comité des Grands Barrages des États-Unis. Au cours de la réunion du Comité du Béton de la C.I.G.B., le 5 janvier 1968, à Stavanger, un premier projet de rapport a été présenté. Il a été décidé alors que deux groupes de travail composés de membres du Comité du Béton de la C.I.G.B. prépareraient les projets de deux documents séparés : l'un concernant les pouzzolanes et les autres produits pulvérulents de substitution aux ciments, l'autre concernant les accélérateurs et retardateurs de prise.

Le Groupe de Travail chargé de la préparation du « Guide et recommandations sur les pouzzolanes et autres produits pulvérulents de substitution aux ciments pour les bétons des grands barrages » a été constitué comme suit :

M. de la JARRIGE, France, président.
Prof. ARREDI, Italie.
Prof. KOKUBU, Japon.
M. PRICE, États-Unis.
M. ROBERTS, Grande-Bretagne.
Prof. STOLNIKOV, U.R.S.S.

A la réunion du Comité du Béton à Varsovie, le 8 septembre 1969, la décision a été prise de changer le titre du document pour le titre suivant : « Guide et recommandations sur les pouzzolanes et les laitiers pour utilisation dans les bétons des grands barrages ».

Le Comité a chargé le Groupe de Travail de préparer un nouveau texte pour le soumettre au Comité du Béton à sa réunion de Montréal en mai 1970, en tenant compte des remarques et propositions faites par les membres du Comité du Béton de la C.I.G.B.

A la réunion du Comité à Montréal, chaque article du nouveau texte du projet a été examiné, discuté et le texte a été

draft was approved by the Committee on Concrete with the modifications of the text adopted during discussion.

The Committee on Concrete resolved that the final text of the " Guide " should be prepared and submitted to the International Commission on Large Dams for consideration and approval.

The " Guide and Recommendations " are based on the data contained in the existing specifications of various countries and give general recommendations which may be taken into consideration by each country when preparing its own national specifications concerning the use of pozzolanas and slags in concrete for large dams.

The recommendations indicate what is to be taken into account when selecting and testing pozzolanas and slags for use in concrete for large dams in the light of established and accepted practice.

On behalf of the International Technical Committee on Concrete for Large Dams,

V. V. STOLNIKOV,
Chairman.

approuvé par le Comité du Béton avec diverses modifications introduites en cours de discussion.

Le Comité du Béton a décidé que le texte définitif du « Guide » serait préparé et soumis à la C.I.G.B. aux fins d'examen et d'approbation.

Ce texte basé sur les données contenues dans les prescriptions qui existent dans divers pays, contient les recommandations générales pouvant être prises en considération par chaque pays lors de la préparation des prescriptions nationales concernant l'utilisation des pouzzolanes et des laitiers dans les bétons des grands barrages.

Ces recommandations précisent, à la lumière de la pratique couramment admise, les éléments à prendre en considération dans le choix et les essais des pouzzolanes et des laitiers pour leur utilisation dans les bétons des grands barrages.

Au nom du Comité Technique international du Béton des Grands Barrages,

Prof. V. V. STOLNIKOV,
Président.

GUIDE AND RECOMMENDATIONS ON POZZOLANAS AND SLAGS FOR USE IN CONCRETE FOR LARGE DAMS

GUIDE ET RECOMMANDATIONS SUR LES POZZOLANES ET LES LAITIERS POUR UTILISATION DANS LES BÉTONS DES GRANDS BARRAGES

2. INTRODUCTION

2.01. These recommendations deal with pozzolanas and slags used to form part of the cementitious binder in concrete for large dams. The recommendations are intended to form a general guide.

2.02. The recommendations cover the basic requirements but each country may complete, enlarge or change these requirements to suit local conditions.

2.03. The recommendations indicate general methods of testing. Tests should be in accordance with national specifications where such exist.

3. DEFINITIONS

3.01. Pozzolanas are materials which, though not cementitious in themselves, contain constituents (e.g. active silica and alumina) which will combine with lime at ordinary temperatures in the presence of water to form compounds possessing cementitious properties. A distinction is sometimes made between artificial and natural pozzolanas according to whether or not their preparation includes heat processing.

