

# SOIL-CEMENT FOR EMBANKMENT DAMS

# SOL-CIMENT POUR BARRAGES EN REMBLAI



**BULLETIN 54  
1986**





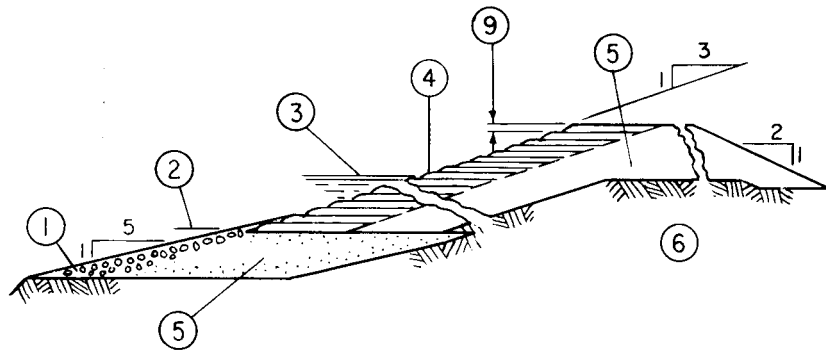


Fig. 6

Détails et dimensions d'un revêtement en sol-ciment.  
*Details and Dimensions of one Soil-Cement Facing.*

La couverture est un extrait de la Fig. 6.

*The cover is a partial view from Fig. 6.*

Rapport préparé par Kenneth D. HANSEN  
 au nom de USCOLD  
 pour le Comité des Matériaux pour Barrages en Remblai

*Report prepared by Kenneth D. HANSEN  
 on behalf of USCOLD  
 for the Committee on Materials for Embankment Dams*

**SOIL-CEMENT**  
**FOR EMBANKMENT DAMS**

**SOL-CIMENT**  
**POUR BARRAGES EN REMBLAI**



**BULLETIN 54**  
**1986**

---

Commission Internationale des Grands Barrages  
151, bd Haussmann, 75008 Paris - Tél. : 47 64 67 33 - Télex : 641320 F (ICOLD)

---

**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.

---

## TABLE DES MATIÈRES

---



---

## TABLE OF CONTENTS

---

<p>1. AVANT-PROPOS <span style="float: right;">4/5</span>            Définition et objet <span style="float: right;">4/5</span>            Historique et développement <span style="float: right;">4/5</span></p> <p>2. PROPRIÉTÉS DES MATÉRIAUX <span style="float: right;">10/11</span>            Ciment <span style="float: right;">10/11</span>            Sol <span style="float: right;">10/11</span>            Eau <span style="float: right;">12/13</span>            Essais de laboratoire <span style="float: right;">12/13</span></p> <p>3. CRITÈRES DE CONCEPTION ET            CONSIDÉRATIONS ATTENANTES <span style="float: right;">18/19</span>            Dimensions du parement <span style="float: right;">18/19</span>            Autres considérations <span style="float: right;">18/19</span>            Propriétés physique <span style="float: right;">22/23</span>            du sol-ciment durci</p> <p>4. CONSTRUCTION <span style="float: right;">24/25</span>            Commentaires généraux <span style="float: right;">24/25</span>            Méthodes de construction <span style="float: right;">24/25</span> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Malaxage <span style="float: right;">24/25</span></li> <li>• Transport <span style="float: right;">24/25</span></li> <li>• Épandage <span style="float: right;">26/27</span></li> <li>• Compactage <span style="float: right;">26/27</span></li> <li>• Finition et liaison <span style="float: right;">26/27</span></li> <li>• Joints de construction <span style="float: right;">28/29</span></li> <li>• Cure <span style="float: right;">28/29</span></li> </ul>           Méthodes de contrôle durant la <span style="float: right;">28/29</span>            construction           <ul style="list-style-type: none"> <li>• Teneur en ciment <span style="float: right;">28/29</span></li> <li>• Teneur en eau <span style="float: right;">30/31</span></li> <li>• Transport et épandage du <span style="float: right;">30/31</span>                sol-ciment</li> <li>• Compactage <span style="float: right;">30/31</span></li> <li>• Cure <span style="float: right;">32/33</span></li> </ul> </p> <p>5. ÉVALUATION DU COMPORTE-            MENT <span style="float: right;">34/35</span>            Commentaires généraux <span style="float: right;">34/35</span>            Caractéristiques des ouvrages <span style="float: right;">34/35</span></p> <p>6. RECHERCHE ET DÉVELOPPE-            MENT <span style="float: right;">36/37</span>            Commentaires généraux <span style="float: right;">36/37</span>            Recherche effectuée <span style="float: right;">36/37</span> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérennité <span style="float: right;">36/37</span></li> </ul> </p>	<p>1. FOREWORD            Definition and scope            History and development</p> <p>2. MATERIAL PROPERTIES            Cement            Soil            Water            Laboratory tests</p> <p>3. DESIGN CONCEPTS AND            CONSIDERATIONS            Facing dimensions            Other considerations            Physical properties            of hardened soil-cement</p> <p>4. CONSTRUCTION            General            Construction methods           <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mixing</li> <li>• Transporting</li> <li>• Spreading</li> <li>• Compaction</li> <li>• Finishing and bonding</li> <li>• Construction joints</li> <li>• Curing</li> </ul>           Construction control procedures           <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cement content</li> <li>• Water content</li> <li>• Transportation and spreading                soil-cement</li> <li>• Compaction</li> <li>• Curing</li> </ul> </p> <p>5. PERFORMANCE EVALUATION            General            Summary of projects</p> <p>6. RESEARCH AND DEVELOPMENT            General            Completed research           <ul style="list-style-type: none"> <li>• Long-term durability</li> </ul> </p>
---	--

