

***QUALITY CONTROL
OF CONCRETE***

**CONTROLE DE LA QUALITÉ
DU BÉTON**



*Report prepared on behalf of the Mexican Committee on Large Dams,
by Dr. R. Sanchez Trejo for the Sub-Committee on Materials for Concrete Dams
Committee on Materials for Dams*

*French translation by Jacques de la Jarrige (1st version)
and Hélène Louvet (final version)*

Rapport préparé au nom du Comité Mexicain des Grands Barrages,
par le Dr. R. Sanchez Trejo pour le Sous-Comité des Matériaux pour Barrages en
Béton

Comité des Matériaux pour Barrages

Traduction française par Jacques de la Jarrige (1^{re} version)
et Hélène Louvet (version modifiée)

***QUALITY CONTROL
OF CONCRETE***

**CONTROLE DE LA QUALITÉ
DU BÉTON**



1983

BULLETIN 47

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.

**QUALITY CONTROL OF CONCRETE
DURING THE CONSTRUCTION OF LARGE DAMS**

**CONTROLE DE LA QUALITÉ DU BÉTON
PENDANT LA CONSTRUCTION DES GRANDS BARRAGES**

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS	
1. INTRODUCTION	8/ 9
1.1. Objet du rapport	8/9
1.2. But du contrôle de qualité du béton des grands barrages	8/9
1.3. Responsabilité du contrôle de qualité	10/11
1.4. Garantie de qualité	10/11
2. ESSAIS ET MOYENS DE CONTROLE DE QUALITÉ SUR LE CHANTIER	14/15
2.1. Généralités	14/15
2.2. Essais de chantier	14/15
2.3. Contrôle des constituants du béton	16/17
2.4. Laboratoire de chantier et autres moyens d'essais	18/19
3. CONTROLE DE LA FABRICATION DU BÉTON ET DES INSTALLATIONS	26/27
3.1. Généralités	26/27
3.2. Stockage des matériaux et moyens de manutention	26/27
3.3. Équipement de dosage	30/31
3.4. Matériel de gâchage	32/33
3.5. Dispositifs et matériels de fourniture	34/35
4. CONTROLE DE QUALITÉ DU BÉTON FRAIS PENDANT LA FABRICATION	38/39
4.1. Généralités	38/39
4.2. Composants du béton	38/39
4.3. Dosage et gâchage	38/39
4.4. Prise d'échantillons et essais du béton frais	40/41
4.5. Prise en compte des résultats d'essais	42/43
4.6. Ajustement des mélanges	44/45

TABLE OF CONTENTS

7 FOREWORD	
1. INTRODUCTION	
1.1 Statement of purpose of report	
1.2 Purpose of quality control of concrete in large dams	
1.3. Responsibility for quality control	
1.4. Quality assurance	
2. ON-SITE QUALITY CONTROL TESTING AND FACILITIES	
2.1. General	
2.2 On site testing	
2.3. Control of concrete constituents	
2.4. Site laboratory and other testing facilities	
3. CONTROL OF CONCRETE PRODUCTION AND RELATED FACILITIES	
3.1. General	
3.2. Materials storage and handling systems	
3.3. Batching equipment	
3.4. Mixing equipment	
3.5. Delivery equipment and systems	
4. QUALITY CONTROL OF FRESH CONCRETE DURING PRODUCTION	
4.1. General	
4.2. Concrete components	
4.3. Batching and mixing	
4.4 Sampling and testing fresh concrete	
4.5. Feedback of test results	
4.6. Adjustment of mixes	

5. ESSAIS SUR LE BÉTON DURCI	50/51	5. TESTING OF HARDENED CON- CRETE
5.1. Généralités	50/51	5.1. General
5.2. Préparation des éprouvettes et cure	50/51	5.2. Specimen preparation and curing
5.3. Essais de contrôle accélérés et normalisés	54/55	5.3. Accelerated and standard control tests
5.4. Facteurs affectant les résultats des essais de résistance	56/57	5.4. Factors affecting strength test re- sults
5.5. Prise en compte des résultats d'es- sais	58/59	5.5. Feedback of test results
5.6. Analyses des résultats	60/61	5.6. Analysis of data
5.7. Jugements et critères	60/61	5.7. Judgment and criteria

AVANT-PROPOS

Le Comité des Matériaux pour Barrages s'est intéressé au contrôle de qualité du béton pendant la construction des barrages à sa réunion de Madrid (1973) et en a confié l'étude au Comité National Mexicain à sa réunion d'Athènes (1974).

Après un travail considérable de collecte et de dépouillement des informations, un premier rapport a été présenté à la réunion de Salzbourg (1977) du Sous-Comité des Matériaux pour Barrages en Béton. Après quelques corrections prenant en compte les suggestions reçues, la version finale a été diffusée auprès de tous les Comités Nationaux par circulaire 945 et approuvée par la 50^e Réunion Exécutive de Rio de Janeiro (1982).

Ce rapport constitue un guide pour établir un programme de contrôle de qualité de la production du béton pendant la construction des grands barrages. Il comporte une description des contrôles de chantier sur les essais, les moyens de production, le béton frais pendant sa fabrication et les essais sur béton durci.

Le rapport ne traite pas des études de composition des bétons, de malaxage et de mise en place, de compactage et de cure.

FOREWORD

Quality control of concrete during the Construction of Dams has been taken into consideration by the Committee on Materials for Dams since the meeting in Madrid (1973) and allotted to the Mexican National Committee during the meeting in Athens (1974).

After considerable work of collecting and classifying information, a first draft report was presented within the Subcommittee on Materials for Concrete Dams at the meeting in Salzburg (1977). Further refinements, which took into consideration the suggestions received, led to the adoption on behalf of the Committee on Materials of a final version, circulated by letter 945 and approved at the Executive Meeting in Rio de Janeiro in 1982.

This report presents a guide for setting up a program of quality control for concrete production during the construction of large dams. This includes a description of on-site control testing, control of production facilities and control of fresh concrete during production and testing of hardened concrete.

The report does not include information on concrete mix studies, nor on batching, placing, compacting and curing of concrete.

1. INTRODUCTION

1.1. OBJET DU RAPPORT

Ce rapport donne une vue générale des dispositifs, des pratiques, méthodes d'essais et considérations qui sont à la base du contrôle de la qualité de la fabrication du béton pour la construction des grands barrages. L'objet principal de ce rapport est de rassembler en un guide concis les informations disponibles et les résultats d'expériences en vue de la préparation d'un programme de contrôle de qualité pour la construction d'un barrage en béton et des ouvrages annexes.

Le rapport concerne essentiellement la qualité des bétons de masse des plots d'un barrage. Cependant, la plupart des pratiques et méthodes sont également valables pour d'autres ouvrages tels que les évacuateurs de crue, tapis de protection, bâtiments d'usines, piles, etc. On a admis que le détail des contrôles de qualité, quant à la mise en place, au compactage et à la cure du béton pendant la construction d'un barrage n'entraîne pas dans le cadre de ce rapport.

Cet inventaire est basé sur la littérature technique existante et sur les commentaires et opinions de certains spécialistes. Mais c'est l'expérience du groupe de travail mexicain qui constitue l'essentiel de la matière des chapitres de ce rapport.

1.2. BUT DU CONTROLE DE QUALITÉ DU BÉTON DES GRANDS BARRAGES

Le but principal du contrôle est de fabriquer et de mettre en place un béton qui soit conforme aux spécifications.

Une fabrication convenable doit comporter un contrôle de qualité des composants du béton et des opérations de dosage et malaxage. De plus, une mise en place convenable requiert un contrôle du transport, de la mise en place et du compactage, de la finition et de la cure.

On satisfait aux spécifications d'un béton de barrage lorsque le béton en place remplit les conditions imposées quant à la résistance mécanique, la densité et la stabilité volumétrique, l'étanchéité et la pérennité.

De nombreux avantages économiques peuvent résulter d'un bon contrôle de qualité. L'économie d'une faible quantité de ciment, lorsque l'on considère l'importance des volumes de béton mis en jeu, peut entraîner des économies substantielles par rapport au devis. De plus, l'uniformité dans la fabrication du béton résultant d'un bon contrôle de qualité évite des retards coûteux et des interruptions dans la mise en place du béton, susceptibles de se produire lorsque les propriétés du béton varient d'une gâchée à l'autre.

1. INTRODUCTION

1.1 STATEMENT OF PURPOSE OF REPORT

This report presents a general review of systems, practices, methods of testing, and other considerations that underlie the quality control of concrete production during the construction of large dams. The main purpose of this report is to assemble available information and experience into a concise guide for the preparation of a quality control program for the construction of a concrete dam and its appurtenant works.

The emphasis of this report is the quality control of mass concrete produced for placement in massive blocks in the body of a dam. However, most of the practices and methods are also valid for quality control of concrete production for related structures such as spillways, aprons, powerhouses, piers, etc. Detailed quality control practices for placing, compacting, and curing of concrete during dam construction are not considered within the scope of this report.

This review is based on a search of the technical literature and on the comments and opinions of certain specialists. It is, however, the Mexican working group's experience which predominates in the material set forth in each section.

1.2. PURPOSE OF QUALITY CONTROL OF CONCRETE IN LARGE DAMS

The main purpose of quality control of concrete in large dams is to ensure that the concrete produced and placed conforms to the contract specifications.

Adequate quality control of concrete production must cover the concrete constituents and the batching and mixing operations. Additionally, proper placement of concrete demands control of transporting, placing, compacting, finishing and curing.

The concrete specifications for a dam are met when the in-place concrete complies with the required levels of mechanical strength, density, volumetric stability, watertightness and durability.

Significant economic benefits can be realized from good quality control. The saving of a small proportion of cement, considering the large volume of concrete involved, may yield substantial savings in project costs. In addition, the uniformity of concrete production resulting from good quality control can prevent costly delays and placement interruptions which may occur when batch to batch properties of fresh concrete vary.

Sans aucun doute, le contrôle de qualité du béton n'est pas la seule condition nécessaire pour assurer la sécurité d'un barrage. Cependant, dans certains cas, ce contrôle peut influencer du point de vue structurel la sécurité et la pérennité d'un barrage de façon plus significative que la précision des calculs de projet.

1.3. RESPONSABILITÉ DU CONTROLE DE QUALITÉ

Le contrôle de qualité du béton a un quadruple rôle :

- a) le contrôle des composants qui interviennent dans la fabrication du béton, c'est-à-dire ciment, granulats, adjuvants, pouzzolanes, etc.;
- b) le dosage du béton;
- c) le contrôle de la fabrication du béton et de sa mise en place;
- d) la réception du béton.

La responsabilité à chacune de ces étapes incombe généralement à différents services, chaque pays situant les responsabilités à sa façon. En général, la responsabilité de la réception est du ressort du maître d'œuvre tandis qu'elle incombe à l'entrepreneur pour la fabrication et la mise en place.

Les essais de contrôle de qualité sont effectués par l'entrepreneur pour vérifier que le béton fabriqué est conforme aux spécifications. Les représentants du maître d'œuvre peuvent utiliser les résultats de ces essais et/ou effectuer d'autres essais pour s'assurer de la conformité du béton. Ainsi le contrôle de qualité du béton comporte deux aspects distincts mais liés, à savoir le contrôle de la fabrication et la vérification des conformités. En tout cas, il est important de ne pas perdre de vue l'interaction existante entre les rôles et les responsabilités de l'entrepreneur et du maître d'œuvre de telle façon que l'objectif commun de réaliser un ouvrage sûr puisse être atteint de façon économique.

Le contrôle de la qualité du béton pose des problèmes particuliers par le fait qu'il est généralement impossible pour le maître d'œuvre de refuser du béton qui a fait prise. Il est par conséquent habituel que son représentant sur le chantier (Chef d'Aménagement), exerce son droit de refus au cours de la fabrication du béton. Dans ce but, il utilise des contrôleurs auxquels il délègue le pouvoir ultime d'arrêter la fabrication, s'il apparaissait que la qualité du béton puisse être gravement affectée. Des contrôleurs sont habituellement prévus, à la centrale à béton, à l'endroit où le béton est mis en place et au laboratoire d'essai.

1.4. GARANTIE DE QUALITÉ

La garantie de qualité qui comprend le contrôle de qualité traite de l'ensemble des méthodes qui permettent d'obtenir le niveau de qualité voulu pour un ouvrage afin qu'il remplisse les fonctions prévues. Cela comprend l'étude, les spécifications, les relations contractuelles, la formation du personnel, le contrôle des produits, l'inspection et les essais (de contrôle et d'agrément) et la prise en compte des résultats.

La description d'un système de garantie de qualité du béton n'entre pas dans le cadre de ce rapport. L'organisation retenue pour obtenir la qualité de la construc-

Quality control of concrete is certainly not the only consideration necessary to assure the safety of a dam. However, in some instances, quality control of concrete can influence the structural safety and durability of a dam more significantly than the accuracy of design calculations.

1.3. RESPONSIBILITY FOR QUALITY CONTROL

Quality control of concrete is comprised of four functions :

- a)* control of ingredients which are furnished for production of concrete, including cement, aggregate, admixtures, pozzolans, etc.;
- b)* concrete mix proportioning;
- c)* control of concrete production and placement;
- d)* acceptance.

The responsibilities for these functions during the construction of a dam usually lie with different agencies; each country assigns these responsibilities in its own way. In general, responsibility for acceptance lies with the owner while responsibility for production lies with the contractor.

Quality control testing is utilized by the contractor to ensure that the concrete produced meets the requirements of the specifications. The owner's representatives may use the results of this testing and/or carry out additional testing to assess compliance. Thus, the quality control for concrete consists of two distinct but interconnected parts, namely, production control and compliance assessment. In any case, it is important not to lose sight of the interaction between the functions and responsibilities of the contractor and of the owner so that the common objective of realizing a safe structure may be achieved economically.

The control of concrete quality poses special problems because it usually is impracticable for the owner to reject mature concrete. It is, therefore, customary for the owner's representative on site (the resident engineer) to exercise his right of rejection during the production of the concrete. For this purpose he employs inspectors with the delegated ultimate authority to halt production if it appears that the quality of the concrete is unacceptable. As a minimum, inspectors must be stationed at the batching and mixing plant, at the point of concrete placement and in the testing laboratory.

1.4. QUALITY ASSURANCE

Quality assurance, which includes quality control, deals with the complete system necessary to obtain the quality needed for a project to perform the functions intended. It encompasses design, specifications, contractual relationships, training, product control, inspection and testing (for control and for acceptance), and feedback.

The description of a quality-assurance system falls beyond the limits of this report. Construction quality management, contractor quality control, and owner

tion, le contrôle de qualité de l'entrepreneur et le contrôle de qualité du maître d'œuvre peuvent être mentionnés comme faisant partie d'un tel système; mais ils constituent des activités différentes qui doivent être prises en considération et définies de façon précise dans les Spécifications du marché.

BIBLIOGRAPHIE

1. *Principes recommandés pour le contrôle de qualité et la décision d'agrément du béton*, Comité mixte CEB, CIB, FIP RILEM, Munich, 1974.
2. *What is a quality assurance system?*, E.A. Abddun-Nur, Transportation Research Record 613, Transportation research Board, National Academy of Sciences, Washington D.C., 1976, pp. 51-56.
3. *Quality assurance*, Information Review IR/1. The Institute of Concrete Technology. P.O. Box 52, Slough SL 3 6 PL, United Kingdom.
4. *Recommandations pour l'organisation de la qualité dans le domaine de la construction*. Document AFC1Q. Novembre 1980.
5. *Code modèle pour les structures en béton I et II*. Comité International du Béton. Bulletin d'Information V 124/125. E, Paris, 1978.
6. *A guide to quality assurance*, British Standards Institution. BS 4891, 1972.

quality assurance may be mentioned as parts of a quality-assurance system; they are themselves separate activities that have to be considered and precisely defined in the project specifications for the construction of a dam.