3.02. Slag, in the context of this guide, is the glassy granulated product, generally obtained by quick cooling of the molten residue from the smelting of iron in blast furnaces, which, when ground to powder and suitably activated (e.g. by lime or calcium sulphate), develops cementitious properties.

2. INTRODUCTION

2.01. Ces recommandations concernent les pouzzolanes et laitiers utilisés mélangés au ciment des bétons pour grands barrages. Elles ont le propos de constituer un guide général.

2.02. Les recommandations concernent les prescriptions essentielles, mais chaque pays peut compléter, étendre ou modifier ces prescriptions pour les adapter aux conditions locales.

2.03. Les recommandations indiquent les méthodes générales d'essais. Les essais doivent être conformes aux spécifications nationales lorsque de telles spécifications existent.

3. DÉFINITIONS

3.01. Les pouzzolanes sont des produits qui, bien que ne faisant pas prise isolément, contiennent des constituants (en particulier silice et alumine) qui se combinent à la chaux aux températures ordinaires en présence d'eau pour former des produits possédant la propriété de faire prise. Une distinction est quelquefois introduite entre les pouzzolanes artificielles ou naturelles suivant que leur préparation comporte ou non un procédé avec chauffe.

3.02. Les laitiers, dans le contexte de ce guide, sont des produits vitreux granulés, en général obtenus par refroidissement rapide des résidus fondus provenant de la préparation de l'acier en hauts fourneaux qui, s'ils sont broyés en poudre et convenablement activés, par exemple au moyen de chaux ou de sulfate de calcium, présentent la propriété de faire prise.

POZZOLANAS

4. SPECIFICATIONS

General.

4.01. Examples of pozzolanas are : volcanic earths (e.g. tuff, Santorin earth, trass, pumicite, etc.) some diatomaceous earths, calcined clays or shales, pulverised fly ash (referred to as PFA or fly ash) etc.

In dam construction pozzolanas have commonly been used in conjunction with Portland cement, hydration of which provides the lime which combines with the pozzolana. The pozzolanas may be added as a separate constituent of the concrete mix or may be blended with the Portland cement. In general pozzolanas not already of cement fineness benefit from grinding. In many countries they are available inter-ground with the Portland cement.

The proportions of pozzolanas used in a concrete mix are determined by the required properties of the total mix design. For comparative purposes, the pozzolana is usually regarded as a substitute for an equal weight of Portland cement. Comparisons are then conveniently made, as in this guide, with the properties of concretes made with a weight of Portland cement equal to the combined weight of Portland cement + pozzolana.

Proportions of cement to pozzolana of between 60/40 and 80/20 by weight are commonly used. Higher proportions of pozzolana may be used when good workability is desired and smaller proportions if early strength is the main criterion.

Pozzolanas should be handled and batched with a care comparable to that used for cement.

Selection of materials.

4.02. The selection of materials for any particular application normally requires chemical and physical examination together with more extensive tests on the combined cement/pozzolana mixture, usually in varying

POUZZOLANES

4. SPÉCIFICATIONS

Généralités.

4.01. Les pouzzolanes sont, par exemple, des terres volcaniques, notamment : tuff, terre de Santorin., trass, pumicites, etc, quelques terres à diatomées, argiles calcinées ou marnes, cendres pulvérisées (désignées sous le terme « cendres volantes »), etc.

Dans la construction des barrages, les pouzzolanes ont été communément utilisées avec le ciment Portland dont l'hydratation produit la chaux qui se combine avec elles. Ces dernières peuvent être ajoutées comme constituant séparé au béton ou peuvent être mélangées au ciment Portland. En général, les pouzzolanes qui n'ont pas une finesse équivalente à celle du ciment sont avantageusement broyées. Dans beaucoup de pays, on peut les trouver broyées en même temps que le ciment Portland.

Les proportions de pouzzolanes utilisées dans un béton sont déterminées par les propriétés requises du mélange global prévu. A titre comparatif, les pouzzolanes sont habituellement considérées comme pouvant se substituer à un poids équivalent de ciment Portland. Les comparaisons sont alors valablement faites, comme dans ce Guide, avec les propriétés des bétons exécutés avec un poids de ciment Portland équivalant au poids du mélange ciment Portland + pouzzolanes.