---

• Facteurs rattachés au	<b>36/37</b>	• Wave runup factors
• Infiltration à travers les	<b>38/39</b>	• Seepage through soil-cement facings
• Liaison entre les couches de sol-ciment	<b>38/39</b>	• Bonding soil-cement layers
• Résistance du sol-ciment à l'eau de mer et aux eaux saumâtres	<b>40/41</b>	• Resistance of soil-cement to seawater and brines
<b>RÉFÉRENCES</b>	<b>42</b>	<b>REFERENCES</b>
<b>ANNEXES</b>	<b>44/45</b>	<b>APPENDICES</b>
<b>FIGURES</b>	<b>76/77</b>	<b>FIGURES</b>

---

# 1. AVANT-PROPOS

---

## DÉFINITION ET OBJET DU RAPPORT

Le sol-ciment est un mélange de sol, ciment et eau. En passant par le compactage et l'hydratation du ciment, le mélange durcit au fur et à mesure que les particules se cimentent entre elles pour former un matériau dense, durable, relativement imperméable et résistant à l'érosion.

Ce rapport tient compte des données relatives à l'utilisation de sol-ciment compacté pour 136 barrages ou remblais construits depuis 1962.

Presque tous les ouvrages ayant été construits aux États-Unis, l'énumération des ouvrages de ce pays est limitée à ceux qui ont nécessité plus de 10 000 m<sup>3</sup> de sol-ciment. Les ouvrages ont été classés dans les catégories suivantes. Le nombre d'ouvrages pour chaque catégorie est indiqué entre parenthèses.

1. Barrages et digues - Protection des talus (57).
2. Réservoirs - Protection des rives (14).
3. Remblais pour grandes routes et chemins de fer - Protection des talus (29).
4. Remblais divers - Protection des talus (15).
5. Remblais homogènes en sol-ciment (2).
6. Barrages - Applications aux fondations (3).
7. Barrages - Applications aux évacuateurs de crue ou aux ouvrages de décharge (3).
8. Barrages - Applications au contrôle des infiltrations (3).

Ce rapport ne tient pas compte de l'utilisation de ciment-bentonite dans les écrans d'étanchéité des barrages, ni de l'emploi de béton compacté au rouleau, étant donné que ce dernier sujet sera traité dans un autre bulletin de la CIGB. Le sol-ciment et le béton compacté au rouleau se réfèrent tous les deux à des mélanges très compactés d'un certain type d'agrégat, d'eau et de ciment. La différence réside principalement dans le type et la dimension de l'agrégat. Le sol-ciment, en fait le sable-ciment, comprend habituellement des tout-venant de carrière (petit agrégat), tandis que le béton compacté au rouleau comprend des agrégats à granulométrie contrôlée, dont la dimension maximale est supérieure à 19 mm. A ce jour, le sol-ciment a été utilisé essentiellement comme protection des talus de barrages en terre, tandis que le béton compacté au rouleau a été principalement utilisé comme béton de masse, tel celui des barrages-poids.