BIBLIOGRAPHY

1. *Recommended Principles for the Control of Quality and the Judgment of Acceptability of Concrete*, Joint Committee C.E.B., C.I.B., F.I.P., R.I.L.E.M., Munich, 1974.
2. *What is a Quality-Assurance System?*, E.A. Abdun-Nur, Transportation Research Record 613, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1976, pp. 51-56.
3. *Quality Assurance*, Information Review IR/1, The Institute of Concrete Technology, P.O. Box 52, Slough SL3 6PL, United Kingdom.
4. *Recommandations pour l'Organisation de la Qualité dans le Domaine de la Construction*, Document AFC1Q Novembre 1980.
5. *Model Code for Concrete Structures I & II*, Comité Euro-International du Béton, Bulletin d'Information V. 124/125-E Paris, 1978.
6. *A Guide to Quality Assurance*, British Standards Institution, BS 4891, 1972.

2. ESSAIS ET MOYENS DE CONTROLE DE QUALITÉ SUR LE CHANTIER

2.1. GÉNÉRALITÉS

La fabrication du béton pour les barrages comprend différentes phases : il convient donc de diviser l'ensemble du processus afin d'atteindre le niveau de contrôle désiré à chaque étape individuelle. Il est également nécessaire de prévoir sur le chantier des essais appropriés et des moyens adéquats de contrôle de qualité. La capacité des moyens d'essai et de contrôle doit être adaptée à la cadence de fabrication prévue.

Les impératifs de base comprennent un laboratoire de chantier convenablement équipé et fonctionnel, les moyens d'obtenir des échantillons représentatifs et des enregistrements à la station de dosage et une équipe convenable d'agents expérimentés pour effectuer tous les essais, interpréter les résultats correspondants et les transmettre.

Pour éliminer toute surprise désagréable, les essais de laboratoire sur le chantier doivent être terminés avant le démarrage du bétonnage à grande échelle. Ceci implique que le laboratoire de chantier soit mis en service bien avant le début du bétonnage. Il est également important que les installations de fabrication de granulats et du béton soient en service plusieurs mois avant le début du bétonnage.

2.2. ESSAIS DE CHANTIER

Le contrôle de qualité d'un béton de barrage sur le chantier commence par celui des constituants du béton. Ceci suppose que toutes les études nécessaires pour choisir les sources de ces composants et pour définir les dosages aient été effectuées au préalable.

Les essais nécessaires pour contrôler les différentes étapes de fabrication du béton peuvent être groupés comme suit :

- essais physiques et chimiques du ciment et des autres liants hydrauliques;
- essais physiques, chimiques et sur les effets de l'eau;
- essais physiques, chimiques et analyses pétrographiques des granulats;
- essais physiques, chimiques et sur les effets des adjuvants;
- essais du béton frais;
- essais du béton durci.

Le présent chapitre traite seulement des essais sur les constituants du béton. Les essais relatifs au béton frais et durci sont traités respectivement dans les chapitres 4 et 5.

2. ON-SITE QUALITY CONTROL TESTING AND FACILITIES

2.1. GENERAL

The production of concrete for dams is comprised of several stages; it is therefore convenient to divide the overall quality control process into separate steps in order to attain the desired level of control at each stage. It is also necessary to plan for adequate on-site testing and facilities for quality control. The capabilities of both the testing and the site facilities must be compatible with the rate of production contemplated.

Basic requirements include a properly equipped and functional site laboratory, facilities for obtaining representative material samples and records from the aggregate production and concrete batching plants, and an adequate staff of experienced personnel to carry out all the tests, interpret the results, and transmit them.

In order to minimize the effect of unforeseen circumstances, the preliminary field laboratory work should be completed before mass concreting gets underway. To do this, the field laboratory should be established and staffed well ahead of the time concrete placement begins. It is equally important that aggregate and concrete production equipment be functioning several months before concreting.

2.2. ON-SITE TESTING

Quality control of concrete at a dam site starts with those activities related to concrete constituents. This assumes that all the necessary studies to select sources of supply and to define the concrete mix proportions have been performed previously in an on-site laboratory or in one away from the site.

Tests required to control the several stages of the concrete production process may be grouped as follows :

- physical and chemical tests of cement and other cementitious materials;
- physical, chemical and performance tests of water;
- physical and chemical tests and petrographic analysis of aggregates;
- physical, chemical and performance tests of admixtures;
- tests of freshly mixed concrete;
- tests of hardened concrete.

This section discusses only tests of concrete constituents. Tests which relate to fresh and hardened concrete are dealt with, respectively, in Sections 4 and 5.

2.3. CONTROLE DES CONSTITUANTS DU BÉTON

a) Ciment et liants hydrauliques

La qualité du ciment et des liants hydrauliques est habituellement contrôlée à l'usine de fabrication avant l'expédition au chantier. Pour cela, il est nécessaire d'effectuer les essais de routine qui comportent les analyses chimiques des matériaux bruts, du clinker, et du ciment. Dans de nombreux pays ces essais de contrôle sont effectués par un laboratoire différent de celui du fabricant. En plus des essais à la cimenterie, il peut être nécessaire de recommencer certains essais physiques au laboratoire du chantier dans le but de vérifier la qualité du ciment, ses caractéristiques, et l'uniformité d'une expédition à l'autre. Ceci est également utile pour vérifier si le ciment n'a pas été altéré pendant les manutentions et le transport jusqu'au chantier.

Les essais suivants peuvent être effectués sur le chantier :

- Ciment : température, fausse prise, temps de prise, finesse, résistance à la compression, perte au feu.
- Pouzzolane : température, teneur en eau, perte au feu, finesse, activité pouzzolanique, quantité d'eau nécessaire, densité relative.

b) Eau

Les études sur l'eau susceptible d'être utilisée pour le gâchage, la cure et la fabrication de glace doivent être effectuées à l'avance par un laboratoire extérieur au chantier. Elles doivent comprendre des analyses chimiques complètes et des tests de comportement comme spécifié au marché. Il est conseillé de contrôler périodiquement la qualité de l'eau en envoyant des prélèvements d'eau pour essais en laboratoire.

c) Granulats

Les premiers granulats choisis pour la construction d'un barrage en béton sont habituellement constitués par des dépôts naturels de sable et gravier situés au voisinage du chantier. Dans d'autres cas : on doit faire des recherches de ballastières. Afin d'examiner leurs caractéristiques, on effectue généralement une série complète d'essais pour déterminer leur qualité et leur quantité, ceci bien avant la période pour laquelle la fabrication du béton est prévue.

Les essais de qualité communément effectués sur les granulats dans la phase du choix de la ballastière et pendant le début de la fabrication sont les suivants :

- examen pétrographique, densité relative, humidificabilité, solidité, résistance à l'écrasement, dureté et résistance à l'abrasion, forme et texture des particules, réaction aux éléments alcalins, granulométrie et poids volumiques, substances nocives (silt, argile et poussière rocheuse, matériaux organiques, charbons et lignite, sels solubles dans l'eau, mica et autres particules friables), essais de gel et dégel.

Les essais suivants sur les granulats choisis sont normalement effectués pendant la construction, dans le laboratoire de chantier :

- Granulométrie et forme des particules, substances nocives, solidité, densité relative, absorption, teneur en eau.

2.3. CONTROL OF CONCRETE CONSTITUENTS

a) Cement and cementitious materials

The quality of cement and cementitious materials is usually controlled at the manufacturing plant, before shipment to the job site. To accomplish this, it is necessary to perform routine tests which involve chemical analyses of raw materials, clinker, and cement. In many countries this control testing is carried out by a laboratory other than that of the manufacturer. In addition to the tests at the cement plant, the repetition of certain physical tests at the site laboratory may be necessary in order to verify the cement quality, its characteristics, and the uniformity from shipment to shipment. This is also useful to confirm that the cement has not been adversely affected during handling, transportation and storage on the job site.

The following tests may be performed at the site :

- Cement : temperature, false set, time of setting, fineness, compressive strength, and loss on ignition.
- Pozzolan : temperature, moisture content, loss on ignition, fineness, pozzolanic activity, water requirements, and relative density.

b) Water

Tests of the water to be used for mixing, curing and ice making should be conducted in advance by an off-site laboratory. The tests should include complete chemical analyses and performance tests as specified in the contract documents. It is advisable to check the water quality periodically by shipping water samples for laboratory tests.

c) Aggregates

The most economic choice of aggregates for concrete dam construction is usually natural sand and gravel deposits located in the vicinity of the job site; otherwise, consideration should be given to developing a quarry for the production of crushed rock aggregate. In order to assess the characteristics of the proposed aggregate sources, it is customary to carry out a complete series of tests for the determination of the aggregate quality and quantity well ahead of the time when concrete production is scheduled. Tests commonly performed on aggregates during source selection and preliminary processing are as follows :

- Petrographic examination, specific gravity, absorption, soundness, crushing strength, hardness and abrasion resistance, particle shape and texture, alkali-aggregate deleterious reactions, particle size distribution and unit weight, deleterious substances (silt, clay and rock dust, organic material, coal and lignite, water-soluble salts, mica and other friable particles), freezing and thawing tests.

The following tests of the selected aggregate are normally carried out during construction at the job site laboratory :

- Particle size distribution and shape, deleterious substances, soundness, specific gravity and absorption, and moisture content.

d) Adjuvants

Il est nécessaire d'étudier la qualité d'un adjuvant par des essais de laboratoire qui sont habituellement de deux sortes :

- Essais pour garantir l'uniformité du produit dans une gâchée donnée ou pour déterminer les variations pouvant exister entre différentes gâchées. A cet effet, il faut prendre en compte les caractéristiques suivantes : densité, couleur, pH, chlorures, solides dissous, sédiment, analyse aux infrarouges.
- Essais de performance pour vérifier l'effet des adjuvants sur le béton frais et sur le béton durci. Les essais à effectuer dans ce but concernent les caractéristiques suivantes : poids unitaire, teneur en air occlus, besoins en eau, temps de prise, ressuage, maniabilité, croissance de la résistance, changements de volume, pérennité.

e) Béton

Les essais suivants sur le béton, qui sont influencés par les caractéristiques et les propriétés des granulats, sont effectués dans les phases préliminaires de fabrication du béton :

- essais sur béton frais : maniabilité, teneur en air occlus, ressuage et prise, besoins en ciment et en eau, poids volumique,
- essais sur béton durci : résistance, densité et absorption, changement de volume, module d'élasticité, fluage, propriétés thermiques et pérennité y compris la résistance au cycle gel-dégel et à l'abrasion.

2.4. LABORATOIRE DE CHANTIER ET AUTRES MOYENS D'ESSAIS

Lorsque l'on construit un grand barrage, il faut prévoir un laboratoire principal de chantier à un emplacement convenable près du barrage lui-même. Il peut être également nécessaire d'installer des unités de contrôle satellites en des points stratégiques bien choisis, tels que le lieu où sont extraits les granulats, ou l'usine de fabrication des granulats, la station de dosage et de malaxage du béton et les zones de mise en place du béton.

a) Laboratoire principal de chantier

Quelques-uns des essais de chantier mentionnés ci-dessus comportent un contrôle de la température ambiante et/ou des conditions d'humidité d'après les méthodes d'essai classiques. Celles-ci précisent les conditions imposées au laboratoire quant à la température, à l'humidité et au matériel dans le but d'obtenir des résultats sûrs et se reproduisant toujours dans les mêmes conditions d'essai.

Pour satisfaire à de tels impératifs, il est habituel d'avoir dans le laboratoire principal quatre zones principales de travail, chacune prévue et adaptée à l'exécution de travaux donnés.

d) Admixtures

It is necessary to assess the quality of a concrete admixture by means of laboratory tests, which usually are of two different kinds :

- Tests to assure product uniformity within a single batch or to determine variability between batches. Some determinations for this purpose are : density, color, pH, chlorides, dissolved solids, sediment, and infrared analysis.
- Performance tests to verify the effect of admixtures on the fresh and hardened concrete. Tests for this purpose are : unit weight, air content, water requirement, time of setting, bleeding, workability, strength development, volume changes and durability.

e) Concrete

The following concrete performance tests, which are influenced by the characteristics and properties of the aggregates, are carried out at preliminary stages of concrete production :

- Fresh concrete tests : workability, air content, bleeding and settlement, cement and water requirements, and unit weight.
- Hardened concrete tests : strength, density and absorption, volume changes, modulus of elasticity, strain capacity, creep, thermal properties and adiabatic temperature rise, and durability including freeze-thaw and abrasion resistance.

2.4. SITE LABORATORY AND OTHER TESTING FACILITIES

In large dam construction a main site laboratory should be provided at a convenient location near the dam itself. It may be necessary to also install satellite control units in strategically chosen areas such as at the aggregate source or the aggregate processing plant, at the batching and mixing plant, and at the concrete placement areas.

a) Main site laboratory

Some of the above mentioned site tests require controlled ambient temperature and/or humidity conditions according to standard test methods. These stipulate the laboratory requirements for temperature, humidity, and equipment necessary to obtain reproducible and reliable results.

In accordance with such requirements, it is customary to have available within the main site laboratory four basic work areas, each designed and adapted to perform specific works.

DÉSIGNATION POUR LE LOCAL	TRAVAIL EFFECTUÉ	CONDITIONS A REMPLIR
Zone de bureaux	Rapports, calculs Stockage des données, activités générales.	Contrôle d'une température et d'une humidité confortables pour le personnel, convenables pour le stockage des documents et des données ainsi que pour le fonctionnement des calculateurs électroniques.
Emplacement des travaux généraux	Essais physiques des granulats, essais des mélanges de béton, essais sur le béton frais, préparation des échantillons et activités générales.	Température contrôlée pour le personnel de laboratoire (16 °C à 27 °C environ). Éclairage convenable, puissance électrique et eau pour les essais et le nettoyage
Zone des travaux spéciaux	Essais physiques sur les ciments, les pouzzolanes et les adjuvants, essais de routine sur le béton durci : essais spéciaux sur le béton durci; autres essais spéciaux.	Humidité contrôlée et ou température conforme aux méthodes d'essais normalisées adoptées. Énergie électrique et éclairage convenables
Zone de cure des éprouvettes (*)	Humidité normalisée pour la cure des échantillons de ciments, pouzzolanes, mortiers et bétons.	Température et humidité contrôlées conformes aux méthodes d'essais normalisées adoptées.

(*) La cure accélérée des éprouvettes peut imposer un équipement supplémentaire.

D'autres aires de travail avec des températures et/ou une humidité différentes peuvent être nécessaires pour y effectuer des essais spéciaux.

Des essais spéciaux demandant des installations plus élaborées et des procédés plus complexes, tels que changements de volume, fluage, pérennité et autres, sont habituellement effectués dans un laboratoire central permanent.

b) Unité de contrôle de chantier

Afin de compléter les fonctions du laboratoire principal de chantier, il faut souvent installer de petites unités de contrôle à l'endroit où la construction est réalisée. Il est conseillé que dans ces petites unités-laboratoires, la température soit réglée dans des limites convenables, par exemple de 16 °C à 27 °C.

b 1) *Unité de contrôle à la source d'extraction des granulats*

Même lorsque les spécifications quant à la qualité requise à la source d'extraction des granulats ont été définies auparavant, des modifications de caractéristiques des granulats peuvent survenir au cours de la construction nécessitant de changer les conditions d'extraction.

Pour être informé en temps voulu, il faut parfois installer à la source d'extraction de granulats, une petite unité-laboratoire avec l'équipement nécessaire pour

DESIGNATION	WORK PERFORMED	ROOM REQUIREMENTS
Office area	Reports, calculations, data storage, general activities.	Controlled temperature and humidity comfortable for personnel, suitable for storage of documents and data, and suitable for operation of electronic calculators. Suitable lighting and electric power.
General work area	Physical tests of aggregates, trial concrete mixes, fresh concrete tests, sample preparation, general activities.	Controlled temperature for laboratory personnel (range from 16 °C to 27 °C, approximately). Suitable lighting, electric power and water for testing and clean up.
Special work area	Physical tests on cements, pozzolans and admixtures; routine hardened concrete tests; special tests on hardened concrete; other special tests.	Controlled humidity and/or temperature in accordance with adopted standard test methods. Suitable electric power, lighting and water supply.
Specimen curing area (*)	Standard moist curing of cement, pozzolan, mortar and concrete specimens.	Controlled temperature and humidity in accordance with adopted standard test methods.
(*) Accelerated curing of specimens may require additional facilities.		