Des proportions ciment/pouzzolanes comprises entre 60/40 et 80/20 en poids sont communément utilisées. Des proportions plus élevées de pouzzolanes peuvent être utilisées lorsqu'une bonne ouvrabilité est recherchée et des proportions plus faibles si la résistance à court terme est le critère principal.

Les pouzzolanes doivent être manutentionnées et préparées en bétonnières avec un soin comparable à celui pris pour les ciments.

Choix des matériaux.

4.02. Le choix des matériaux pour toute application particulière demande normalement un examen physique et chimique en même temps que des essais plus complets sur le mélange ciment/pouzzolanes; habi-

proportions. The crucial tests in any application, however, are those on concrete made with the actual materials intended for use on site.

In considering a new source of pozzolana, investigations will normally include cost, actual or potential rate of production, variability and experience arising out of previous use.

Control of supply.

4.03. Pozzolanas may vary in quality and it is necessary to exercise a close control on the supply. Deliveries should be subjected to acceptance tests, to an extent depending on the nature of the material and the process used in its production, to check that it conforms to the samples selected.

5. TESTS ON POZZOLANAS

Chemical composition and pozzolanicity.

5.01. The chemical composition of pozzolana may be determined in the same way as for cement, but may give no obvious indication of the potential pozzolanic activity of the material. This can be tested by the pozzolanicity test or other methods.

Generally it will be found that acceptable pozzolanas contain silica (SiO_2), alumina (Al_2O_3) and iron oxide (Fe_2O_3) which together constitute not less than 70-75 % in weight of the pozzolana. Limits are sometimes given for the following :

- loss on ignition;
- magnesia (MgO);
- sulphate (as SO_3);
- carbon (for P.F.A.);
- moisture content.

When pozzolana is required for its ability to reduce expansion due to reactivity between alkalis and soluble silica in aggregates a limit may also be set on the percentage of available alkalis ($\text{Na}_2\text{O} + 0,658 \text{K}_2\text{O}$) and ability of the pozzolana to reduce expansion must be confirmed by experiment.

Fineness.

5.02. The fineness of pozzolana may be measured by a standard method such as

tuellement on essaie des proportions variées. Les essais fondamentaux dans toute application sont cependant ceux effectués sur le béton réalisé avec les matériaux que l'on a effectivement l'intention d'utiliser sur le chantier.

Lorsqu'on examine une nouvelle source de pouzzolanes, les investigations doivent normalement porter sur : le prix de revient; la cadence de production actuelle ou potentielle, l'expérience résultant des précédents usages.

Contrôle des fournitures.

4.03. Les pouzzolanes peuvent varier en qualité et il est nécessaire d'effectuer un contrôle sérieux des fournitures. Les livraisons doivent être soumises à des essais de réception dans des limites dépendant de la nature du matériau et de ses procédés de fabrication afin de vérifier qu'il est conforme aux échantillons choisis.

5. ESSAIS SUR LES POZZOLANES

Composition chimique et pozzolanicité.

5.01. La composition chimique des pouzzolanes peut être déterminée de la même façon que pour un ciment mais peut ne donner aucune indication valable sur l'activité pouzzolanique potentielle du matériau. Celle-ci doit être contrôlée par l'essai de pozzolanicité ou par une autre méthode.

Généralement, on trouve que les pouzzolanes acceptables contiennent de la silice (SiO_2), de l'alumine (Al_2O_3) et de l'oxyde de fer (Fe_2O_3) représentant ensemble au moins 70 à 75 % du poids total. Les limites sont quelquefois données pour les caractéristiques suivantes :

- perte au feu;
- teneur en magnésie (MgO);
- teneur en sulfate (comme SO_3);
- charbon (pour les cendres volantes);
- teneur en eau.