## HISTORIQUE ET DÉVELOPPEMENT

Le sol-ciment a été développé aux États-Unis d'abord dans les années 1920 comme moyen de stabiliser les sols régionaux avec du ciment afin de produire un matériau de fondation économique pour la construction des routes comme alternative à la mise en place d'une fondation de gravier. Pendant les années 1940, l'ASTM (American Society for Testing and Materials) adopta différentes normes

---

# 1. FOREWORD

---

## DEFINITION AND SCOPE

Soil-cement is a mixture of soil, portland cement, and water. Through compaction and cement hydration, the mixture hardens with the soil particles bonding together to form a dense, durable, relatively impermeable, erosion resistant material.

This report considers the data relating to the use of compacted soil-cement on 136 dams or embankments constructed since 1962.

Since nearly all of the projects have been constructed in the United States, the listing of projects in that country has been limited to those utilizing more than 10 000 m<sup>3</sup> (13 080 yd<sup>3</sup>) of soil-cement. Soil-cement projects have been listed in the following categories. The number of projects within each category is in parenthesis.

1. Dams and dikes - Slope protection (57).
2. Reservoirs - Slope protection (14).
3. Highway and railroad embankments - Slope protection (29).
4. Miscellaneous embankments - Slope protection (15).
5. Solid soil-cement embankments (2).
6. Dams - Foundation applications (3).
7. Dams - Spillway or outlet works applications (3).
8. Dams - Seepage control applications (3).

This report does not consider the use of cement-bentonite seepage cutoff walls in dams nor the use of roller-compacted concrete, the latter subject will be reported on in another ICOLD report. Both soil-cement and roller-compacted concrete refer to highly compacted mixtures of cement, some from of aggregate and water. The difference is primarily in the type and size of aggregate. Soil-cement, actually sand-cement, usually consists of pit-run sands (fine aggregate), while roller-compacted concrete uses controlled gradation aggregates with a maximum size greater than 19 mm (3/4 inch). To date, soil-cement has been used primarily as slope protection for earth dams while roller-compacted concrete has been used mainly for mass concrete sections such as gravity dams.

## HISTORY AND DEVELOPMENT

Soil-cement was developed in the United States, starting in the 1920's as a means of stabilizing local soils with cement to produce an economical road building base material as an alternative to importing gravel base. During the 1940's, the ASTM (American Society for Testing and Materials) adopted several test standards based on research conducted by the PCA (Portland Cement Association).



d'essais standards basées sur des recherches menées par la PCA (Portland Cement Association).

Les principaux facteurs de contrôle pour l'emploi du sol-ciment dans la construction furent ainsi établis : (1) teneur en ciment adéquate; (2) teneur en eau appropriée; et (3) compactage adéquat. Les principes résultant de ces premiers travaux ont été employés pour construire plusieurs kilomètres de fondation en sol-ciment pour les chaussées à travers le monde.

Pendant la construction de plusieurs barrages en terre importants dans la région des plaines centrales des États-Unis, le Bureau (US Bureau of Reclamation) se préoccupa des coûts élevés du perré en enrochement de qualité pour la protection des talus amont de ces remblais. Le Bureau entreprit alors des recherches approfondies afin de déterminer si le sol-ciment convenait dans ce cas.

En se basant sur des études de laboratoire qui indiqueraient que le sol-ciment fait avec des sols sablonneux pourrait produire un revêtement durable et résistant à l'érosion, le Bureau décida d'effectuer, en 1951, une expérience grandeur nature. La rive sud du réservoir Bonny dans l'est du Colorado fut choisie pour soumettre une digue d'essai à des conditions sévères d'érosion provoquée par les vagues et la glace, avec une moyenne de 140 cycles de gel-dégel par année. Les détails du revêtement d'essai de sol-ciment compacté en forme de marches d'escaliers sont montrés Fig. 1.

Des méthodes de mélange sur place furent employées pour placer des couches horizontales compactées de 2,13 m de largeur et de 0,15 m d'épaisseur avec une pente de 1 V : 2 H pour la digue d'essai d'une hauteur de 6,8 m. Ceci produisit une épaisseur minimale de sol-ciment normalement à la pente de 0,82 m pour le remblai de 105 m de long.