Additional areas with different temperature and/or humidity may be required for special testing.

Special tests such as volumetric changes, creep and durability which require more elaborate installations and complex procedures are customarily carried out at a permanent central laboratory.

b) Field control units

In order to complement the functions of the main site laboratory, it is frequently necessary to set up small control units at locations where construction takes place. It is advisable that at these small laboratory units the temperature be controlled within a suitable range, as for instance 16 °C to 27 °C.

b 1) Control unit at the aggregate source

Even when the limits of acceptable quality at the aggregate source have been previously defined, changes in characteristics of aggregates may occur as construction progresses, making it necessary to modify the sequence of extraction from the source.

To obtain timely information, it may be necessary to install a small laboratory unit at the aggregate source with the necessary equipment to carry out the following

effectuer les essais suivants : granulométrie; essais de propreté (silt, argile, impuretés organiques); masse volumique et absorption.

b 2) *Unité de contrôle à la station de criblage des granulats*

Dans le but de vérifier si les spécifications relatives aux granulats sont réalisées, il est bon d'installer à la station de criblage des granulats, une petite unité de contrôle pour effectuer les essais suivants : granulométrie, essais de propreté (silt, argile, impuretés organiques), densité relative, absorption, poids volumique, forme des particules et indice des vides. Il faut souligner la nécessité de disposer d'appareils convenables pour effectuer les prélèvements d'échantillons.

b 3) *Unité de contrôle à la centrale à béton*

Habituellement, on dispose d'un emplacement de travail avec un équipement de laboratoire près de la centrale à béton pour effectuer des essais sur les granulats prélevés à la sortie des trémies de dosage et sur le béton frais tel qu'il sort des bétonnières et aussi pour préparer des échantillons pour les essais sur le béton durci. Les principaux essais sont les suivants :

- granulats : granulométrie, teneur en eau;
adjuvants : masse volumique;
- béton : consistance, performance de la bétonnière, température, poids spécifique, teneur en air, analyse de la composition, préparation des éprouvettes pour mesure de la résistance.

b 4) *Unité de contrôle aux emplacements de mise en place du béton*

Il peut être nécessaire, pendant le bétonnage, de déterminer si certaines caractéristiques du béton provenant des bétonnières ont été modifiées pendant le transport et les manutentions jusqu'au lieu de mise en place du béton. Ceci est spécialement important si le lieu de mise en place est éloigné de la centrale. Les unités de contrôle aux lieux de mise en place doivent être équipées du matériel nécessaire pour déterminer l'affaissement, la température, la teneur en air, le poids spécifique et, si nécessaire pour préparer les échantillons. Ces unités, de même que l'unité de contrôle de la centrale, peuvent nécessiter un matériel normalisé pour le criblage des bétons frais avec granulats de grandes dimensions (voir paragraphes 4.3. et 5.2.c).

BIBLIOGRAPHIE

1. *The Cement and Concrete Reference Laboratory*, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
2. *Concrete Manual*, Eighth Edition, U.S. Bureau of Reclamation, Department of the Interior, Washington, D.C., 1975.
3. *Manual of Concrete Practice*, Part I, American Concrete Institute, Detroit, Michigan, 1979.
4. *Ciment utilisé pour le béton des grands barrages*, J. Vuorinen, Comité des matériaux de la CIGB, Bulletin n° 36.
5. *Guide et recommandations sur les adjuvants accélérateurs et retardateurs de prise pour utilisation dans le béton des grands barrages*, Comité des matériaux de la CIGB, Bulletin n° 24 Paris, juin 1973.

tests : particle size distribution, cleanness tests (silt, clay, organic impurities), and specific gravity and absorption.

b 2) Control unit at the aggregate processing plant

In order to verify compliance with aggregate specifications, it is advisable to install a small control unit at the aggregate processing plant to carry out the following tests : particle size distribution, cleanness tests (silt, clay, organic impurities), specific gravity and absorption, unit weight, particle shape, and voids ratio. The need for proper sampling devices and techniques should be stressed.

b 3) Control unit at the concrete plant

It is customary to have a work area with laboratory equipment available near the concrete plant for performing tests on the aggregates discharged from the batching bin and on the fresh concrete discharged from the mixer and for preparing specimens for hardened concrete testing. The main tests performed by this unit are as follows :

- aggregates : particle size distribution, moisture content;
- admixtures : relative density;
- concrete : consistency (slump), mixer performance temperature, unit weight, air content, analysis of composition, specimen preparation for strength.

b 4) Control units at concrete placement locations

It may be necessary during concreting operations to determine whether characteristics of the fresh concrete discharged from the mixer at the concrete placement site have changed during transport and handling en-route. This is particularly important when the point of placing is distant from the batch plant. Testing units at placement locations should be furnished with equipment necessary to determine slump, temperature, air content, and unit weight, and, if necessary, to prepare test specimens. These units, as well as the control unit at the concrete plant, may require standardized equipment for wet-screening concretes with large aggregate sizes (See Sections 4.3 and 5.2c).

BIBLIOGRAPHY

1. *The Cement and Concrete Reference Laboratory*, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pennsylvania.
2. *Concrete Manual*, Eighth Edition, U.S. Bureau of Reclamation, Department of the Interior, Washington, D.C., 1975.
3. *Manual of Concrete Practice*, Part I, American Concrete Institute, Detroit, Michigan, 1981.
4. *Cement for Concrete for Large Dams*, J. Vuorinen, I.C.O.L.D., Committee on Materials, Bulletin No. 36, Paris, May 1980.
5. *Guide and Recommendations for Accelerating and Retarding Admixtures for Use in Concrete for Large Dams*, I.C.O.L.D., Committee on Materials, Bulletin No. 24, Paris, June 1973.

6. *Guide et recommandation pour les granulats des bétons des grands barrages*, Comité des matériaux de la CIGB, Bulletin n° 18, mai 1965.
7. *Admixtures, Proceedings of international congress on admixtures*, The Construction Press, Lancaster, United Kingdom, London, 1980.
8. *Concrete admixtures : use and application*, Édité par M. R. Rixom sous l'égide de la Cement Admixture Association, The Construction Press, Lancaster, United Kingdom, 1977.
9. *A guide to quality assurance*, British Standard Institution, BS 4891, 1972.

6. *Guide and Recommendations on Aggregates for Large Concrete Dams*, I.C.O.L.D., Committee on Materials, Bulletin No. 18, Paris, May 1965.
7. *Admixtures : Proceedings of International Congress on Admixtures*, The Construction Press, Lancaster, United Kingdom, 1980.
8. *Concrete Admixtures : Use and Application*, Edited by M. R. Rixom on Behalf of Cement Admixtures Association, The Construction Press, Lancaster, United Kingdom, 1977.
9. *A Guide to Quality Assurance*, British Standards Institution, BS4891, 1972.

3. CONTROLE DE LA FABRICATION DU BÉTON ET DES INSTALLATIONS

3.1. GÉNÉRALITÉS

Le contrôle de la fabrication du béton et des installations, c'est-à-dire du matériel de stockage des matériaux, de manutention, de dosage, de gâchage et de livraison, ont une influence notable sur la fabrication d'un béton de qualité et sur le prix de revient d'un grand barrage. Pour cette raison, on impose habituellement des réglementations strictes et des normes sur la production et les moyens de fabrication ainsi que sur les composants et le béton lui-même pour assurer l'uniformité de la qualité.

3.2. STOCKAGE DES MATÉRIAUX ET MOYENS DE MANUTENTION

Ciment, pouzzolane, granulats, eau, glace et adjuvants sont les composants habituels d'un béton pour un grand barrage. Pour chacun d'eux, certaines règles doivent être respectées pendant le stockage et les manutentions de façon à garantir que l'uniformité de ces composants n'est pas altérée lorsqu'on les transporte et qu'on les déverse dans les bétonnières.

Des stockages séparés, des moyens de manutention et de pesée pour les différents mélanges et/ou les différents types de ciment et de pouzzolane doivent être prévus. Des silos et des trémies peuvent être utilisés pour leur stockage à condition qu'ils soient convenablement vidés, nettoyés et visités avant d'être à nouveau remplis.

Il faut que les trémies ou silos soient étanches et qu'ils permettent un libre écoulement et un débit efficace. Ils doivent être réalisés de telle façon qu'il ne se produise pas de tranches non vidangeables. Des dispositifs adéquats pour recueillir la poussière doivent être installés et convenablement entretenus de façon à éviter que celle-ci se propage pendant la livraison des matériaux à la centrale et pendant la fabrication du béton. Une vidange périodique des trémies et silos est souhaitable pour pouvoir détecter des fuites éventuelles.

Tous les ciments et pouzzolanes livrés en sacs doivent être stockés dans un bâtiment étanche et convenablement ventilé, conçu de façon à éviter l'absorption d'humidité. Il ne doit pas y avoir plus de 14 couches de sacs, excepté pour de courtes périodes n'excédant pas trente jours. Pour des périodes plus longues, il est préférable de ne pas avoir de stock de plus de sept sacs d'épaisseur. Les ciments stockés depuis longtemps doivent être utilisés en premier. Les ciments stockés pendant plus de six mois doivent faire l'objet de nouveaux essais avant usage.

Les stocks de granulats doivent être disposés de façon à prévenir toute contamination de l'extérieur et tout mélange entre stocks voisins. Les procédés de manuten-

3. CONTROL OF CONCRETE PRODUCTION AND RELATED FACILITIES

3.1. GENERAL

The control of concrete production and related facilities including materials storage and handling, batching and mixing equipment, and delivery equipment and systems have a notable effect on the achievement of uniform quality concrete and therefore on the cost of a large dam. For this reason, it has been customary to impose strict disciplines and standards on production and related facilities, as well as to the component materials and to the concrete itself, to ensure uniformity in quality.

3.2. MATERIALS STORAGE AND HANDLING SYSTEMS

Cement, pozzolan, aggregates, water, ice, and admixtures are normally the components of concrete for a large dam. For each of them, certain rules have to be followed during storage and handling operations in order to ensure that the uniformity of these materials is preserved as they are moved through the system and enter the mixer.

Separate storage, handling and weighing facilities for the different brands and/or types of cement and pozzolan should be provided. Silos and bins may be used to store them, provided they are properly emptied, cleaned, and inspected before being filled with a new material.

The bins or silos must be weather-proof and should permit free flow and efficient discharge. They should be constructed with no dead storage. Adequate dust collecting systems should be installed and properly maintained to prevent emission of dust during delivery of the material to the batch plant and during batching. Periodic emptying of bins and silos to inspect for leaks is desirable.

All cement and pozzolan delivered in bags must be stored in a dry, weathertight, and properly ventilated structure with adequate provision to prevent the absorption of moisture. Sacked materials should not be stacked higher than 14 sacks, unless for short periods not exceeding 30 days. For longer periods, 7-sack stacks are preferred. The oldest cement stored should be used first. Cement stored in excess of 6 months should be retested before use.

Aggregate stockpiles should be arranged to avoid contamination and to prevent intermingling with adjacent materials. Handling procedures for loading and unloa-

tion pour les chargements et déchargements doivent éviter au maximum la ségrégation et l'autoconcassage des granulats. Un criblage de finition doit être prescrit. Tous les granulats grossiers doivent passer sur un tamis de lavage et d'égouttage pour être minutieusement nettoyés et posséder une teneur en eau uniforme immédiatement avant le criblage de finition et le transfert à la centrale. L'emplacement idéal pour les cribles de finition est la partie supérieure de la centrale où chaque catégorie de granulats grossiers peut séparément passer directement dans la trémie de stockage qui lui correspond. Cette pratique, quand elle est possible, permet de réduire le risque de mélange d'une catégorie de granulats grossiers avec d'autres groupes de granulats de tailles différentes, mélange qui proviendrait d'erreurs dans l'alimentation de la centrale. En tout cas, les tamis de finition doivent être prévus de façon à ne pas causer de vibrations qui affecteraient les balances. Les résidus des granulats qui traversent le tamis de finition de fond de station, tamis habituellement à la maille de 4,75 mm (n° 4) doivent être éliminés.

Une alimentation en eau convenable doit être assurée, de même que des moyens de mesure exacts. Lorsqu'il faut régulièrement livrer le béton par temps froid, l'eau de mélange peut être chauffée jusqu'à la température minimale nécessaire à la mise en place du béton. La température maximale peut aller jusqu'au point d'ébullition, à condition de prendre des précautions spéciales pour le mélange, de façon à ce que l'eau chaude, les granulats et le sable soient mélangés avant l'addition de ciment. Pendant les bétonnages par temps chaud, on peut utiliser des morceaux de glace pouvant représenter jusqu'à 100 % de la quantité d'eau de gâchage de façon à obtenir la température voulue pour la mise en place du béton. Il faut toujours utiliser une quantité d'eau suffisante qui permette d'ajouter les adjuvants nécessaires. Il se peut que dans de nombreuses régions, on ne dispose pas de glace en quantité suffisante pour pouvoir obtenir la température adéquate pour le béton, et d'autres techniques sont alors nécessaires. Ces méthodes peuvent être entre autres le refroidissement des granulats par circulation d'air frais dans les trémies de dosage, l'immersion des granulats dans de l'eau froide, etc. De toute façon, la glace doit être fournie et dosée avec la même efficacité et exactitude que l'eau de gâchage. Il ne faudrait pas qu'elle fasse prise sur des tapis transporteurs ou dans des doseurs pour ensuite fondre, être perdue ou tomber dans les trémies.

Les réservoirs, bidons et récipients contenant des adjuvants liquides ou en poudre doivent être clairement identifiés par des étiquettes et stockés de façon à éviter les dommages résultant de la gelée, du surchauffage ou des mélanges. Il faut prévoir un dispositif d'agitation pour les adjuvants liquides qui ne sont pas stables. De toute façon, on doit prévoir des moyens de mesure précis pour les adjuvants.

Le matériel de stockage des granulats et de manutention nécessite des contrôles de routine pour obtenir un fonctionnement convenable et sûr. Ces contrôles sont la plupart du temps journaliers.

- Contrôle des sols sous la centrale pour déceler les sources de fuites.
- Nettoyage des sols, vérification que tous les drains et trappes d'évacuation sont dégagés.
- Entretien et lavage des fosses de dépôt pour leur assurer un fonctionnement efficace.
- Contrôle des tamis de lavage et d'essorage et du poste de criblage de finition.
- Contrôle de tous les silos de stockage et des trappes pour un fonctionnement efficace.

ding aggregates should keep particle segregation and breakage to a minimum. Finish-screening should be specified. All coarse aggregate should pass over a washing and dewatering screen to achieve thorough cleaning and promote uniform moisture contents immediately prior to finish-screening and transfer to the batching plant. A desirable location of finish-screens is on top of the batching plant where each separate coarse aggregate size can pass directly into its respective storage bin. This practice, if applicable, reduces the likelihood that coarse aggregates will be contaminated by aggregates of another size through mistakes in plant feed. In any case, finish-screens should be designed so as not to cause vibrations which affect the accuracy of the batching scales. Chips and flakes passing the bottom finish-screen, normally a 4.75 mm (No. 4) sieve, should be discarded.