Quand les pouzzolanes sont recherchées pour leur aptitude à réduire l'expansion due à la réactivité entre les alcalis et la silice soluble des granulats, une limite peut également être fixée pour le pourcentage des alcalis admis ($\text{Na}_2\text{O} + 0,658 \text{K}_2\text{O}$) et cette aptitude à réduire l'expansion doit être confirmée expérimentalement.

Finesse.

5.02. La finesse d'une pouzzolane peut être mesurée par une méthode normalisée telle

the air permeability test for specific surface or by the percentage of material retained on an appropriate fine mesh sieve.

The required fineness is usually similar to that of cement.

Soundness.

5.03. The soundness of the cement/pozzolana binder should be tested in accordance with one of the accepted national standards.

In general the expansion should not be greater than permissible for neat Portland cement.

Setting time.

5.04. The setting time of the cement/pozzolana binder should be tested by the Vicat method or an equivalent accepted national standard.

The initial setting time of the blended cement/pozzolana binder should not be less than that for ordinary Portland cement, though the specified final setting time may be somewhat longer.

Heat of hydration.

5.05. When low heat qualities are required the heat of hydration of the cement/pozzolana binder may be tested by a method according to the nationally accepted practice.

Strength.

5.06. Control tests on the combined cement/pozzolana binder conveniently include those for compressive and tensile strength of mortar or concrete. In specifying strengths, allowance should be made for the slower development of strength, particularly at lower temperatures, as compared with the rate of development with an all-cement binder.

6. EFFECTS ON CONCRETE

Effect on heat evolution.

6.01. The heat evolved from cement/pozzolana binder is less than that for the same weight of all-cement binder and the rate of heat evolution is also less.

Effect on permeability.

6.02. In general, the use of pozzolana is found to facilitate the design of impermeable concrete mixes. Long term deterioration

que l'essai de perméabilité à l'air pour détermination de la surface spécifique ou par la mesure du pourcentage de matières retenues sur un tamis de finesse appropriée.

La finesse prescrite est habituellement analogue à celle du ciment.

Absence d'impuretés.

5.03. L'absence d'impuretés d'un mélange ciment/pouzzolanes doit être contrôlée selon l'une des normes nationales existantes. En général, l'expansion ne doit pas être supérieure à celle admise pour le ciment Portland pur.

Temps de prise.

5.04. Le temps de prise du mélange ciment/pouzzolanes doit être mesuré par la méthode de Vicat ou une méthode normalisée équivalente acceptée sur le plan national.

Le temps de prise initial du mélange ciment/pouzzolanes ne doit pas être inférieur à celui du ciment Portland ordinaire, bien que le temps de prise final puisse être quelque peu supérieur.

Chaleur d'hydratation.

5.05. Lorsque de faibles chaleurs sont recherchées, la chaleur d'hydratation du mélange ciment/pouzzolanes doit être mesurée conformément à la pratique nationale.

Résistance.

5.06. Les essais de contrôle du mélange ciment/pouzzolanes comprennent normalement les essais de résistance à la compression et à la traction du mortier ou béton. En prescrivant les résistances, des tolérances doivent être acceptées pour l'augmentation plus lente de cette résistance, en particulier à basse température, par comparaison à la croissance de cette résistance avec du ciment seul.

6. EFFETS SUR LES BÉTONS

Effet sur l'évolution de la température.

6.01. Le dégagement de chaleur d'un béton dont le liant est un mélange ciment/pouzzolanes est inférieur à celui d'un béton comportant un même poids de ciment Portland et la vitesse de dégagement de chaleur est également inférieure.

Effet sur la perméabilité.

6.02. En général, on constate que l'utilisation des pouzzolanes facilite l'obtention d'un béton imperméable. L'augmentation

in permeability by the leaching of free lime is also reduced.

Effect on resistance to chemical attack.

6.03. Some pozzolanas improve the resistance of concrete to attack by sea-water and other sulphated waters, an improvement which may possibly be due in part to increased watertightness.

Because of its reduced content of free lime and any increased watertightness pozzolanic concrete is also more resistant to the leaching action of pure and slightly acidic natural waters and those containing aggressive carbon dioxide.

Effect on expansion caused by alkali-aggregate reaction.