Deux types de sols sablonneux locaux furent utilisés pour produire le mélange de sol-ciment. Le sable fin silteux, décrit comme étant le Sol A, a requis 12 % de ciment en volume, tandis que le sable plus grossier, sable silteux fin à moyen, décrit comme étant le Sol B, a nécessité 10 % de ciment en volume. Le mélange de sol-ciment a d'abord été compacté au moyen d'un rouleau à pieds de mouton et ensuite au moyen des pneus en caoutchouc d'un fardier chargé de sacs de ciment pour compacter la partie supérieure de la couche.

Même si la méthode de construction était considérée comme grossière selon les normes d'aujourd'hui, la performance de la digue d'essai fut meilleure que prévue. L'érosion en surface du sol-ciment fut mineure et limitée aux bordures mal compactées des couches et au bas des couches où le processus de mélange produisit une teneur en ciment plus basse que celle spécifiée. L'état de la digue d'essai au réservoir Bonny, en 1980, après 29 années d'exposition, est montré Fig. 2.

La résistance à la compression mesurée en laboratoire après 28 jours était, en moyenne, de 7,9 à 6,1 MPa pour les deux types de sable (Sols A et B) et les teneurs en ciment. Après 10 ans, des carottes obtenues par forage à partir du parement indiquaient que la résistance à la compression avait approximativement doublé pour des moyennes respectives de 13,8 et 14,9 MPa.

Après 10 ans d'observation de la digue d'essai, le Bureau était convaincu que le sol-ciment pouvait remplacer le perré d'enrochement et le choisit, en 1961, pour la protection des talus des barrages Merritt au Nebraska, et Cheney au Kansas. Le prix du sol-ciment indiqué dans les soumissions était inférieur de 50 % au coût du perré, engendrant une économie de plus de 1 million \$ pour les deux projets. Un

The basic control factors for soil-cement construction were thus established consisting of (1) adequate cement content; (2) proper moisture content, and (3) adequate compaction. The engineering principles resulting from this early work have been used to construct many kilometers (miles) of soil-cement base for pavements throughout the world.

During the construction of several major earth dams in the central plains area of the United States, the Bureau (US Bureau of Reclamation) became concerned with the high cost of providing quality rock riprap for upstream slope protection of these embankments. The Bureau, therefore, initiated a major research effort to study the suitability of soil-cement for this purpose.

Based on laboratory studies which indicated soil-cement made with sandy soils could produce a durable, erosion-resistant facing, the Bureau decided to construct a full-scale field test section in 1951. The location on the south shore of Bonny Reservoir in eastern Colorado was selected to subject the trial section to severe conditions due to waves, ice, and an average of 140 freeze-thaw cycles per year. The details of the stair-stepped compacted soil-cement facing for the test section are shown Fig. 1.

In-place mixing methods were used to place 2.13-m (7-ft) wide, 0.15-m (6-in) thick compacted horizontal layers up the 1 V : 2 H slope of the 6.8-m (22.5-ft) high test section embankment. This produced a minimum thickness of soil-cement normal to the slope of 0.82 m (2.7 ft) for the 105-m (345-ft) long embankment.

Two types of local sandy soils were used to produce the soil-cement mixture. A fine silty sand, described as Soil A, required 12 % cement by volume while a coarser, silty fine to medium sand, described as Soil B, used 10 % cement by volume. The soil-cement mixture was first compacted by a sheepsfoot roller and then by the rubber-tired wheels of a flatbed truck loaded with sacks of cement to compact the upper portion of the layer.

Although the construction method would be considered quite crude by today's standards, the test section performed much better than anticipated. Surface erosion of the soil-cement was minor and was limited to the poorly compacted, feathered edges of the layers and to the bottom of the layers where the mixing process produced less than specified cement content. The condition of the test section at Bonny Reservoir in 1980, after 29 years of exposure, is shown Fig. 2.

Average 28-day laboratory compressive strengths were 7.9 and 6.1 MPa (1.140 and 880 lb/in<sup>2</sup>) for the two different sands (soils A and B) and cement contents. After 10 years, cores drilled from the facing indicated the strength had approximately doubled with average compressive strengths of 13.8 and 14.9 MPa (2 000 and 2 160 lb/in<sup>2</sup>), respectively.