An adequate water supply should be provided together with an accurate means of measurement. When concrete is to be delivered regularly during cold weather, the mixing water should be heated to the minimum temperature necessary to achieve the fresh concrete temperature required for placement. Maximum temperature may be as high as the boiling point provided special precautions are made during mixing, to ensure the hot water and aggregate and sand are mixed before cement is added. During hot weather concreting, flake ice approaching 100 % of the mixing water may be used in an effort to achieve the required concrete placing temperature. Sufficient water must always be used to permit proper addition of admixes. In many areas ice may be insufficient to achieve adequate fresh concrete temperature and additional techniques are necessary. These consist of chilling the aggregates by circulating cool air in the batching bins, by immersing the aggregates in cold water, or by some other procedure. In any event, ice must be supplied and batched with the same efficiency and accuracy as the mixing water. Ice should not be allowed to build up on conveyors or weight hoppers, to melt and be lost or dropped into subsequent batches.

Tanks, drums, and packages containing liquid or powder admixtures should be clearly labeled for identification purposes and stored in such a way as to avoid damage from freezing, over-heating or contamination. Agitation equipment should be provided for liquid admixtures which tend to separate. Accurate means for measurement of admixtures must be provided.

Materials storage and handling equipment requires routine maintenance checks in order to ensure their adequate and safe operation; these checks are usually daily routines :

- Check area under plant for spillage and trace the source.
- Clean the yard, checking that all drains and traps are clear.
- Clean and maintain sedimentation pits.
- Check washing and dewatering screens and finish-screening plant.
- Check all storage bins and doors for efficient operation.

- Contrôle des transporteurs et des élévateurs pour un fonctionnement normal et usure.
- Contrôle de routine et entretien des pelles de chargement.
- Contrôle de routine et entretien des compresseurs.

3.3. INSTRUMENTS DE DOSAGE

Le fonctionnement des instruments de dosage doit être contrôlé continuellement afin d'obtenir l'exactitude et l'uniformité voulues. Les instruments de dosage comprennent des trémies de pesée et d'autres dispositifs de mesure des composants du béton. La mesure par dosage volumétrique ne devrait pas être admise.

Les trémies pour la pesée des ciments, pouzzolanes, granulats, glace et eau doivent se composer de récipients convenables, suspendus librement à une balance ou à un autre appareil efficace de mesure de la masse et elles doivent être équipées d'un système de chargement satisfaisant. La méthode de contrôle des systèmes de chargement doit être telle que, lorsque la quantité requise dans les trémies de pesée est presque atteinte, le déversement du matériau soit effectué à une cadence contrôlable, et interrompu quand le poids atteint est dans la marge de tolérance.

Les trémies de pesée pour les ciments, pouzzolanes et granulats doivent pouvoir recevoir leur charge prévue sans que le matériau vienne en contact avec le système de chargement. Les trémies de pesée doivent être prévues et construites de façon à se vider efficacement et à éviter le blocage des matériaux. Un dispositif de tarage doit être prévu sur le mécanisme de pesée de façon à pouvoir régler le zéro de la balance selon les besoins, mais au moins une fois par jour.

Les résidus poussiéreux fixés sur les trémies de ciment et de pouzzolane entre le système de chargement et les récipients de pesée ne doivent pas altérer l'exactitude des pesées. Les récipients doivent comporter des ouvertures pour permettre l'évacuation de l'air. Les vibrateurs ou autres dispositifs annexes ne doivent pas altérer l'exactitude des pesées. Il doit y avoir une protection suffisante contre le vent, de façon à éviter toute action de celui-ci sur l'exactitude des pesées.

Les ciments et pouzzolanes doivent être mesurés par pesée dans les trémies ou compartiments distincts de ceux qui sont utilisés pour d'autres éléments et avec des balances d'une sensibilité convenable, les mesures étant effectuées à partir de zéro.

Les granulats doivent être mesurés par pesée en tenant compte de leur teneur en eau naturelle. L'eau peut être mesurée par pesée ou en volume, pourvu que la marge de tolérance de poids prévue soit respectée. L'installation doit permettre la mesure et l'enregistrement de la quantité d'eau réellement ajoutée à chaque gâchée. La glace doit être mesurée par pesée. Les adjuvants liquides ou en pâte doivent être mesurés en volume ou par pesée. Les adjuvants solides doivent être mesurés par pesée; les adjuvants ne doivent pas être délivrés par les dispositifs de réglage.

Lorsque l'on utilise des dispositifs d'alimentation en adjuvants, il faut prévoir un réservoir calibré ou d'autres procédés pour contrôler l'exactitude des mesures. Le dispositif d'addition d'adjuvants doit avoir une capacité suffisante pour mesurer en une seule fois la quantité totale de solution convenablement diluée nécessaire pour une gâchée. L'installation doit permettre un contrôle visuel de l'exactitude de la mesure pour chaque gâchée. Quand on utilise plus d'un adjuvant, les dispositifs d'alimentation doivent être conçus pour éviter tout mélange d'adjuvants avant qu'ils soient déversés dans la bétonnière.

- Check conveyors and bucket elevators for free-running and wear.
- Perform routine checks and servicing of loading shovels.
- Perform routine checks and servicing of compressors.

3.3. BATCHING EQUIPMENT

The operation of batching equipment needs to be checked continuously in order to ensure the desired accuracy and uniformity.

Batching equipment consists of weighing hoppers and other devices for the measurement of concrete component materials. Measurements by a volumetric batching system should not be permitted.

Hoppers for weighing cement, pozzolan, aggregates, ice, and water should consist of suitable containers freely suspended from a scale or other suitable load measuring device and should be equipped with a suitable discharging mechanism. The method of control of the loading mechanisms should be such that, as the quantity required in the weighing hopper is approached, the material may be added at a controllable rate and shut off within acceptable weighing tolerances.

Weighing hoppers for cement, pozzolan, and aggregates must be capable of receiving their rated loads without the weighed material coming in contact with the loading mechanism. The weighing hoppers should be designed and constructed to discharge efficiently and to prevent the build-up of materials. A tare adjustment should be provided on the weighing mechanism so that the scale can be adjusted to zero as needed, but this should be done at least once a day.

Dust seals provided on cement and pozzolan hoppers between the loading mechanism and weighing hopper must not affect weighing accuracy. The hopper should be vented to permit escape of air. Vibrators or other attachments must not affect the accuracy of weighing. There should be sufficient wind protection to prevent interference with weighing accuracy.

Cement and pozzolan should be measured by weight in hoppers or compartments separate from those used for other materials and on scales of appropriate sensitivity. Measurements should be taken from a zero reading.

Aggregates should be measured by weight including allowance for free moisture content. Water should be measured by weight or by volume, provided that the specified weighing tolerance is achieved. Equipment should be provided so that the amount of water actually added to each batch can be measured and recorded. Ice must be measured by weight. Liquid or paste admixture may be measured by volume or weight; solid admixtures should be measured by weight. Admixtures should not be dispensed by timing devices.

Where admixture dispensers are used, a calibrated container or other means should be provided to check the accuracy of measurement. The admixture dispenser should have sufficient capacity to measure the full quantity of the proper diluted solutions required per batch at one time.

Equipment should be designed for convenient visual confirmation of the accuracy of the measurement for each batch. When more than one admixture is used, the dispensers should be arranged to prevent intermixing of the admixtures prior to discharge into the batch.

Il faut toujours prévoir suffisamment d'essais de pesée pour vérifier l'exactitude des balances et, au moins une fois par mois, tous les systèmes de mesure de poids doivent être contrôlés. Toutes les balances doivent être examinées à fond et essayées par un spécialiste au moins tous les trois mois, les résultats étant enregistrés.

L'expérience montre qu'un contrôle plus fréquent sur place est nécessaire. Tout travail d'entretien et de réparation doit être fait sans retard et, si nécessaire, la balance essayée à nouveau.

Il est souhaitable de prévoir un enregistreur automatique, graphique ou sous forme de bande magnétique pour l'enregistrement continu des masses de tous les matériaux tels qu'ils sont fournis à la bétonnière y compris la glace et les adjuvants. En plus de la masse, il faut enregistrer les informations, telles que le temps de gâchage, l'heure, la date et l'identification des gâchées qui ont été faites.

3.4. MATÉRIEL DE GACHAGE

Le matériel de gâchage du béton pour un grand barrage comprend habituellement une ou plusieurs bétonnières fixes et leur appareillage auxiliaire. L'utilisation de ce matériel de gâchage demande également un contrôle continu pour obtenir l'homogénéité et la qualité voulues des bétons.

Les règles à suivre les plus importantes sont les suivantes :

- Avant de déverser les composants du béton dans la bétonnière, il faut déverser totalement toute la quantité d'eau ayant été retenue dans le tambour pour les besoins du nettoyage.
- Le temps de gâchage doit être mesuré à partir du moment où tous les matériaux de la gâchée sont dans le tambour de la bétonnière. Afin d'assurer un mélange satisfaisant, le temps de gâchage doit être contrôlé par un mécanisme automatique qui empêche le déchargement de la bétonnière avant que le temps nécessaire se soit écoulé.
- Le gâchage du béton pendant un temps plus long que nécessaire n'est pas recommandé, car cela peut causer l'autoconcassage des granulats grossiers, une perte d'eau de gâchage par évaporation accélérée et une diminution de la quantité d'air entraîné, tout ceci peut modifier la maniabilité du béton. Le temps de gâchage peut être plus critique pour les granulats qui s'abiment facilement que pour les granulats de meilleure qualité.
- Le matériel de gâchage doit être approprié à un déchargement sans ségrégation de béton de consistance collante. Si possible, des dispositifs doivent permettre au conducteur et au contrôleur de voir à l'intérieur de la bétonnière pour juger de la consistance du béton (§ Chapitre 4.4).

Des mesureurs de « slump », qui sont des ampèremètres donnant la puissance absorbée par la bétonnière, peuvent être utilisés comme indicateurs de consistance, mais ils ne peuvent pas remplacer les essais physiques de « slump » ni les observations visuelles.

Les bétonnières doivent être maintenues dans de bonnes conditions d'efficacité et de propreté, et ne présenter aucun dépôt notable de ciment ou de béton durci dans le tambour ou sur les couteaux de malaxage, sur les trémies de pesée ou sur les trémies inclinées de déchargement. Les bétonnières doivent être examinées périodiquement pour contrôler l'état de leurs lames et celui de la bétonnière elle-même. Des

Sufficient test weights should always be available for checking the accuracy of the scales. At least once per month all load-measuring mechanisms should be checked. All scales should be inspected and tested by a specialist at least every three months over their complete range, the result being recorded. Experience may show that more frequent checking is necessary. Any maintenance or repair work should be done immediately, and the scale should then be retested.

It is desirable to provide an automatic graphic or digital recorder for continuous recording of the weights of all materials as they are delivered to the mixer, including ice and admixtures. In addition to recording the weights, such information as mixing time, time of day, date and identification of the mixes being batched should be registered.

3.4. MIXING EQUIPMENT

Concrete mixing equipment for a large dam usually includes one or more stationary mixers and their auxiliary devices. The operation of the mixing equipment requires continuous checking to promote the achievement of the desired homogeneity of concrete mixes. The most important requirements are as follows :

Before loading concrete materials into the concrete mixer, any water retained in the mixing drum from washing it must be completely discharged.

Mixing time should be measured from the time all materials required for the batch are in the drum of the mixer. In order to produce a satisfactory mix, mixing time should be controlled by an automatic mechanism that prevents discharging until the necessary time has elapsed. The mixing of concrete for longer than necessary is not recommended because this may cause the breakage of coarse aggregate, the loss of mixing water by accelerated evaporation, and the loss of entrained air, all of which can change the workability of the concrete. Mixing time may be more critical for aggregates which degrade easily than for aggregates of better quality.

Mixing equipment must be able to discharge stiff-consistency concrete mixes without segregation. If possible, arrangements should be made to permit the operator and the inspector to see inside the mixer and to judge the concrete consistency (see Section 4.4). « Slumpmeters », which are meters indicating power requirements for the mixer drum, can be used as indicators of consistency, but they should not replace physical slump tests and visual observations.

Mixers should be maintained in an efficient and clean condition with no appreciable build-up of hardened cement or concrete in the mixing drum, on the mixing blades, on the loading hopper, or on the discharge chutes. Mixers should be periodically inspected to judge the condition of the mixer blades and the mixer itself.

essais de rendement de la bétonnière doivent être effectués avant le commencement des travaux et périodiquement pendant la durée de ceux-ci. Il y a plusieurs procédés pour déterminer la performance d'une bétonnière : dans tous, ce que l'on mesure réellement, c'est le degré de variabilité de la maniabilité, du poids unitaire, de la résistance à la compression, de la teneur en granulats grossiers et de la teneur en ciment, dans une seule gâchée.

Un programme général d'entretien du matériel de gâchage et des instruments de dosage doit être suivi pour assurer un bon fonctionnement pendant la fabrication du béton. Un service d'entretien journalier, hebdomadaire et mensuel doit être clairement détaillé dans ce programme. Cependant, les travaux d'entretien nécessitant un arrêt de la station ne doivent jamais être prévus pendant la mise en place du béton.

3.5. DISPOSITIFS ET MATÉRIELS DE TRANSPORT

On réalise le contrôle du matériel de transport du béton grâce à une visite continue sur le chantier. Comme pour le matériel de dosage et de gâchage, il est recommandé de suivre un programme d'entretien journalier, hebdomadaire et mensuel fixé d'avance.

Les principaux points à contrôler pendant le transport du béton sont : délais de transport, augmentation de la température, diminution de la maniabilité et ségrégation. On préfère généralement utiliser des bennes fermées telles que : bennes à déchargement par le fond pour le transport depuis la bétonnière jusqu'au lieu de mise en place. Ceci résulte du fait que l'on utilise normalement pour la construction des barrages des bétons à consistance collante, de faible dosage et des granulats de dimension maximale élevée. Il est possible d'utiliser des trémies inclinées pour le déversement du béton, spécialement pour atteindre des points d'accès difficiles, mais des précautions spéciales doivent être prises pour éviter la ségrégation. On peut utiliser des convoyeurs à courroies s'ils sont spécifiquement conçus pour des bétons de masse mais ils peuvent imposer des dispositifs spéciaux pour protéger les bétons des intempéries.

Avant d'utiliser les courroies et les trémies pour des zones difficiles de construction permanente, un essai sur place doit être effectué pour déterminer si un nouveau gâchage du béton ou une modification du matériel est nécessaire. Les pompes à béton conviennent mal pour le transport de béton de masse avec des granulats de grande dimension et/ou des mélanges de faible maniabilité.

Le transport du béton jusqu'au lieu de mise en place est effectué normalement par un système comprenant une plate-forme sur rails, des wagons, des grues, des blondins, des derricks, etc.

Les bennes doivent permettre un déchargement lent et/ou partiel du béton et être capable de décharger rapidement un béton de consistance collante.

Pour mettre en place le béton dans sa position finale, le déchargement des bennes peut nécessiter un matériel auxiliaire tel que des goulottes ou des tubes télescopiques appelés généralement « trompes d'éléphant ». Les goulottes ou « trompes d'éléphant » doivent être calculées au plus juste et/ou utilisées de telle façon qu'elles ne produisent pas de ségrégation ou de perte de mortier.

Mixer performance tests should be made initially and then periodically throughout the duration of the work. There are several procedures for determining the performance of a mixer; all of them measure the degree of variability in workability, unit weight, compressive strength, coarse aggregate content, and (sometimes) cement content within a single batch.

A general maintenance program for the mixing equipment and for the batching equipment should be adopted and carried out to ensure adequate functioning during concrete production. Daily, weekly, and monthly maintenance service should be clearly detailed in that program. However, maintenance work requiring plant shutdown should never be scheduled during concrete placement.

3.5. DELIVERY EQUIPMENT AND SYSTEMS

Control of delivery equipment and systems is achieved by continuous inspection at the job site. As with batching and mixing equipment, it is advisable to follow a maintenance program based on daily, weekly and monthly routines.

The main characteristics to observe and control during delivery of concrete are : delivery time, temperature rise, loss of workability, and segregation.