6.04. It has been shown that some pozzolanas will materially reduce the disruptive expansion resulting from the alkali-aggregate reaction which has been found in some countries. This reaction involves the interaction of the sodium and potassium alkalis in Portland cement with certain siliceous constituents of some aggregates. It is necessary to evaluate experimentally the ability of an individual pozzolana to control alkali-aggregate reaction.

Effect on strength.

6.05. The long-term strength of concrete made with cement/pozzolana binder may be of the same order as that of concrete in which the binder consists of the same weight of Portland cement. The rate of gain of strength in the former is, however, slower, particularly at low temperature.

Secondary effects.

6.06. Pozzolanic concrete may also differ in workability drying shrinkage, creep, extensibility, frost resistance and resistance to erosion when compared with concrete made with an all-cement binder. These differences will vary according to the total design of the concrete mix, including the degree of air entrainment, if any. Where the properties are important a direct experimental determination should be made.

à long terme de la perméabilité par dissolution de la chaux libre est également réduite.

Effet sur la résistance aux attaques chimiques.

6.03. Quelques pozzolanes améliorent la résistance du béton à l'attaque de l'eau de mer et autres eaux sulfatées, cette amélioration pouvant être également la conséquence de l'augmentation possible de l'étanchéité à l'eau.

En raison de sa teneur réduite en chaux libre et de son étanchéité meilleure, le béton avec pozzolanes est également plus résistant à l'action dissolvante des eaux naturelles pures ou légèrement acides et de celles contenant du bioxyde de carbone agressif.

Effet sur l'expansion causée par l'alcali-réaction des granulats.

6.04. Il a été montré que quelques pozzolanes peuvent réduire matériellement l'expansion destructive résultant de l'alcali-réaction des granulats qui a été constatée dans plusieurs pays. Cette réaction comprend l'interaction des alcalis de soude et de potasse du ciment Portland avec certains constituants siliceux de certains granulats. Il est nécessaire de vérifier expérimentalement l'aptitude d'une pozzolane déterminée à contrôler l'alcali-réaction avec les granulats.

Effet sur la résistance.

6.05. La résistance à long terme d'un béton réalisé avec un mélange ciment/pozzolanes peut être du même ordre que celle d'un béton comportant un même poids de ciment Portland. L'importance du gain de résistance dans le premier cas est cependant faible, en particulier aux basses températures.

Effets secondaires.

6.06. Le béton pozzolanique peut aussi différer en ce qui concerne l'ouvrabilité, le retrait durant le séchage, le fluage, l'extensibilité, la résistance au gel et à l'érosion lorsqu'on le compare au béton fait avec un ciment Portland. Les différences varient suivant la nature de l'ensemble du mélange constituant le béton, y compris la quantité d'air entraîné s'il y en a. Lorsque certaines propriétés sont importantes, une expérimentation directe doit être faite.

PART II

SLAG

7. SPECIFICATIONS

General.

7.01. While unprocessed air cooled blast-furnace slag may be used directly as an aggregate or unprocessed water - quenched iron blastfurnace slag may be used as a raw material for the manufacture of Portland cement, granulated blastfurnace slag when ground and suitably activated is in itself a cementitious material. For this purpose the slag must be of appropriate composition and must be cooled very rapidly so that it is in the form of glass. These recommendations deal only with ground granulated blastfurnace slag or slag otherwise prepared to have inherently cementitious properties. This material is referred to hereinafter simply as "slag".

Such slag may be used in several forms, the usual ones being :

a) Interground with Portland cement clinker to give a "cement" sold under various names including Portland blast-furnace cement.

b) Wet ground to form a slurry which is added to the other concrete ingredients at the mixer, known as the Trief process. As variants the slurry may be dried or partly dried and supplied as powder or paste.

c) Ground and blended with hydrated lime to give a "cement" sold under various names. These are not commonly used in dam construction and are not referred to again in this guide.

d) Interground with gypsum as an activator and a small quantity of Portland cement clinker. This cement is not covered by these recommendations.