After 10 years of observing the test section, the Bureau was convinced of its suitability and specified soil-cement as an alternate to rock riprap for slope protection of Merritt Dam, Nebraska, and Cheney Dam, Kansas, in 1961. Soil-cement was bid at less than 50 % the cost of riprap and produced a savings totalling more than \$ 1 million for the two projects. Ute Dam for the State of New Mexico

appel d'offres a été lancé en 1962 pour le barrage Ute dans l'État de New Mexico et, lorsque l'ouvrage fut terminé l'année suivante, il devint le premier grand barrage en terre à être réalisé avec une protection du talus amont en sol-ciment. Le sol-ciment pour la protection des talus des barrages et autres ouvrages hydrauliques continue à gagner du terrain et ainsi, à la fin de 1982, de telles adjudications avaient atteint 8,3 hm<sup>3</sup> pour plus de 260 projets aux États-Unis.

Des digues d'essais de sol-ciment furent construites au Canada en 1963 et en Tchécoslovaquie en 1973. La section d'essai de la digue du canal qui fait partie de l'aménagement énergétique de Brazeau de Calgary Power dans le centre-ouest de l'Alberta, se prolongeant sur une longueur de 76 m, était semblable à celle du réservoir Bonny aux États-Unis. Elle fut réalisée au moyen de la méthode de mélange sur place et construite en marches d'escaliers avec une pente de 1 V : 2,75 H sur une hauteur verticale de 3,7 m.

Le dosage de 8 % (en poids) du ciment, qui avait été mélangé avec un gravier silteux tout-venant et ensuite compacté, permit d'obtenir une résistance à la compression moyenne à 28 jours de 3,7 MPa. Même si l'essai donna de bons résultats avec seulement une érosion de surface mineure à la ligne d'eau, il ne conduisit pas directement à un emploi immédiat du sol-ciment pour la protection des talus au Canada.

L'essai de Tchécoslovaquie par l'Entreprise Nationale Ingstav s'est fait sur une digue de 40 m de long sur le Lac Vrkoc. Des couches horizontales de 0,20 m d'épaisseur et de 1,40 m de largeur donnèrent une épaisseur de 0,50 m mesurée perpendiculairement à la pente de 1 V : 2,5 H.

Des échantillons de carottes avec des teneurs en ciment de 13 et 9 % en poids (ciment Portland produit par haut-fourneau) amenèrent des résistances à la compression respectives à 190 jours de 9,8 MPa et de 4,9 MPa, avec le gravier sablonneux du mélange. L'expérience acquise avec la mise en place du sol-ciment au Lac Vrkoc conduisit en 1976 à un ouvrage expérimental plus important au barrage Nove'Mlyny Backwater.

was bid in 1962 and, when completed the following year, became the first major earth dam completed with soil-cement upstream slope protection. Soil-cement for slope protection of dams and other water resources applications continued to gain acceptance so that by the end of 1982, such awards had reached 8.3 millions m<sup>3</sup> (10 860 000 yd<sup>3</sup>) for more than 260 projects in the United States.

Soil-cement test sections were constructed in Canada in 1963 and Czechoslovakia in 1973. The test section on a 76-m (250-ft) length of the canal dike for Calgary Power's Brazeau Storage and Power Development in west-central Alberta, was similar to the Bonny Reservoir test in the United States. It was constructed by the in-place mixing method and was stair-stepped up the 1 V : 2.75 H slope for a vertical height of 3.7 m (12 ft).

The 8 % cement by weight which was mixed with a pit-run silty gravel and compacted, produced an average 28-day compressive strength of 3.7 MPa (540 lb/in<sup>2</sup>). Although the test produced good results with only minor surface erosion at the waterline, it did not directly lead to any immediate use of soil-cement slope protection in Canada.

Czechoslovakia's test by the Ingstav National Enterprise was on a 40-m (130-ft) long section on Vrkoc Lake. Horizontal layers 0.20 m (7.9 in) thick and 1.40 m (4.6 ft) wide produced a 0.50-m (1.64-ft) thickness on the 1 V : 2.5 H slope.

Cores samples from the sections with cement (blast furnace portland cement) contents of 13 and 9 % by weight, produced 190-day compressive strengths of 9.8 MPa (1 420 lb/in<sup>2</sup>) and 4.9 MPa (710 lb/in<sup>2</sup>), respectively, with the sandy gravel soil material. The experience gained with the soil-cement placement at Vrkoc Lake led to a larger experimental project on the Nove' Mlyny Backwater Dam in 1976.