Closed containers such as bottom-discharge buckets are generally preferred for the delivery of concrete from the mixing plant to the site of placement. This is because stiff-consistency, lean-mix, large-maximum-size-aggregate concrete is normally used for dam construction. Chutes are acceptable for the inclined movement of concrete to reach spots of difficult access, but special care must be taken to prevent segregation. Belt conveyors are acceptable when specifically designed for mass concrete, but they may require provisions to protect concrete from the elements. Before being used for concrete in a critical area of permanent construction, a field demonstration should be made of belt and chute systems to determine if remixing of concrete or refinements of the equipment are needed. Pumps are unsuitable for the delivery of mass concrete for dams because of the large size aggregate and/or the low workability mixes.

Transportation of concrete to the site of placement is accomplished normally by systems which combine railway platforms, rail cars, trucks, cranes, cable-ways, derricks, and the like.

Buckets should permit slow and/or partial discharge of concrete and should be capable of prompt discharge of stiff-consistency concrete.

To place concrete in its final position, the discharge of the bucket may require auxiliary equipment such as drop chutes or the collapsible tubes usually called elephant trunks. Chutes or elephant trunks should be tight and/or used in such a manner that they do not produce segregation or loss of mortar.

BIBLIOGRAPHIE

1. *The BRMCA Authorization Scheme*, The BRMCA Guide, London, The British Ready-Mixed Concrete Association, 1971.
2. *Concrete manual, Eighth Edition*, Bureau of Reclamation, Department of the Interior, 1975.
3. *Manual of concrete practice*, Part I, American Concrete Institute, Detroit, Michigan, 1973.
4. *Certification of Ready Mixed Concrete Production Facilities*, National Ready Mixed Concrete Association, Silver Springs, Maryland, January, 1972.
5. *Concrete plant standards*, Concrete Plant Manufacturers Bureau, 900 Spring Street, Silver Springs, Maryland 20910.

BIBLIOGRAPHY

1. *The B.R.M.C.A. Authorization Scheme*, The B.R.M.C.A. Guide, London, the British Ready-Mixed Concrete Association, 1971.
2. *Concrete Manual*, Eighth Edition, Bureau of Reclamation, Department of the Interior, 1975.
3. *Manual of Concrete Practice*, Part I, American Concrete Institute, Detroit, Michigan, 1981.
4. *Certification of Ready-Mixed Concrete Production Facilities*, National Ready-Mixed Concrete Association, Silver Springs, Maryland, January, 1972.
5. *Concrete Plant Standards*, Concrete Plant Manufacturers Bureau, 900 Spring Street, Silver Springs, Maryland, 20910.

4. CONTROLE DE QUALITÉ DU BÉTON FRAIS PENDANT LA FABRICATION

4.1. GÉNÉRALITÉS

L'application pratique du contrôle de qualité pendant la fabrication et la manutention nécessite de refaire le plus parfaitement possible le mélange choisi, gâchée après gâchée. Il nécessite également la conservation de l'homogénéité du béton jusqu'à son emplacement final dans l'ouvrage. Ceci peut être obtenu par le respect des conditions fixées relatives aux domaines suivants :

- Possibilités de disposer de composants du béton permettant d'obtenir la mise en place prévue;
- Dosage précis et mélange efficace des composants du béton; transport, mise en place et compactage convenable du béton.
- Vérification des caractéristiques du béton frais aussi bien à la station de bétonnage qu'à l'endroit de mise en place;
- Prise en compte des résultats des contrôles pour les ajustements et corrections nécessaires.

4.2. COMPOSANTS DU BÉTON

Les spécifications du béton doivent indiquer clairement les exigences quant à la qualité de chacun des composants. Ainsi, l'une des fonctions essentielles du contrôle de qualité est la confirmation par les essais prescrits de la conformité de chacun des composants aux spécifications imposées.

D'autre part, et en premier lieu, le contrôle de qualité vise à maintenir les variations des propriétés de chacun des ingrédients dans la marge de tolérances raisonnables et à maîtriser ces variations de façon que les propriétés du béton frais et du béton durci puissent être prévues, lorsque les composants sont dosés et mélangés.

4.3. DOSAGE ET GACHAGE

Il est nécessaire que chaque constituant du béton soit dosé en masse individuellement et de façon précise dans la marge de tolérance prescrite et que les matériaux dosés soient soigneusement manutentionnés pour que le béton contienne bien les quantités qui ont été mesurées par le matériel de dosage.

Certaines phases bien précises de contrôle sont recommandées de façon à remplir les conditions pour que dans chaque gâchée de béton, les matériaux constituants soient tels que prescrits par l'étude et adaptés pour une mise en place facile de volumes importants. Les plus importantes sont :

4. QUALITY CONTROL OF FRESH CONCRETE DURING PRODUCTION

4.1. GENERAL

Practical application of quality control during production and handling demands repetition of the selected mix with the highest degree of accuracy batch after batch. It also demands the preservation of homogeneity of the concrete up to its final position in the structure. This may be achieved by complying with pre-established requirements in the following areas :

- Availability of concrete ingredients sufficient for the scheduled placement.
- Accurate batching and efficient mixing of concrete components; proper delivery, placing and compaction of concrete.
- Verification of fresh-concrete characteristics both at the plant and at the placement site.
- Feedback of results for adjustments and corrections.

4.2. CONCRETE COMPONENTS

The concrete specifications should clearly indicate the quality requirements of each of the components. Thus, an essential activity within the general quality control process is the confirmation by prescribed test of each component's compliance with specifications.

The primary objective of the quality control process is to maintain the variation of the properties of each ingredient within reasonable tolerances by monitoring this variation. This is necessary in order to predict the properties of the resulting fresh and hardened concrete as the ingredients are batched and mixed.

4.3. BATCHING AND MIXING

Each of the constituent concrete batches must be individually and accurately batched by weight within prescribed tolerances, and the batched materials must be carefully handled so that the mixed concrete will contain the same quantities that were measured by the batching devices.

Certain definite steps of control are recommended in order to assure that the constituent materials in each concrete batch are as prescribed by the design for smooth, high volume placement operation. The most important are :

a) Détermination fréquente de la teneur en eau des granulats pendant les opérations de gâchage et modifications correspondantes dans les trémies de pesée des granulats, de l'eau et/ou de la glace. Les appareils de mesure d'humidité, s'ils sont utilisés, doivent être fréquemment calibrés et leur sensibilité contrôlée.

b) Prise d'échantillons et essais des granulats, pour déterminer si la granulométrie et la propreté sont conformes aux spécifications.

c) Prise d'échantillons du béton frais et détermination de sa consistance (slump), poids unitaire, teneur en air occlus et composition. Comparaison avec les valeurs prescrites pour le mélange étudié. Contrôle de sa température et comparaison avec les spécifications.

d) Petits ajustements de la teneur en eau ou en glace pour obtenir la même consistance de béton d'une gâchée à l'autre et maintenir sa température dans la marge des limites prescrites tout en ne dépassant pas le rapport eau/ciment maximum prévu.

Il peut être utile de définir la quantité d'eau maximale et minimale qu'il faut ajouter dans la bétonnière pour donner au contrôleur ou au conducteur de la bétonnière la marge des tolérances pour les ajustements permettant d'obtenir une consistance uniforme. La quantité d'eau réellement ajoutée doit être enregistrée et les tendances à variations analysées.

e) Contrôle par un examen visuel de l'homogénéité du béton sortant des bétonnières.

Parfois, le béton ne semble pas convenablement mélangé, même s'il n'y a pas de pertes de matériaux pendant les opérations de chargement et de gâchage ni de surcharges de la bétonnière et si le temps de gâchage prescrit est respecté. Cela peut signifier que les lames de la bétonnière sont usées ou que ces lames ne sont pas conçues de façon convenable ou qu'il s'est produit un collage de béton durci dans la bétonnière ou enfin que l'opération de chargement de la bétonnière n'est pas correcte. Un essai de rendement de la bétonnière doit être effectué si on pense se trouver dans cette situation.

4.4 PRISE D'ÉCHANTILLONS ET ESSAIS DU BÉTON FRAIS

Les échantillons de béton frais pour les essais sont prélevés à la station de fabrication du béton et à l'endroit de sa mise en place en suivant un plan de prélèvement tenant compte de différents facteurs tels que : cadence de fabrication, limitation du temps des essais (voir 5.2). Il est essentiel d'installer un système de communication entre la station de gâchage et l'endroit où le béton est mis en place.

Le but de la prise d'échantillons et des essais sur le béton frais est de permettre la vérification immédiate de la qualité au moyen d'essais simples et susceptibles d'interprétation rapide. Les plus importants de ces essais concernent la consistance (slump), la maniabilité, le poids unitaire, la teneur en air occlus, la température et l'analyse de la composition. Il est utile de présenter les résultats des essais sous forme de tableaux de contrôle. Ceci permet de suivre facilement l'évolution de la fabrication et facilite la mise en évidence des tendances et des défauts.

Avec ses limitations, l'essai de « slump » est un moyen très simple d'obtenir une indication sur la consistance. L'essai de « slump » permet en quelque sorte également le contrôle du rapport eau/ciment. Cela est dû au fait que les mélanges

a) Determine frequently the moisture content of aggregates during batching operations and adjust individual batch weight of aggregates and of water and/or ice. Moisture meters, if used, should be frequently calibrated and the sensing probes checked.

b) Sample and test aggregates to determine whether the gradations and cleanliness conform to the specifications.

c) Sample fresh concrete and determine its consistency (slump), unit weight, air content, and composition. Compare results with the values prescribed for the design mix. Check its temperature and compare with specifications.

d) Permit small adjustments in water or ice content to produce the same consistency of concrete from batch to batch and to maintain its temperature within prescribed limits, provided the maximum permitted water-cement ratio is not exceeded. It may be useful to define the water to be added at the mixer in terms of a maximum and a minimum to give the inspector or mixer driver limited scope for adjustment to produce a uniform consistency. The amount of water actually added should be recorded and trends analyzed.

e) Judge the homogeneity of concrete mixes discharged from the mixers by visual inspection. Sometimes concrete does not seem to be well mixed even though loss of materials during loading and mixing operations and over-loading of the mixer are completely avoided and the prescribed mixing time is being met. This may indicate that the mixer blades are worn out, that the blades are not adequately designed, that there is a build-up of hardened concrete in the mixer, or that the mixer loading sequence is not correct. Conduct a mixer performance test if this situation is suspected.

4.4. SAMPLING AND TESTING FRESH CONCRETE

Fresh concrete samples for testing are obtained at the concrete plant and at the site of placement by means of a sampling plan which takes into consideration factors such as rate of production and testing time limitations (see Section 5.2). The installation of a communication system between the batch plant and the location where the concrete is being placed is essential.

In sampling and testing fresh concrete the aim is the immediate verification of quality by means of tests which should be simple and capable of rapid interpretation. The most important of these tests are : consistency (slump), workability, unit weight, air content, temperature, and analysis of composition. It is useful to present test results in the form of control charts. These enable the progress of production to be followed easily, and they help in detecting trends and defects.

Within its limitations, the slump test is a very simple way to get an indication of consistency. To a certain degree, the slump test also controls the water-cement ratio. This is true because mixes with the same slump will have nearly the same

avec le même « slump » auront à peu près la même quantité d'eau et par conséquent, le même rapport ciment/eau, pourvu, bien entendu, que les autres facteurs tels que les poids des constituants, la granulométrie des granulats, la température, etc. restent constants. Si la teneur en eau des granulats est raisonnablement stable, si la granulométrie est uniforme, les poids des constituants du béton dosés avec exactitude et si les variations de température sont négligeables, alors des variations de « slump » dans les mélanges similaires peuvent être maintenues dans une marge étroite de tolérance.

En raison de la taille maximale des granulats, les essais de « slump » ne sont pas directement applicables dans tous les cas au béton de masse pour grands barrages. Par conséquent, les essais sont effectués sur la partie du mélange limitée aux matériaux, inférieurs à 38 mn (1 1/2"), obtenus par criblage comme décrit au paragraphe 5.2.c. Le même processus normalisé sera utilisé à tous les endroits où des échantillons de béton frais seront prélevés.

Lorsque celui-ci est possible, l'examen direct du béton au moment du gâchage est d'une très grande importance pour le contrôle du « slump ». Dans ce cas, avant de faire un prélèvement pour un essai de « slump », le contrôleur doit observer l'apparence du béton dans la bétonnière et estimer le « slump ». Comme il est probable qu'il y ait perte de « slump » pendant les manutentions et le transport de la station de fabrication du béton à l'endroit de sa mise en place, il est important d'effectuer des essais de « slump » aux deux emplacements.

Toutes les mesures devront être prises pour réduire cette perte éventuelle au strict minimum.

Outre les essais de « slump », d'autres essais de contrôle de consistance et/ou maniabilité peuvent être effectués tels que les essais du coefficient de compactage, les essais au consistomètre VeBe, ou autres essais basés sur les pratiques locales.

On détermine normalement la teneur en air occlus et la température du béton ainsi que celle du « slump », chaque fois que l'on prélève un échantillon pour la préparation des éprouvettes de résistance, sur la portion d'éléments du mélange inférieur à 38 mm (1 1/2"). Les essais de poids unitaire peuvent être effectués avec ou indépendamment des essais sur la teneur en air. Le poids unitaire du mélange total est nécessaire pour calculer la quantité unitaire de ciment et d'eau et pour déterminer la quantité de béton produite; on peut aussi calculer la teneur en air gravimétrique du mélange.

On fait beaucoup d'efforts pour trouver une méthode normalisée simple pour déterminer la teneur réelle en eau et en ciment d'un béton frais dès sa sortie de la bétonnière. Le but est de savoir très tôt si la composition du béton, tel qu'il a été dosé et tel qu'il sort de la bétonnière, est la même; ceci dans le but de prévoir exactement et rapidement les propriétés du béton durci et de prendre les dispositions nécessaires d'ajustement. Les essais pour l'analyse de composition d'un béton frais doivent être commencés dès que le béton est déchargé de la bétonnière. Sans cela, les résultats de l'analyse ne seront pas exacts. Il existe certains procédés valables pour l'analyse du béton frais qui donnent des résultats quelques minutes après la prise d'échantillons. Leur degré d'exactitude est encore discuté.

4.5. PRISE EN COMPTE DES RÉSULTATS D'ESSAIS

Une prise en compte efficace et en temps voulu des résultats des essais sur le béton frais est essentielle pour l'obtention des niveaux de qualité demandés et peut

amount of water and therefore the same water-cement ratio, provided, of course, that other factors such as the constituent weights, aggregate grading, temperature, etc., remain constant. If aggregate moisture content is reasonably stable, grading is uniform, the weights of the concrete constituents are accurately batched, and the temperature variations are negligible then the slump variations in similar mixes may be maintained within narrow limits.

Because of large aggregate size, the slump test is not always directly applicable to mass concrete for large dams. Therefore, the test is performed on the minus 38 mm (1-1/2 in.) portion of the concrete mix using the wet-screening process described in paragraph 5.2c. The same standardized process will be required at all locations where samples of fresh concrete are taken.

Whenever practicable, direct observation of the concrete while being mixed is of great value for slump control. In such cases, before sampling for a slump test, the inspector should observe the concrete's appearance in the mixer and estimate the slump.

As it is likely that a slump loss during handling and transportation from the concrete plant to the site of placement will occur, it is important to run slump tests in both locations. Every action should be taken to minimize this slump loss.

In addition to the slump test, other consistency and/or workability control tests may be performed, such as the compacting factor test, the VeBe consistometer test and other tests based on local practices.

The determination of air content and temperature of concrete, in addition to the slump, is normally carried out on the minus 38 mm (1-1/2 in.) portion of the concrete mix every time a sample is taken for preparation of strength specimens. The unit weight test may be conducted with, or independently of, the air content test. Unit weight of full-mix concrete is necessary to calculate unit contents of cement and water and to determine the concrete yield; gravimetric air content of the mix may also be calculated.