Slag should not be regarded as a pozzolanic material. In the latter, the active constituents combine with lime to form a cementitious material. Slag, on the other hand, is a latent hydraulic material which is made active by small amounts of added

CHAPITRE II

LAITIERS

7. SPÉCIFICATIONS

Généralités.

7.01. Alors que des laitiers de hauts fourneaux refroidis à l'air sans autre préparation peuvent être utilisés directement comme granulats ou que ces mêmes laitiers éteints à l'eau et non préparés peuvent être utilisés comme matériau brut pour la fabrication du ciment Portland, le ciment de laitier de hauts fourneaux granulé, lorsqu'il est moulu et convenablement activé, constitue par lui-même un matériau faisant prise.

Dans ce but, le laitier doit être de composition appropriée et doit être refroidi très rapidement pour se trouver sous forme vitreuse. Les présentes recommandations concernent seulement les laitiers de hauts fourneaux granulés moulus et les laitiers préparés d'autres façons pour leur procurer des propriétés de prise intrinsèques. Ces matériaux sont désignés simplement ci-dessous par le terme « laitiers ».

De tels laitiers peuvent être utilisés sous diverses formes, les formes habituelles étant :

a) moulu en même temps que le clinker de ciment Portland pour donner un « ciment » vendu sous diverses désignations, notamment ciment Portland de hauts fourneaux;

b) moulu sous forme humide pour constituer un liant qui est ajouté aux autres constituants du béton dans la bétonnière. Ce procédé est connu sous le nom de « Trief ». En variante, le liant peut être séché ou partiellement séché et livré en poudre ou en pâte;

c) moulu et mélangé avec de la chaux hydratée pour donner un « ciment » vendu sous diverses dénominations. Ceux-ci ne sont pas habituellement utilisés dans la construction des barrages et il n'en sera pas davantage question dans ce Guide;

d) moulu en même temps que du gypse comme activant et avec une petite quantité de clinker de ciment Portland. Ce ciment n'est pas couvert par les présentes recommandations.

Les laitiers ne doivent pas être considérés comme matériaux pouzzolaniques. Dans ces derniers, les constituants se combinent avec la chaux pour former un matériau faisant prise; les laitiers, au contraire, sont des matériaux ayant des propriétés hydrau-

ingredients such as lime, Portland cement, alkalis and sulphates.

When slag is supplied separately for blending with Portland cement and aggregates at the mixer the proportions commonly used are of the order of 30 parts ordinary Portland cement to 70 parts slag but with ready blended cements the proportions vary widely and are covered by various National standards and various names. Some standardisation of terminology has been formulated by the International Organisation for Standardization (I.S.O.) in publication R.597-1967 (E) — Definitions and Terminology of Cements.

Selection and control of materials.

7.02. The selection of suitable slag for a particular application is normally a matter of physical and chemical properties, availability and economics.

As slag is an industrial by-product the quality, uniformity and continued availability must be established.

Physical and chemical acceptance and control testing will be required on the slag before and after grinding and blending with cement in the proportions to be used in the concrete.

8. TESTS ON SLAG

Chemical composition.

8.01. Various chemical moduli have been suggested for determining the suitability of slag for use as a cementitious material but these are not accepted in all countries.

The requirements for the chemical composition of the cement/slag binder may specify the maximum amounts of the following :

Magnesia, Sulphuric anhydride, Sulphur as sulphide, Insoluble residue, Loss on ignition.

When blended cement/slag is to be used with alkali reactive aggregates the maximum allowable amount of alkali in slag should be specified by experiment.

Glassiness.

8.02. The slag should have been processed by a method which ensures that the particles are glassy and not crystalline as crystalline slag has no cementitious property. To test

liqués latentes qui sont rendues actives par l'addition de petites quantités d'ingrédients tels que chaux, alcali et sulfate.

Quand un laitier est fourni séparément pour être mélangé à un ciment Portland ou à des granulats à la bétonnière, les proportions habituellement utilisées sont de l'ordre de 30 parties de ciment ordinaire pour 70 parties de laitier, mais pour les mélanges tout préparés les proportions varient largement et sont couvertes par les normes nationales sous différents noms. Une certaine normalisation de la terminologie a été faite par l'Organisation Internationale pour la standardisation (I.S.O.) dans la publication R.597-1967 E « Définitions et terminologie des ciments ».