---

## 2. PROPRIÉTÉS DES MATÉRIAUX

---

### CIMENT

La norme de l'ASTM C 150, Type 1 ou ciment Portland normal, est celle qui est surtout employée dans le cas de construction en sol-ciment compacté. Le ciment Type II avec une teneur maximale en  $C_3A$  (aluminat tricalcique) de 8 % a été spécifié lorsque les sols ou de l'eau sulfatés ont été rencontrés. Le Type II a aussi été employé pour du sol-ciment exposé à de l'eau saumâtre ou à de l'eau de mer. Il n'y a pas de statistiques indiquant que du ciment Type V, avec une teneur maximale en  $C_3A$  de 5 %, ait été utilisé sur des ouvrages mentionnés dans ce rapport.

Les teneurs en ciment peuvent être spécifiées, soit comme un pourcentage en volume du mélange sol-ciment compacté, soit comme un pourcentage en poids du sol séché. Puisque presque tous les sols-ciments utilisés sur les ouvrages hydrauliques ont été réalisés au moyen d'une centrale de malaxage, le ciment est généralement spécifié comme un pourcentage en poids du sol sec servant au mélange. Pour quelques-uns des premiers projets et ceux où le mélange a été fait sur place, la teneur en ciment a été spécifiée comme un pourcentage en volume.

Des teneurs en ciment de 7 à 14 % du poids du sol sec ont été employées avec, dans la plupart des cas, des valeurs entre 10 et 12 %.

La norme de l'ASTM C 618, Classe F Pouzzolane (cendres volantes), qui varie entre 2 et 6 % du poids du sol sec en plus du 8 à 10 % de ciment Portland, a été employée pour 5 des 136 ouvrages traités dans ce rapport.

### SOL

Les ouvrages en sol-ciment ont utilisé une grande variété de sols. Il a été prouvé que les sables dont au moins 85 % des particules passent au tamis de 5 mm (n° 4) et 10 à 25 % passent au tamis de 0,075 mm (n° 200), qui ont une basse plasticité et sont non-organiques, requièrent moins de ciment. La quantité de fines (particules passant au tamis de 0,075 mm (n° 200)), présente dans les mélanges sol-ciment employés pour les ouvrages de protection des talus a varié entre 4 et 38 %.

Les sols contenant plus de 2 % de matières organiques (principalement de type hydroxy-quinone) et ayant un pH de moins de 5,3 ne peuvent réagir au ciment de façon normale. Des essais additionnels pour déterminer la capacité du sol à absorber le calcium devraient être effectués afin d'établir si ces sols rares sont appropriés.

Le pourcentage optimal de particules fines (0,05 mm) pour une teneur minimale en ciment basée sur une durabilité adéquate, peut être déterminé d'après la Fig. 3. Les courbes ont été établies par la PCA pour son essai court en vue de déterminer la teneur en ciment pour les sols sablonneux sans particules retenues au tamis de 5 mm (n° 4). Les sols contenant 38 % ou plus de particules passant au tamis de 0,075 mm (n° 200) n'ont pas été employés sur les ouvrages traités dans ce rapport. Cependant, il se peut qu'il soit possible de mélanger ces sols fins avec un matériau

---

## 2. MATERIAL PROPERTIES

---

### CEMENT

ASTM Specification C 150, Type I or normal portland cement, is most commonly used for compacted soil-cement construction. Where sulfate soils or water have been encountered, Type II having a maximum C<sub>3</sub>A (tricalcium aluminate) content of 8 % has been specified. Type II has also been used for soil-cement exposed to brine or seawater. There is no record of Type V cement, with a maximum C<sub>3</sub>A content of 5 %, having been used on any project considered in this report.

Cement contents can be specified as either a percent by volume of the compacted soil-cement mixture or a percent by weight of dry soil. Since nearly all major soil-cement water control projects have been constructed using central plant mixing, the cement is generally specified as a percentage of the dry weight of the soil being used. For some early projects and those constructed using in-place mixing, the cement was specified as a percent by volume.

Cement contents from 7 to 14 % by dry weight of soil have been used with most projects in the 10 to 12 % range.

C 618 Class F Pozzolan (fly ash) ranging from 2 to 6 % by dry weight of soil in addition to 8 to 10 % portland cement was used on 5 of the 136 projects considered in this report.

### SOIL

Soil-cement has been constructed using a wide range of soils. Sands with at least 85 % passing the 5-mm (No. 4) sieve and 10 to 25 % fines passing the 0.075-mm (No. 200) sieve which have low plasticity and are nonorganic have proven to require the least amount of cement. The amount of fines (material passing the 0.075-mm (No. 200) sieve) present in soil-cement mixtures used on actual slope protection projects has ranged from 4 to 38 %.