Many efforts are being made to establish a simple standard method to determine the actual water and cement content of fresh concrete as soon as it leaves the mixer. The purpose is to know at an early moment whether the as-batched and the actual composition of the concrete are the same in order to predict accurately and quickly the properties of the hardened concrete and to take corrective action. The test for analysis of composition of fresh concrete must be started as soon as the concrete is discharged from the mixer. Otherwise the results of the analysis will be inaccurate. There are some procedures available for the analysis of fresh concrete which produce results within a few minutes after sampling. Their degree of reliability is still under investigation.

4.5. FEEDBACK OF TEST RESULTS

Reliable and timely feedback of the results of tests on fresh concrete is essential for the achievement of the required quality levels, and it may help to lower the cost

contribuer à l'abaissement du coût de production. Étant donné que les essais sur le béton frais ne prennent que peu de temps, les résultats serviront à signaler immédiatement les ajustements nécessaires sur les proportions du mélange. Ces essais complètent l'observation visuelle du béton dans la bétonnière et aident le contrôleur de la station de gâchage à déterminer la consistance du béton.

Une modification importante de la consistance ou de la maniabilité du béton peut indiquer des erreurs dans les dosages de l'eau ou d'autres constituants. Elle peut également indiquer des modifications incontrôlées dans la teneur en eau et/ou dans la granulométrie des granulats, spécialement dans les granulats fins. Des variations des adjuvants livrés, la composition chimique ou la finesse du ciment, la température du béton, etc. peuvent aussi produire les changements importants de consistance ou de maniabilité du béton.

Dans le but de détecter les causes de variations de « slump », il est conseillé de noter les résultats des essais sur les constituants du béton tels que granulométrie des granulats et leur teneur en eau, teneur en air, etc. et autres données relatives à la température ambiante et à celle du béton, humidité relative, etc. directement sur la même feuille de contrôle que le « slump ».

Le contrôle de la teneur en air occlus est essentiel lorsqu'on utilise un agent entraîneur d'air. Des variations excessives de la quantité d'air du béton nécessitent une recherche de leur cause et la mise en œuvre de moyens de vérification. Les causes de variations de la quantité d'air occlus, sont :

- a) variations de la température du béton dosé;
- b) variations du dosage de l'agent entraîneur d'air;
- c) modifications des propriétés de l'agent entraîneur d'air;
- d) gâchage et/ou manutention inadéquats du béton frais;
- e) modification des propriétés des autres constituants, particulièrement du sable, du ciment et du pouzzolane;
- f) éléments nocifs dans les granulats fins.

Des variations légères acceptables de la teneur en air se produisent fréquemment au cours d'une fabrication normale; des variations plus importantes imposent que l'on identifie la cause qui en est responsable et que l'on s'efforce de réduire ou d'éliminer son influence dans les gâchées futures.

Les variations du poids unitaire du béton proviennent généralement de :

a) problèmes mécaniques relatifs à la station de dosage ou à l'alimentation en granulats;

b) variations des densités relatives des granulats;

c) variation des proportions du mélange;

d) variations de la teneur en air. Quand des variations excessives de poids unitaire ont lieu, les causes doivent être recherchées et les mesures appropriées de rectification prises.

4.6. AJUSTEMENT DES MÉLANGES

L'ajustement de la composition du béton pendant la fabrication, avant et après que les résultats des essais sur le béton frais aient été obtenus, est un des objectifs principaux du contrôle de qualité. En fait, l'action de rectification du dosage est la mesure la plus efficace qui puisse être prise pour le contrôle de qualité du béton frais.

of production. Since fresh concrete tests take only a short time to conduct, the results serve as immediate signals for any needed adjustment to mix proportions. These tests supplement visual observations of concrete in the mixer and assist the mixing plant inspector in his judgment of consistency.

A substantial change in the fresh concrete consistency or workability may be indicative of errors in batching the water or other constituents. It also may indicate uncontrolled changes in moisture and/or in the grading of the aggregates, mainly in the fine aggregate. Variations in the admixture dispenser, cement chemistry or fineness, concrete temperature, etc., may also produce significant changes in the concrete consistency or workability.

In order to detect the assignable causes of slump variations, it is advisable to plot the results of tests on concrete constituents such as aggregate grading and its moisture content, air content, etc., and other data related to ambient and concrete temperatures, relative humidity, etc., directly on the control chart for slump.

The control of air content is essential when using an air-entraining agent. Excessive variations in the air content of concrete must be investigated and corrective action taken. Among the causes of variations in air content are :

- a)* variations in the temperature of concrete as batched;
- b)* variations in the dispensing of the air-entraining agent;
- c)* alteration of the properties of the air-entraining agent;
- d)* inadequate mixing and/or handling of fresh concrete;
- e)* variations in the properties of the other constituents, particularly sand, cement, and pozzolan;
- f)* deleterious material in the aggregate fines.

Small permissible variations in air content often occur in the process of normal production; larger variations require the identification of an assignable cause and efforts to reduce or eliminate its influence in future mixes.

Variations in concrete unit weight are usually caused by :

- a)* mechanical problems with the batch plant or aggregate feed;
- b)* variations in the relative density in the aggregates;
- c)* variations in the mix proportions;
- d)* variations in the air content.

When excessive variations in unit weight occur, the causes should be investigated and appropriate corrective measures taken.

4.6. ADJUSTMENT OF MIXES

Adjustment of concrete mixes during production, before and after results of fresh concrete tests have been obtained, must be one of the main objectives of quality control. The action of adjusting mixes represents the most opportune measure that

qui — par définition — concerne les mesures de nature à corriger toute variation inacceptable par rapport aux spécifications prescrites pour l'ouvrage.

Les mesures de « slump » sont particulièrement utiles pour confirmer les variations excessives de consistance du béton. Les spécifications des ouvrages comprennent normalement les variations acceptables de « slump » qui ne nécessitent pas obligatoirement d'ajustement dans la quantité d'eau de gâchage. Cependant, de légers ajustements dans la quantité d'eau sont continuellement nécessaires dans la majorité des cas au cours de la fabrication du béton pour la construction d'un barrage (voir chapitre 4.3).

Les résultats des essais de teneur en air occlus sont normalement en relation avec le dosage d'adjuvants entraîneurs d'air. Considérant que des variations peuvent se produire, même sous un contrôle des plus stricts, les spécifications de chantier fixent habituellement une marge de tolérance de la teneur en air occlus qui de son côté dépend habituellement de la taille maximale des granulats. Des ajustements de dosage des adjuvants devront être de pratique courante afin de maintenir la teneur en air dans les limites de tolérance fixées.

Comme indiqué en 4.4, on peut faire des analyses sur la composition du béton frais. Ces essais sont particulièrement utiles pour faire des corrections rapides sur la composition du mélange. Cependant, du fait de leur utilité limitée, la fiabilité de ces essais a été discutée et fait actuellement l'objet d'études.

Des ordinateurs peuvent être utilisés pour le contrôle et la mise au point de mélanges de béton et pour l'analyse et l'interprétation des résultats d'essais. De plus, l'ordinateur peut être programmé pour déterminer si les caractéristiques réelles sont conformes aux spécifications du projet. En outre, des calculateurs de tableaux équipés de fonctions statistiques sont utiles pour l'analyse des données. Il est même possible d'annexer un dispositif automatique de contrôle à différents modèles de calculateurs.

BIBLIOGRAPHIE

1. *Concrete Manual*, Eighth Edition, Bureau of Reclamation, Department of the Interior, 1975.
2. *Principes recommandés pour le contrôle de qualité et l'agrément du béton*. Comité commun de C.E.B., C.I.B., F.I.P., R.I.L.E.M., Munich, 1974.
3. *Méthodes d'analyses du béton frais*, Ruiz de Gauna, José Calleja, Monografía 320, Instituto Eduardo Torroja del Cemento y de la Construcción, Madrid, 1974.
4. *304-73 recommended practice for measuring, mixing, transporting, and placing concrete (ACI 304-73) (Reaffirmed 1978)*, A.C.I. Committee 304, American Concrete Institute, Detroit, 1973, 40 pp.
5. *Properties of Concrete*, Neville A.M. Pitman Publishing, London, 1972.
6. *Annual Book of A.S.T.M. Standards, Part 14. Concrete and Mineral Aggregates*, Philadelphia, 1979.
7. *Contrôle de qualité et fiabilité dans l'entreprise industrielle*, Enrik N. L., Editions Eyrolles, Paris, 1968.

can be taken for fresh concrete quality control, which — by definition — refers to measures for correcting any unacceptable deviation from the job specifications.

Slump measurements are particularly useful for confirming excessive variations in concrete consistency. Job specifications normally include permissible variation in slump that do not necessarily imply adjustments in the amount of mixing water; however, slight adjustments in the amount of water are continuously required in the majority of cases in the production of concrete for dam construction (see Section 4.3.).

Air content tests results are normally related to the dosage of air-entraining admixtures. Considering that variations may occur even under the most controlled conditions, job specifications usually set an acceptance range for the air content which, in turn, usually depends upon the maximum size of the aggregate. Adjustments in the admixtures dosage should be standard practice in order to maintain the air content within tolerance limits.

As mentioned in Section 4.4., analyses can be made of the composition of fresh concrete. These tests are particularly useful for making quick adjustments in mix composition. However, based on their limited usage, the reliability of these tests has been questioned and is being studied currently.

The use of computer systems may be applied in the control and adjustment of concrete mixes and in the analysis and interpretation of concrete test results. Furthermore, the computer can be programmed to determine compliance with project specifications. In addition, desk calculators provided with statistical functions are useful in the analysis of data. It is even possible to attach a plotter to several calculator models.

BIBLIOGRAPHY

1. *Concrete Manual*, Eighth Edition, Bureau of Reclamation, Department of the Interior, 1975.
2. *Recommended Principles for the Control of Quality and the Judgment of Acceptability of Concrete*, Joint Committee C.E.B., C.I.B., F.I.P., R.I.L.E.M., Munich, 1974.
3. *Methods of Analysis of Fresh Concrete*, Ruiz De Gauna, Jose Calleja, Monografía 320, Instituto Eduardo Torroja del Cemento y de la Construcción, Madrid, 1974.
4. *304-73 Recommended Practice for Measuring, Mixing, Transporting, and Placing Concrete*, (ACI 304-73) (Reaffirmed 1978), A.C.I. Committee 304, American Concrete Institute, Detroit, Michigan, 1973, 40 pp.
5. *Properties of Concrete*, Neville, A.M., Pitman Publishing, London, 1972.
6. Annual Book of A.S.T.M. Standards, Part 14, *Concrete and Mineral Aggregates*, Philadelphia, Pennsylvania, 1979.
7. *Contrôle de Qualité et Fiabilité dans l'Entreprise Industrielle*, Enrik, N.L., Editions Eyrolles, Paris, France, 1968.

8. *Manual of Concrete Practice, Part I*, American Concrete Institute, Detroit, 1979.
9. British Standard 1881 : Part II, *Methods of Testing Fresh Concrete*, British Standards Institution, 1970.
10. *Movement and distribution of Concrete*, Illingworth J. R. Maidenhead, England, Mc Graw Hill (U.K.), 1972.
11. *Concrete construction Handbook* Waddell J. J., Maidenhead England Mc Graw Hill (U.K), 2nd, Edition, 1974.
12. *Concrete Materials and Practice*, Murdock L. J., Brook K. M., London, Edward Arnold, 5th Edition, 1979.

8. *Manual of Concrete Practice*, Part I, American Concrete Institute, Detroit, Michigan, 1981.
9. British Standard 1881 : Part II, *Methods of Testing Fresh Concrete*, British Standards Institution, 1970.
10. *Movement and Distribution of Concrete*, Illingworth, J.R., Maidenhead, England, McGraw-Hill (UK), 1972.
11. *Concrete Construction Handbook*, Waddell, J.J., Maidenhead, England, McGraw-Hill (UK), 2nd Edition, 1974.
12. *Concrete Materials and Practice*, Murdock, L.J., Brook, K.M., London, Edward Arnold, 5th Edition, 1979.

5. ESSAIS SUR LE BÉTON DURCI

5.1. GÉNÉRALITÉS

La confirmation des propriétés du béton durci qui est l'étape déterminante du contrôle de qualité du béton, est effectuée au moyen d'essais sur des éprouvettes moulées au moment de la fabrication du béton. Les résultats constituent les données fondamentales du contrôle de la qualité obtenue.

Dans le but d'être compatibles avec la cadence de production et les caractéristiques de durcissement des bétons pour grands barrages, les essais sont effectués sur des bétons d'âges différents, pouvant aller de quelques heures à plusieurs mois ou années. Les âges habituels pour les essais d'échantillons de masse sont 24 et 48 heures; 3, 7, 28 et 56 jours, 3 et 6 mois; 1, 3 et 5 ans.

D'une façon générale, suivant le temps écoulé entre le moulage des éprouvettes et les essais, les essais sur le béton durci ont trois objectifs principaux :

a) Évaluer le comportement des éléments du béton ainsi que la convenance du mélange et des dispositifs de fabrication.

b) Déterminer le niveau de contrôle de qualité obtenu et le comparer avec les normes fixées.

c) Suivre l'évolution des propriétés du béton en vue d'établir des bases pour l'étude du comportement de l'ouvrage.

A proprement parler, seuls *a)* et *b)* font réellement partie du processus de contrôle de qualité du béton.

5.2. PRÉPARATION DES ÉPROUVETTES ET CURE

Le type des éprouvettes pour les essais du béton durci dépendra des propriétés ou des caractéristiques que l'on doit mesurer et de la procédure des essais, qui de son côté, dépend de la pratique adoptée localement. Le tableau suivant indique les pratiques généralement adoptées en la matière :

PROPRIÉTÉ DU BÉTON	PRATIQUE AMÉRICAINE	PRATIQUE EUROPÉENNE
Résistance à la compression	Cylindre	Cube/prisme
Résistance à la traction par fendage	Cylindre	Cube/cylindre
Essais de flexion	Prisme	Prisme
Perméabilité	Cylindre/cube	Cube/prisme
Pérennité	Cylindre/prisme	Cube/prisme
Déformabilité	Cylindre	Cube/prisme
Changements volumétriques	Prisme	Prisme
Propriétés thermiques	Cylindre/cube/prisme	Cube/prisme

5. TESTING OF HARDENED CONCRETE

5.1. GENERAL

The final stage of quality control of concrete is confirmation of the properties of the hardened concrete by testing specimens cast as the concrete is produced. These results establish a historical record of the basic quality control attained.

In order to be consistent with the rate of production and with the hardening characteristics of concrete for large dams, concrete testing is performed over a wide range of concrete ages, varying from a few hours to several months or years. Typical ages for testing mass concrete specimens are : 24 and 48 hours; 3, 7, 28 and 56 days; 3 and 6 months; 1, 3 and 5 years.

In general terms depending on the time elapsed between casting and testing specimens, tests on hardened concrete have three principal objectives :

a) To obtain a judgment regarding the behavior of concrete materials and the adequacy of the concrete mix and of the production systems.

b) To determine the quality control level attained and compare it with established standards.

c) To follow the development of the concrete properties in order to establish a basis for analyzing the behavior of the structure.

Strictly speaking, only *a)* and *b)* belong properly to the scheme of quality control of concrete.

5.2. SPECIMEN PREPARATION AND CURING

The type of specimens for testing hardened concrete will depend on the property or characteristic to be measured and on the testing procedure, which in turn depends on the locally adopted practice. The following table indicates practices generally followed in this respect.

CONCRETE PROPERTY	AMERICAN PRACTICE	EUROPEAN PRACTICE
Compressive strength	Cylinder	Cube/prism
Tensile strength by splitting	Cylinder	Cube/cylinder
Flexural strength	Prism	Prism
Permeability	Cylinder/cube	Cube/prism
Durability	Cylinder/prism	Cube/prism
Deformability	Cylinder	Cube/prism
Volumetric Changes	Prism	Prism
Thermal properties	Cylinder/cube/prism	Cube/prism

Bien qu'il soit nécessaire de connaître toutes ces propriétés, il est cependant très inhabituel de les déterminer de façon systématique comme moyen de contrôle. On n'effectue normalement que les essais de résistance à la compression et, éventuellement les essais de résistance à la traction.