Sélection et contrôle des matériaux.

7.02. La sélection de laitier convenable pour une application particulière résulte normalement d'essais physiques et chimiques ainsi que de critères de disponibilité et d'économie.

Le laitier est un sous-produit industriel; la qualité, l'uniformité et la continuité de sa fabrication doivent être démontrées.

La réception physique et chimique et les essais de contrôle doivent être prescrits pour le laitier avant et après mouture et mélangé avec un ciment dans les proportions où il doit être utilisé dans le béton.

8. ESSAIS SUR LES LAITIERS

Composition chimique.

8.01. Divers critères chimiques ont été proposés pour déterminer la validité d'un laitier pour son utilisation comme liant, mais ils ne sont pas admis dans tous les pays. Les prescriptions pour la composition chimique du mélange ciment-laitier peuvent spécifier les quantités maximum des produits suivants : magnésie, anhydride sulfurique, sulfure, résidus insolubles et perte au feu. Lorsqu'un ciment de laitier doit être utilisé avec des granulats pouvant provoquer une alcali-réaction, les quantités maximum d'alcali du laitier doivent être précisées expérimentalement.

Vitrification.

8.02. Le laitier doit avoir été préparé par une méthode qui garantit que les particules sont vitreuses et non cristallines car les laitiers cristallins n'ont pas la propriété de

the glassiness of the slag a microscope counting method may be used.

Fineness.

8.03. The fineness may be measured by an air permeability test for specific surface or by the percentage of material retained on an appropriate fine mesh sieve. The required fineness of the slag is usually similar to that of cement.

Soundness.

8.04. The soundness of the cement/slag binder should be tested in accordance with one of the accepted national standards. In general the expansion should not exceed that permissible for neat Portland cement.

Setting time.

8.05. The setting time of the cement/slag binder should be determined by the Vicat method or an equivalent accepted national standard. The initial and final setting times are normally specified as for ordinary Portland cement, though slightly longer times may be appropriate when the proportion of slag is high.

Heat of hydration.

8.06. When low heat qualities are required the heat of hydration of the cement/slag binder may be tested by a method such as the heat of solution method or other nationally accepted practice.

Strength.

8.07. Control tests on the combined cement/slag binder conveniently include those for compressive strength of mortar or concrete. In specifying strengths, allowance should be made for the slower development of strength, particularly at lower temperatures, as compared with the rate of development with an all-cement binder.

9. EFFECTS ON CONCRETE

Effect on heat evolution.

9.01. The rate of heat evolution during the hydration of slag used without an accelerator is lower than that for Portland cement.

faire prise. Pour contrôler la vitrification du laitier une méthode de comptage au microscope peut être utilisée.

Finesse.

8.03. La finesse peut être mesurée par un essai de perméabilité à l'air pour déterminer la surface spécifique ou par le contrôle du pourcentage de matériaux retenus sur un tamis de finesse appropriée. La finesse requise pour le laitier est habituellement analogue à celle du ciment.

Absence d'impuretés.

8.04. L'absence d'impuretés d'un mélange ciment-laitier doit être contrôlée conformément à l'une des méthodes normalisées du pays considéré. En général, la dilatation ne doit pas dépasser celle qui est admise pour un simple ciment Portland.

Temps de prise.

8.05. Le temps de prise du mélange ciment-laitier doit être déterminé par la méthode de Vicat ou une méthode équivalente dans les normes nationales existantes. Les durées de prise initiales et finales sont normalement spécifiées comme pour le ciment Portland ordinaire, bien que des temps légèrement plus longs puissent être obtenus quand la proportion de laitier est élevée.

Chaleur d'hydratation.

8.06. Quand des qualités de faible chaleur d'hydratation sont prescrites, la chaleur du mélange ciment-laitier peut être contrôlée par une méthode telle que celle de la chaleur de dissolution ou toute autre méthode en pratique dans le pays considéré.

Résistance.