Soils with greater than 2 % organic material (primarily of the hydroxy-quinone type) and a pH less than 5.3 may not react normally with cement. Additional tests to determine the ability of soil to absorb calcium should be conducted to determine the suitability of these soils.

The optimum percentage of 0.05-mm fines for minimum cement content, based on adequate durability, can be determined from Fig. 3. The curves were developed by the PCA for its short-cut test to determine cement content for sandy soils with no material retained on the 5-mm (No. 4) sieve. Soils containing 38 % or more material passing the 0.075-mm (No. 200) sieve have not been used for the projects covered by this report. However, it may be possible to blend these fine soils with



plus granulaire afin de produire un mélange dont le pourcentage de particules fines correspond aux points bas des courbes.

La plasticité des sols employés dans le sol-ciment est habituellement limitée à un IP (indice de plasticité) de 8. Les sols argileux requièrent des teneurs en ciment plus élevées que les sables pour une durabilité comparable. Aussi, est-ce plus difficile de mélanger du ciment avec des sols argileux qu'avec des sols sablonneux. Les engins de construction qui passent sur du sol-ciment contenant des particules fines d'argile ou des boulettes d'argile ont tendance à s'enfoncer dans le matériau cohésif, réduisant ainsi la liaison entre couches successives.

Les sols ayant un IP (indice de plasticité) de plus de 8 peuvent être traités avec de la chaux hydratée avant la stabilisation du ciment, mais aucun barrage utilisant ces deux matériaux n'a été construit à ce jour.

Dans un mélange de sables et graviers naturels, seul le matériau passant au tamis de 40 mm est généralement employé pour le sol-ciment placé en couches compactées de 0,15 m d'épaisseur.

Les courbes granulométriques des sols de plusieurs ouvrages spécifiques sont montrées Fig. 4.

## **EAU**

L'eau sert à deux fonctions dans la production du sol-ciment. Elle contribue à l'obtention d'un compactage maximal et est nécessaire à l'hydratation du ciment, qui durcit et lie le sol en une masse solide. Toute eau, qu'elle soit naturelle ou traitée, convient au sol-ciment. La seule exigence est que l'eau soit exempte de quantités excessives d'alcalis, acides, ou matières organiques, qui pourraient empêcher le durcissement approprié du sol-ciment.

L'eau de mer a été utilisée avec succès comme eau de mélange dans le cas des digues en sol-ciment constituant le réservoir d'eau de refroidissement de la centrale Barney M. Davis au Texas.

La quantité d'eau devrait être équivalente ou presque à la teneur en eau optimale qui produit la densité maximale du mélange sol-ciment, telle que déterminée par l'essai Proctor Standard (ASTM : D 558). Les teneurs en eau sont habituellement de l'ordre de 10 à 13 % du poids du sol sec plus le ciment.

## **ESSAIS DE LABORATOIRE**

Des essais de laboratoire simples adoptés par l'ASTM et faits sur des mélanges de sol et ciment déterminent les trois exigences fondamentales pour le sol-ciment :

1. Teneur en eau appropriée;
2. Teneur en ciment appropriée;
3. Densité adéquate.

L'essai densité-teueur en eau (ASTM : D 558) est l'essai le plus communément utilisé. Il est employé pour déterminer la teneur en eau optimale et la densité

a more granular material to produce a resultant mixture whose percentage of fines corresponds to the troughs of the curves.

Plasticity of soils used in soil-cement is usually limited to a PI (plasticity index) of 8. Clayey soils require higher cement contents than sands for comparable durability. Also, it is more difficult to mix cement into clayey soils than sandy soils. Construction equipment running over a soil-cement containing clay fines or clay balls tends to track the cohesive material, thereby reducing bonding of successive layers.

Soils with a PI greater than 8 may be treated with hydrated lime prior to cement stabilization, but no dam applications using both materials have been constructed to date.

For a mixture of natural sands and gravels, only the material which passes the 40-mm (1-1/2-in) screen is generally used in soil-cement placed in 0.15-m (6-in) thick compacted layers.

Soil gradations for several specific projects are shown Fig. 4.

## **WATER**

Water serves two purposes in producing soil-cement. It helps obtain maximum compaction and is necessary for cement hydration which hardens and binds the soil into a solid mass. Water from many sources, either raw or treated, is suitable for soil-cement. The only requirement is that the water be free from excessive amounts of alkalis, acids, or organic matter that might inhibit proper hardening of the soil-cement.