D'autres propriétés sont habituellement déterminées au cours des recherches effectuées dans la phase d'étude. Dans quelques cas elles peuvent être également déterminées pendant la construction. Cependant, la résistance à la compression est la propriété du béton durci normalement utilisée pour vérifier sa qualité.

Mis à part le type des éprouvettes utilisées pour les essais du béton durci, il y a plusieurs règles générales pour la préparation des éprouvettes. Il faut respecter ces règles pour obtenir des résultats fiables comparables et reproductibles. Parmi ces règles, les plus importantes sont les suivantes :

a) Les échantillons de béton pour la préparation des éprouvettes doivent être des échantillons types du béton. Pour cela, des méthodes classiques de prélèvement doivent être appliquées uniformément.

b) Il est nécessaire que les spécifications de chantier ou que le programme de contrôle de qualité fixent un plan de prélèvement correspondant au volume de béton et à la cadence de fabrication du béton. Un tel plan doit comprendre :

- Fréquence des prélèvements. Nombre de prélèvements par unité de volume de béton ou par poste, pour chaque sorte de béton.
- Nombre et type d'éprouvettes par prélèvement. Il n'est pas nécessaire de les fixer rigoureusement mais on l'indique généralement dans les spécifications pour les besoins de conformité. Ils doivent être considérés plutôt comme un guide qui peut varier, soit de façon précise, soit lorsque l'on estime possible d'obtenir des informations plus utiles.
- Age des essais, types d'essais et conditions de cure pour les différentes éprouvettes obtenues à partir des différents prélèvements.
- Nombre d'éprouvettes identiques devant être essayées aux différents âges pour chaque type d'essai et de conditions de cure.

c) L'éprouvette la plus petite doit correspondre aux granulats de taille maximale. Dans la majorité des cas, il est recommandé que le rapport ne soit pas inférieur à 3. Mais comme la taille maximale des granulats pour les bétons de masse peut aller jusqu'à 200 mm (8 pouces), le respect de cette règle conduirait à l'utilisation d'éprouvettes très grandes. Aussi, dans la pratique, le béton est criblé humide pour éliminer les granulats les plus gros et pour permettre l'utilisation d'éprouvettes de taille plus réduite, capables cependant de fournir des résultats acceptables concernant le béton de masse. Le procédé de criblage humide comporte l'élimination de tous les granulats dépassant par exemple 38 mm (1 1/2 pouce) ainsi que le ciment adhérent et les granulats fins. La méthode doit être complètement unifiée entre les éprouvettes préparées à différentes occasions et en différents endroits afin que les variations du criblage humide ne masquent pas les variations du béton fabriqué. La méthode fixée doit être particulièrement respectée si le système de vibration mécanique est utilisé pour faciliter l'opération de criblage. Avec des granulats de taille maximale seulement légèrement supérieure à 38 mm (1 1/2 pouce), il est préférable d'utiliser des moules plus grands et du matériel d'essais plus important pour éviter la nécessité de criblage. Si le béton est passé au crible (choisi), les éprouvettes pour mesurer la résistance à la compression peuvent être réduites à une

Even though knowledge of all these properties is necessary, it is very uncommon for them to be routinely determined as a means of control. Normally, only the tests for compressive strength, and occasionally for tensile strength, are performed.

Other properties usually are determined as part of the investigation carried out at the design stage. In some cases they also may be determined during the construction stage. However, compressive strength is the property of hardened concrete normally used to confirm its quality.

Apart from the type of specimen used for testing hardened concrete, there are several general rules for specimen preparation which must be followed in order to obtain results that are reliable, comparable, and reproducible. Among these rules, the following are the most important :

a) Concrete samples for specimen preparation must be representative of the concrete mix. To achieve this, standardized sampling procedures must be uniformly observed.

b) It is necessary that the job specifications or quality control program establish a sampling plan consistent with the concrete volume and the rate of concrete production. Such a plan must include :

- Sampling frequency. Number of samples per unit of concrete volume, or per shift, for each class of concrete.
- Number and type of specimens per sample. This need not be a rigid requirement, but it is usually laid down in the specification for compliance purposes. This should be considered a guideline which may be varied either in a prescribed manner or by judging the possibility of obtaining more useful information.
- Ages of testing, types of test, and curing conditions for the various specimens obtained from different samples.
- Number of replicate specimens to be tested at each age, for each type of test and curing condition.

c) The smallest dimension of a specimen should be related to the maximum size of aggregate. In most cases, it is recommended that this ratio be not less than 3, but as the maximum size aggregate for mass concrete may be 200 mm (8 in.), compliance with this rule would require the use of very large specimens. Therefore, in normal practice, the concrete is wet-screened to exclude the larger aggregates and to allow the use of specimens of a smaller size which will still yield acceptable data regarding mass concrete.

The process of wet-screening involves the removal of all aggregates over, say, 38 mm (1-1/2 in.) plus the adhering cement paste and fine aggregate. The process must be completely standardized between samples prepared on different occasions and at different locations to reduce the possibility that the variability in wet-screening process. With aggregate of maximum size only slightly greater than 38 mm (1-1/2 in.), it might be preferable to use larger molds, testing machines, etc., screening process. With aggregate of maximum size only slightly greater than 38 mm (1-1/2 in.) it might be preferable to use larger molds, testing machines, etc., to avoid the need for wet-screening. If concrete is passed through the selected screen, the specimens for measuring compressive strength may be reduced to a

dimension normalisée. Dans la pratique américaine, l'éprouvette normalisée est un cylindre de 152 mm (6 pouces) de diamètre et 305 mm (12 pouces) de hauteur. En Europe, l'éprouvette communément utilisée est un cube de 150 mm (6 pouces) de côté.

d) Le remplissage des moules et le compactage du béton des éprouvettes doivent être effectués suivant une méthode normalisée correspondant à la consistance spécifiée du béton. Comme le béton de masse utilisé pour la construction des grands barrages est très souvent assez dur, le compactage est généralement réalisé au moyen d'une vibration contrôlée. Le remplissage des moules se fait en une ou plusieurs couches suivant la méthode adoptée.

e) Le stockage et la cure des éprouvettes, depuis le moment de leur confection jusqu'au moment de l'essai doivent être réalisés suivant des méthodes normalisées et d'après les spécifications, étant donné que les variations de l'humidité et/ou la température produisent particulièrement pour les bétons jeunes, d'importantes modifications de la résistance et d'autres propriétés des bétons. Habituellement, trois procédés sont utilisés pour la cure :

- Cure accélérée. Spécialement appropriée aux échantillons criblés humides qui doivent être essayés pour donner des informations rapides. Cette procédure impose habituellement d'élever la température des éprouvettes très rapidement après les avoir moulées pour accélérer l'augmentation de la résistance du béton.
- Cure normalisée. Habituellement appliquée pour les essais normaux à délais moyens ou longs, aussi bien que pour les échantillons criblés humides que les échantillons de béton complet. Dans ce procédé, les échantillons restent convenablement protégés à l'emplacement où ils ont été moulés jusqu'au moment où leur résistance est suffisante pour qu'ils puissent être transportés sans dommage dans une chambre de stockage sous cure humide ou dans un réservoir d'eau à température contrôlée. Là, les échantillons restent stockés jusqu'au moment de l'essai.
- Cure adiabatique. Elle est appliquée à des échantillons de béton complet dans le cas où les conditions internes du béton dans l'ouvrage ont besoin d'être reproduites. Les échantillons sont moulés dans des moules protégés contre les pertes d'humidité et/ou de température.

5.3. ESSAIS DE CONTROLE ACCÉLÉRÉS ET NORMALISÉS

Normalement on ne spécifie ou n'établit des critères pour la réception ou l'estimation de la qualité du béton que pour les résultats d'essais d'éprouvettes qui ont été soumises à une cure normale.

Les essais de résistance accélérés sont destinés à donner des informations dans un délai de quelques heures à 2 jours après le moulage, suivant la méthode choisie. Bien que quelques unes de ces méthodes soient encore à la phase expérimentale, certaines d'entre elles sont déjà utilisées couramment pour la construction d'ouvrages en béton.

Pour la construction des grands barrages en béton, les essais accélérés donnent des résultats utiles en raison des cadences de bétonnage habituellement élevées et de la nécessité de connaître la qualité du béton mis en place d'une levée à l'autre. Avant de fixer une méthode particulière pour les essais accélérés comme moyen de contrôle

standard size. In American practice the standard consists of a cylinder 152 mm (6 in.) in diameter and 305 mm (12 in.) in height. In Europe, the specimen commonly used is a cube with a 150 mm side.

d) Filling of the molds and compaction of concrete in the specimens should be accomplished following a standardized procedure which conforms to the specified consistency of the concrete. Since mass concrete used in large dam construction very often is stiff, compaction is generally accomplished by means of controlled vibration. Filling the molds is accomplished in one or more layers depending on the adopted method.

e) Storage and curing of the specimens from the time of casting to the time of testing must be carried out according to the adopted standard and under specified conditions since variations in moisture and/or temperature, particularly at early stages, produce important changes in strength and other related properties. Commonly, three procedures for curing are followed :

- Accelerated curing. Mainly applicable to wet-screened specimens which are to be tested to obtain information for early judgment. This procedure usually requires raising the specimen's temperature very soon after casting to accelerate the concrete strength development.
- Standard curing. Commonly applicable to standard, medium or long-term tests in both wet-screened and fullmix specimens. In this procedure, the specimens remain adequately protected at the site where they were cast until they develop sufficient strength to allow them to be transported without damage to a humid curing storage chamber or temperature controlled water tank. There, the specimens remain stored until the time of testing.
- Adiabatic curing. Applicable to full-mix specimens in cases where the internal condition of the concrete in the structure needs to be reproduced. Specimens are cast in sealed molds for protection against humidity and/or temperature loss.

5.3. ACCELERATED AND STANDARD CONTROL TESTS

It is customary to specify or establish criteria for the acceptance or for the evaluation of concrete quality based on test results from specimens which have been subjected to standard curing.

Accelerated strength tests are intended to obtain information within a few hours to two days after casting, depending on the selected method. Even though some of these methods are in the experimental stage, others are already being routinely used in general concrete construction.

For large concrete dam construction, accelerated tests render useful results in view of the high rate of concrete production and the need to know the quality of the concrete placed between lifts. Before establishing a particular method for accelerated tests in a concrete dam as a means of quality control, a large number of tests must

de qualité dans un barrage en béton, il faut effectuer un grand nombre d'essais pour s'assurer de leur valeur et pour établir une corrélation significative avec les essais normaux d'échantillons, après cure, aux âges requis.

On a tendance, pour l'étude et la réception des bétons, à fixer des critères basés sur les résultats des essais accélérés de résistance sans aucune corrélation avec les essais-types. Habituellement une telle corrélation est nécessaire puisque la pratique traditionnelle consiste à utiliser pour les études la résistance à 28 jours. Cette tradition est fréquemment observée pour les bétons de construction et moins pour les bétons de masse du fait que pour les bétons de masse, la résistance à 28 jours est rarement utilisée.

Des échantillons pour les essais de résistance accélérés peuvent être moulés, soit à la station de bétonnage, soit à l'emplacement de mise en place du béton. Les résultats dans le premier cas sont utiles pour estimer l'efficacité du contrôle dans la phase de gâchage qui comprend l'étude du mélange et les ajustements de chantier. Dans le second cas, les résultats permettent d'estimer la qualité du béton après transport et manutention. L'objectif, c'est la qualité du béton dans les coffrages. Dans la plupart des cas, le moulage des échantillons à la station de fabrication du béton est satisfaisant pour autant qu'on n'ajoute pas d'eau après.

5.4. FACTEURS AFFECTANT LES RÉSULTATS DES ESSAIS DE RÉSISTANCE

Il y a plusieurs facteurs qui influent sur les résultats des essais de résistance. Parmi ces facteurs, on peut mentionner les suivants :

a) Forme des éprouvettes. Dans presque tous les cas c'est un cube ou un cylindre qui est utilisé comme éprouvette pour les essais de résistance du béton. Bien qu'il existe une quantité considérable d'informations sur la corrélation entre la résistance d'un cube et celle d'un cylindre, il n'existe pas de facteurs de correspondance universellement acceptés, car ils dépendent dans une large mesure du niveau de résistance du béton. Par conséquent, pour un projet donné, il est préférable d'utiliser, soit les cubes, soit les cylindres mais pas les deux.

b) Taille des éprouvettes. L'influence de la taille des éprouvettes n'est pas facile à évaluer; par conséquent, pour un projet déterminé les impératifs de résistance devront être basés sur une dimension donnée des éprouvettes qui devront être les mêmes pendant toute la construction.

c) Criblage humide. Pour obtenir les résultats d'essais de résistance des éprouvettes de béton de masse à partir de ceux obtenus sur des éprouvettes de béton tamisé humide, il est d'usage d'établir une corrélation directe pour un ouvrage déterminé ou d'utiliser des corrélations basées sur l'expérience d'ouvrages similaires (voir chapitre 5.2c).

d) Rapport hauteur-diamètre. Pour des cylindres, le rapport hauteur/diamètre (h/d) a aussi une influence importante sur la résistance. Pour les échantillons normalisés, ce rapport est toujours égal à 2. Dans d'autres cas, un facteur correctif expérimental doit être utilisé pour adapter la résistance au rapport réel h/d .

e) Age des essais. La croissance de la résistance du béton de masse est généralement lente en raison du désir de maintenir l'échauffement à un niveau relativement bas. Par conséquent, à 28 jours, le béton n'a pas atteint une fraction

be carried out in order to ascertain the method's reliability and to establish functional correlations with results obtained from testing standard cured specimens at the required ages.

There is a trend to use concrete design and acceptance criteria based on data obtained from accelerated strength tests without correlation to standard tests. Currently such correlation is still necessary because of the traditional use of the 28-day strength for design purposes. This tradition is more frequently observed in structural concrete and less in mass concrete because the 28-day strength is rarely used for mass concrete in dams.

Specimens for accelerated strength tests may be cast either at the concrete plant or at the placing site. Results from the plant are useful to assess control efficiency during the mixing stage, involving mix design and field adjustments. Results from the site permit evaluation of concrete after transporting and handling. The objective is the quality of the concrete in the forms. In most cases casting of specimens at the plant is satisfactory as long as no water is added later.

5.4. FACTORS AFFECTING STRENGTH TEST RESULTS

There are several factors affecting the results of a strength test. Among these factors, the following may be mentioned :

a) Specimen shape. In almost every case either a cube or a cylinder is used as the specimen for concrete strength testing. Although a considerable amount of information exists to correlate cube strength to cylinder strength, a universally accepted conversion factor does not exist for that depends largely on the concrete strength level. Therefore, for a particular project, it is preferable to use either cubes or cylinders but not both.

b) Specimen size. The effect of the specimen size is not a simple factor to evaluate; therefore, for a particular project the strength requirements should be based on a single specimen size to be used throughout the project.

c) Wet-screening (see Section 5.2c). To convert strength results of wet-screened concrete specimens to those of full-mix mass concrete specimens it is customary to establish a direct correlation for a particular project or to use empirical correlations from similar jobs.

d) Height-diameter ratio. For cylinders, the height-diameter ratio (h/d) also has a substantial influence on strength. For standard specimens this ratio is always equal to 2. In other cases, an experimental corrective factor should be used to adjust the strength for the actual h/d ratio.

e) Age of testing. Mass concrete strength development is usually slow as a consequence of the desire to keep the heat evolution rate low. Therefore at 28 days

significative de sa résistance potentielle, comme cela est normalement le cas pour un béton de construction. Les spécifications pour les bétons de masse sont normalement basées sur les résultats des essais de résistance à 56 jours, 90 jours et un an. Aussi, les essais de résistance aux âges prescrits sont habituellement exécutés et la corrélation est effectuée avec les résistances obtenues aux jeunes âges pour s'assurer de la valeur du mélange étudié.

f) Nombre d'éprouvettes. Les erreurs dues aux essais sont réduites par l'augmentation du nombre d'éprouvettes prises dans une même gâchée et essayées dans les mêmes conditions à un même âge. Il est habituel d'essayer deux éprouvettes identiques à chaque âge. Cependant, quand il est possible de le faire, on peut essayer 3 éprouvettes identiques au plus.