8.07. Les essais de contrôle du mélange ciment-laitier comprennent normalement les essais de résistance à la compression sur les mortiers et ciments. En prescrivant les résistances, des tolérances doivent être admises en ce qui concerne l'augmentation moins rapide de la résistance notamment aux basses températures, comparée à l'augmentation de résistance du ciment Portland pur.

9. EFFETS SUR LES BÉTONS

Effet sur les variations de température.

9.01. La cadence d'augmentation de la température pendant l'hydratation du laitier utilisé sans accélérateur de prise est plus faible que pour un ciment Portland.

Effect on resistance to chemical attack.

9.02. There is evidence that cement/slag concrete is more resistant to attack by sea-water and other sulphated waters than concrete made with ordinary Portland cement, though less resistant than that made with sulphate resisting Portland cement.

The low content of free lime suggests that cement/slag concrete should be more resistant to attack by pure or acidic waters and those containing aggressive carbon dioxide.

Effect on frost resistance.

9.03. Effect on frost resistance depends on the percentage of slag in the blended binder and on the composition of the concrete.

Effect on expansion caused by alkali-aggregate reaction.

9.04. There are reports that some kinds of cement/slag may be beneficial in relation to alkali-aggregate reaction. In each separate case this must be confirmed experimentally by long term tests.

Effect on strength.

9.05. Cement/slag concrete has a slower gain in strength than all-cement concrete, particularly at lower placing temperatures. Long term strength may be about the same as concrete made with all-cement. As with ordinary Portland cement the rate of hydration may be adjusted by the addition of accelerators.

Secondary effects.

9.06. Workability, permeability, drying shrinkage, creep, extensibility are among other physical properties which may be influenced by the use of slag in part substitution for cement.

These effects are probably not intrinsic properties of slag as a material and will vary according to the composition and fineness of cement/slag binder. Where these properties are important a direct experimental determination should be made.

Effet sur la résistance aux attaques chimiques.

9.02. Il est certain que le béton au ciment et laitier est plus résistant aux attaques de l'eau de mer et des autres eaux sulfatées que le béton réalisé avec du ciment Portland ordinaire, bien qu'il soit moins résistant que celui réalisé avec un ciment Portland spécial pour résister aux sulfates.

La faible teneur en chaux libre conduit à penser que le béton au ciment de laitier doit être plus résistant aux attaques des eaux pures ou acides et à celles des eaux contenant du bioxyde de carbone.

Effet sur la résistance au gel.

9.03. L'effet sur la résistance au gel dépend de la proportion de laitier du mélange et de la composition du béton.

Effet sur l'expansion causée par l'alkali réaction des granulats.

9.04. Quelques comptes rendus mentionnent que certaines catégories de mélanges ciment-laitier peuvent avoir une action favorable sur l'alkali réaction des agrégats. Dans chaque cas particulier, ceci doit être confirmé par des essais à long terme.

Effet sur la résistance.

9.05. Le béton au ciment et laitier a un gain de résistance moins rapide que le béton au ciment pur, particulièrement lorsqu'il est mis en place par basse température. La résistance à long terme peut être à peu près la même que celle du béton réalisé avec du ciment Portland pur. Comme avec un ciment Portland ordinaire, la vitesse d'hydratation peut être modifiée par l'addition d'accélérateurs de prise.

Effets secondaires.

9.06. L'ouvrabilité, la perméabilité, le retrait durant le séchage, le fluage et l'extensibilité sont parmi les autres propriétés physiques qui peuvent être influencées par la substitution de laitier à une partie du ciment Portland.

Ces effets ne sont probablement pas dus aux propriétés intrinsèques du laitier en tant que matériau et peuvent varier suivant la composition et la finesse du mélange ciment-laitier. Quand ces propriétés sont importantes, des contrôles expérimentaux doivent être effectués.

Copyright © ICOLD - CIGB

Archives informatisées en ligne



Computerized Archives on line

*The General Secretary / Le Secrétaire Général :
André Bergeret - 2004*



**International Commission on Large Dams
Commission Internationale des Grands Barrages
151 Bd Haussmann -PARIS -75008**
<http://www.icold-cigb.net> ; <http://www.icold-cigb.org>