On peut aussi considérer qu'il est plus utile d'avoir un seul essai d'échantillon, à chaque âge, plutôt que des essais d'un groupe d'échantillons à un même âge. Des échantillons uniques, prélevés dans différentes gâchées, chaque jour, donneront des informations plus utiles sur les variations globales, mais il est habituellement souhaitable de faire plusieurs échantillons identiques d'une même gâchée pour obtenir un contrôle des variations dans les essais eux-mêmes.

g) On a constaté que plusieurs éléments relatifs aux essais de résistance du béton altèrent les résultats de ces essais et influencent leur validité. Par conséquent, les méthodes normalisées doivent être strictement respectées.

5.5. PRISE EN COMPTE DES RÉSULTATS D'ESSAIS

Afin de satisfaire au niveau de résistance imposé, il faut faire l'ajustement des proportions du mélange d'essais de résistance aux jeunes âges en nombre suffisant et valable. Une interprétation convenable des données non seulement sert aux ajustements et à l'estimation du niveau de qualité obtenu, mais également permet l'utilisation des quantités optimales des différents éléments, avec l'économie qui en résulte dans le coût du béton.

Étant donné que les niveaux de qualité sont normalement déterminés à partir des données obtenues pour les résistances d'éprouvettes essayées dans les conditions de cure normalisées, il est normal que l'on s'efforce d'établir une corrélation entre les résultats de résistance initiale et ceux de résistance normalisée à des âges plus importants. C'est un fait bien connu que des facteurs simples de corrélation ne conviennent pas dans tous les cas. La corrélation sera nécessairement influencée par la nature des granulats, du ciment et des autres composants.

Il apparaît cependant que l'augmentation ou la diminution du niveau de résistance à l'intérieur de certaines limites n'impose pas l'utilisation de corrélations différentes, à condition que les autres caractéristiques et spécialement que les constituants du béton restent constants.

Au commencement des opérations de bétonnage, aucune corrélation ne peut être faite entre les résistances obtenues par essais accélérés et les résistances à un âge donné d'essais dans les conditions de cure normalisées. Dans ce cas, d'autres corrélations établies pour des conditions analogues peuvent être utilisées. Dès qu'on commence à accumuler des données réelles, on peut modifier la corrélation.

the mass concrete has not reached a significant amount of its potential strength, unlike the case with structural concrete. Mass concrete specifications are normally based on 56-day, 90-day and one year strength results. Accordingly, strength tests at the specified ages are usually performed and correlated with those obtained at earlier ages to confirm the adequacy of the mix design.

f) Replicate specimens. The error due to testing is reduced by increasing the number of specimens taken from the same batch and tested under the same conditions and at the same age. It is customary to test two replicate specimens at each age. However, when it is practical to do so, three or more replicate specimens may be tested.

Another approach considers it to be of more value to have a single test specimen from each of various ages than a group of specimens at the same age. Single specimens taken from different batches each day will provide more useful information on overall variations, but it is usually desirable to make companion specimens from the same sample to obtain a check on the within-test variation.

g) Several items related to concrete strength testing have been found to affect strength test results and influence reliability. Therefore, standard test procedures should be followed strictly.

5.5. FEEDBACK OF TEST RESULTS

Adjustments in the mix proportions to meet the required level of strength should be made on the basis of sufficient and reliable early strength test results. Proper interpretation of the data serves not only for adjustments and assessment of the quality level attained, but it also permits the utilization of optimum quantities of ingredient materials, with the consequent economy in the cost of concrete.

Since quality levels are normally determined from strength data obtained from standard cured and tested specimens, it is natural that much effort has been devoted to establishing a correlation between early strength data and standard strength data at later ages. It is a well known fact that no single correlation factor is adequate for every situation. The correlation will necessarily be influenced by the nature of the aggregates, cement, and other ingredients. It appears however, that raising or lowering the strength level within certain limits does not make the use of a different correlation necessary provided other characteristics and the constituents of the concrete remain constant.

At the beginning of concrete operations, no correlation between accelerated strength and strength at a specific age of test under the standard curing conditions may be available. In such case, other correlations established for similar conditions may be used. As soon as actual data begins to accumulate the correlation can be modified.

5.6. ANALYSE DES RÉSULTATS

L'analyse des résultats d'essai d'éprouvettes de béton durci est nécessairement une analyse statistique. Les variations de résultats, même dans les conditions les mieux contrôlées sont inhérentes à la nature même du béton. Les résultats individuels ne sont intéressants que lorsqu'ils sont très en-dessous de la résistance désirée. Distribution et tendance des résultats des essais sont les facteurs les plus significatifs dans un programme de contrôle de qualité.

Le niveau de qualité demandé pour un béton durci est fixé par les projeteurs. Bien que la qualité du béton ne puisse pas être uniquement déterminée par la résistance à la compression, on utilise habituellement ce paramètre pour en juger.

Dans une prise quelconque d'échantillons, et dans les mêmes conditions de fabrication et d'essais du béton, les résultats pour la résistance à la compression suivent une distribution normale ou gaussienne. Par conséquent, la distribution peut être complètement déterminée par deux paramètres, à savoir, la valeur moyenne (\bar{X}) et l'écart-type (σ).

Alors que le niveau effectif de qualité du béton durci peut être déterminé par une analyse statistique des résultats des essais de résistance, le niveau de qualité requis est obtenu quand la valeur moyenne de la population des résistances réelles est égale ou supérieure à une résistance moyenne requise, calculée à partir de la variation et la fréquence acceptable des résultats d'essais au-dessous de la résistance requise.

5.7. JUGEMENT ET CRITÈRES

Les critères communément utilisés pour l'estimation de la résistance du béton imposent que la résistance réelle moyenne (\bar{X}) soit supérieure à la résistance moyenne requise (f_{cr}) et qu'il n'y ait pas plus qu'un pourcentage déterminé de résultats d'essais de résistance au-dessous de la résistance spécifiée ($f'c$). Ceci peut être obtenu en appliquant les relations bien connues :

$$\begin{aligned}\bar{X} &\geq f_{cr} \\ f_{cr} &= f'c + k\sigma\end{aligned}$$

où (k) est une constante qui dépend du pourcentage acceptable de résultats d'essais inférieurs à la résistance imposée et (σ) l'écart-type qui est une mesure de la variabilité dans les résultats d'essais de résistance.

Quand la résistance réelle moyenne (\bar{X}) est égale ou supérieur à la résistance moyenne requise (f_{cr}), la première de ces conditions est remplie. Cependant, si l'écart-type réel est plus grand que celui qui est autorisé ou recommandé en raison de l'inefficacité des contrôles normaux, la résistance moyenne doit être maintenue à un niveau inutilement élevé. D'autre part, si la limite souhaitée pour les variations de résistance est respectée mais que la résistance moyenne ne l'est pas, il y a un défaut dans le niveau de résistance même avec un contrôle efficace de la variabilité.

Dans le premier cas, en raison d'un contrôle inefficace, la satisfaction des résistances spécifiées est obtenue à un coût inutilement élevé (étant donné qu'une résistance plus élevée signifie habituellement un coût plus élevé du béton). Dans le

5.6. ANALYSIS OF DATA

The evaluation test results from hardened concrete specimens necessarily deals with statistical analysis. Variability of results, even under the most controlled conditions, is inherent to the very nature of concrete. Individual results are generally of importance only when they are far below the desired strength. The distribution and trends of the testing results are the most significant factors.

The required quality level of hardened concrete is established by the designers. Although the quality of concrete is not to be identified with its compressive strength only, this parameter is normally used for judging its quality. Under random sampling and uniform operational conditions of concrete production and concrete testing, compressive strength results appear to follow a normal or Gaussian distribution. Therefore the distribution can be described completely by two parameters, namely the mean (\bar{X}) and the standard deviation (σ).

While the actual quality level of hardened concrete is calculated by statistical analysis of strength test results, the specified quality level is met when the mean of the actual strength population equals or exceeds a specified average strength calculated from the variation of results and their allowable frequency below the specified strength.

5.7. JUDGMENT AND CRITERIA

Criteria commonly used for concrete strength evaluation require that the actual average strength (\bar{X}) be higher than the so-called required average strength (f_{cr}) and that no more than a specified percentage of strength test results falls below the specified strength ($f'c$). This may be achieved by applying the well-known relations :

$$\begin{aligned}\bar{X} &\geq f_{cr} \\ f_{cr} &= f'c + k\sigma\end{aligned}$$

where (k) is a constant which depends on the allowable percentage of strength test results below the specified strength, and (σ) is the standard deviation which is a measure of the variation in strength test results.

When the actual average strength (\bar{X}) is equal to or higher than the required average strength (f_{cr}), the first of these conditions is met. However, if the actual standard deviation is larger than that allowed or recommended because control standards have been ineffective, the average strength has to be set unnecessarily high. On the other hand, if the prescribed limit for the variation of strength is met, but the required average strength is not, there is deficiency in strength level even with effective control of variation.

In the first case, due to inefficient control of production, compliance with strength specifications is being achieved at an unnecessary higher cost (since higher strength usually means higher concrete cost). In the second case, compliance with

second cas, la satisfaction des spécifications n'est pas remplie, bien que le contrôle soit efficace et que les limites de variations souhaitées aient été respectées.

Toute mesure à prendre, lorsque la résistance moyenne (\bar{X}) tombe au-dessous de la moyenne spécifiée (f_{cr}), dépend d'abord des circonstances dans lesquelles se produit la diminution de résistance. Si on a une bonne garantie de la validité des résultats d'essais, les mesures immédiates à prendre sont :

- a) modification des proportions du mélange.
- b) augmentation des contrôles de conformité;
- c) localisation dans le barrage des bétons non satisfaisants.

Une fois que les mesures ci-dessus ont été prises, il est recommandé d'examiner si de nouvelles études sur l'ouvrage ou partie d'ouvrage sont nécessaires.

Si on estime nécessaire d'examiner plus en détail l'ouvrage concerné, il faut effectuer des prélèvements et/ou des essais non destructifs. Les résultats des essais d'éprouvettes prélevées doivent être examinés avec des critères de conformité différents du fait des nombreuses difficultés qui existent dans le carottage d'échantillons et dans leurs essais. Les résultats des essais non destructifs doivent également être examinés prudemment car il est bien connu qu'ils ne fournissent habituellement que des renseignements sur les propriétés globales de résistance. Enfin, on doit considérer que la résistance du béton continuera à croître et pourra facilement atteindre ou excéder la résistance imposée au moment où l'ouvrage sera totalement mis en charge.

Si les résultats des essais sur des échantillons prélevés et des essais non destructifs ne donnent pas la certitude que la qualité maximale demandée est obtenue, la partie du barrage concernée doit être reconstruite ou modifiée afin d'obtenir la stabilité de la construction. Le refus d'une partie d'un barrage et sa destruction pour reconstruction posent un problème extrêmement difficile. Cependant, l'éventualité que cette situation puisse se produire est très faible et tous les éléments doivent être reconsidérés avant d'en arriver à une décision de refus.

BIBLIOGRAPHIE

1. *Concrete Manual*, Eighth edition, Bureau of Reclamation, Department of the Interior, 1975.
2. *Mass Concrete for Dams and Other Massive Structure*, A.C.I. Committee, 207 Report, A.C.I. Manual of Concrete Practice, Part I, 1979.
3. *Recommended Principles for the Control of Quality and the Judgment of Acceptability of Concrete*, Joint Committee C.E.B., C.I.B., F.I.P., R.I.L.E.M., Munich, 1974.
4. *A.C.I. Manual of Concrete Inspection*, A.C.I. SP-2, Sixth Edition, Detroit, 1975.
5. *Annual book of ASTM Standards, Part 14*, Concrete and Mineral Aggregates, Philadelphia, 1979.
6. *Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete — Making Materials*, A.S.T.M., S.T.P. 169-B, 1978.
7. *British standard 1881 : Part II, Methods of testing fresh concrete*, British Standards Institution, 1970.

specifications is not fulfilled even though control of production is effective and the desired limit for the variation has been met.

Any action indicated because the average strength (\bar{X}) has fallen below the required average strength (f_{cr}) depends primarily on the circumstances associated with the decline in strength. If there is solid evidence of the validity of test results, immediate steps to be followed are :

- a) modification of the mix proportions;
- b) increase of inspection for compliance;
- c) recording the location within the dam of non-complying concrete.

Once the above steps have been taken, it is advisable to consider whether further investigation of the structure, or part of the structure, is necessary.

If it is considered necessary to investigate the affected structure further, it may be necessary to obtain cores and/or to carry out non-destructive tests. The results of core testing must be judged with a different compliance criterion taking into consideration the many difficulties involved in core drilling and in core testing. Also, non-destructive testing results are to be evaluated cautiously since, as it is well known, they usually provide only a general survey of the overall strength properties. Finally, it must be considered that the concrete will continue gaining strength and may reach or exceed the specified strength by the time the structure is fully loaded.

If core and non-destructive testing results do not provide assurance of the minimum required quality, the affected part of the dam must be reconstructed or otherwise modified to ensure structural stability. Rejection of a part of a dam and its removal for reconstruction poses an extremely awkward problem. However, the possibility that this situation may occur is very small, and every other alternative must be reconsidered before arriving at a decision to reject concrete already in place.

BIBLIOGRAPHY

1. *Concrete Manual*, Eighth Edition, Bureau of Reclamation, Department of the Interior, 1975.
2. *Mass Concrete for Dams and Other Massive Structures*, A.C.I. Committee 207 Report, A.C.I. Manual of Concrete Practice, Part I, 1981.
3. *Recommended Principles for the Control of Quality and the Judgment of Acceptability of Concrete*, Joint Committee C.E.B., C.I.B., F.I.P., R.I.L.E.M., Munich 1974.
4. *A.C.I. Manual of Concrete Inspection*, A.C.I. SP-2, Sixth Edition, Detroit, Michigan, 1975.
5. Annual Book of A.S.T.M. Standards, Part 14, *Concrete and Mineral Aggregates*, Philadelphia, Pennsylvania, 1979.
6. *Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making Materials*, A.S.T.M., S.T.P. 169-B, 1978.
7. British Standard 1881 : Part II, *Methods of Testing Fresh Concrete*, British Standards Institution, 1970.

8. *Accelerated Strength Testing* A.C.I. SP-56, American Concrete Institute, Detroit 1978.
9. *Manual on Quality Control of Materials*, A.S.T.M. Committee E-11, A.S.T.M. STP 15-D, Fourth Revision, Philadelphia, 1976.
10. *Annual book of A.S.T.M. standards, Part 14, Concrete and Mineral Aggregates, C 684-74 Making, Accelerated Curing, and Testing of Concrete Compressive Test Specimens*, Philadelphia 1979, pp. 417-424.

8. *Accelerated Strength Testing*, A.C.I. SP-56, American Concrete Institute, Detroit, Michigan, 1978.
9. *Manual on Quality Control of Materials*, A.S.T.M. Committee E-11, A.S.T.M. S.T.P. 15-D, Fourth Revision, Philadelphia, Pennsylvania, 1976.
10. *Annual book of A.S.T.M. standards, Part 14. Concrete and mineral Aggregates, C 684-74 Making, accelerated curing and Testing of Concrete Compressive Test Specimens*, Philadelphia 1979, pp. 417-424.

Imprimerie de Montlignon
61400 La Chapelle Montlignon
Dépôt légal : octobre 1983
N° 11866
ISSN 0534-8293

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>