Seawater was successfully utilized as a mixing water for the solid soil-cement dikes that enclose the cooling water reservoir at the Barney M. Davis Power Station - Texas.

The amount of water should be at or near the optimum moisture that produces maximum density of the soil-cement mixture as determined by the Standard Proctor test (ASTM : D 558). Moisture contents are usually in the range of 10 to 13 % by dry weight of the soil plus cement.

## **LABORATORY TESTS**

Simple laboratory tests adopted by the ASTM made on mixtures of soil plus cement determine the three fundamental requirements for soil-cement :

1. Proper moisture content.
2. Proper cement content.
3. Adequate density.

The moisture-density test (ASTM : D 558) is the most commonly used test. It is used to determine the optimum moisture content and maximum density for

maximale pour mouler les échantillons en laboratoire. Il est aussi employé pendant la construction en tant que facteur aidant l'ingénieur à déterminer la quantité d'eau à ajouter et la densité à laquelle le mélange devrait être compacté.

Afin de déterminer la teneur en ciment appropriée, des essais de durabilité sont effectués sur des cylindres d'essais préparés avec une teneur en ciment choisie ainsi que des teneurs en ciment 2 % au-dessus et en dessous de la première valeur. Les résultats des essais de durabilité tels que mouillage-séchage (ASTM : D 559), gel-dégel (ASTM : D 560), et les critères de perte de poids adoptés par la PCA ou le Bureau, détermineront la teneur en ciment requise pour stabiliser le sol conformément aux critères développés à l'origine pour la fondation des chaussées en sol-ciment.

Les essais mouillage-séchage et gel-dégel ont été développés pour déterminer la teneur en ciment minimale requise pour produire un matériau de structure capable de résister aux changements de volume produits par les variations d'humidité et de température.

Dans le cas des sols sablonneux employés pour le sol-ciment dans des ouvrages hydrauliques, les normes de la PCA permettent une perte de poids de 14 % après 12 cycles de mouillage-séchage ou de gel-dégel sur des échantillons présentant une cure de 7 jours. Les échantillons sont brossés après chaque cycle pour enlever le matériau lâche. Les normes du Bureau permettent une perte de poids de 8 % pour l'essai gel-dégel et de 6 % pour l'essai mouillage-séchage. Dans le cas des sols granulaires, l'essai gel-dégel produit invariablement une plus grande perte de poids que l'essai mouillage-séchage et, par conséquent, contrôle normalement les résultats.

Lorsque les échantillons passent les essais de durabilité, tels qu'établis pour les fondations de chaussées en sol-ciment et que la teneur en ciment a été déterminée, un pourcentage additionnel de ciment de 2 % est spécifié pour la construction des ouvrages hydrauliques. Cette addition a pour but de tenir compte, selon la PCA, des effets plus sévères d'exposition à l'eau, comparés à ceux subis par la fondation d'une chaussée, ou de tenir compte des variations *in situ* du sol et du procédé de mélange selon le Bureau.

Une teneur en ciment constante a été utilisée pour tous les ouvrages de protection de talus en sol-ciment construits à ce jour, même si une conception plus économique pouvait valablement être obtenue en variant la teneur en ciment, dépendant de la condition d'exposition du revêtement du remblai. Par exemple, une quantité moindre de ciment pourrait être utilisée pour le sol-ciment placé sous la cote d'exploitation minimale des réservoirs.

Selon les normes tchécoslovaques pour déterminer la teneur en ciment au moyen des essais de durabilité en laboratoire, on permet que les échantillons à 7 jours subissent une perte de poids de 5 % après 12 cycles de mouillage-séchage ou gel-dégel. Aussi, la perte de résistance à la compression d'échantillons à 28 jours ne devra pas dépasser 25 % après 100 cycles de gel-dégel.

En se basant sur les résultats de la digue d'essai du réservoir Bonny, le Bureau a également adopté des normes secondaires de résistance à la compression pour déterminer la teneur en ciment appropriée. Des échantillons moulés à la teneur spécifiée en ciment devraient atteindre une résistance à la compression d'au moins 4,0 MPa après 7 jours et 6,0 MPa après 28 jours. Les normes de résistance à la compression tchécoslovaques sont de 4,0 MPa après 7 jours et de 7,0 MPa après 28 jours.

molding laboratory test specimens. It is also used during construction as a factor to guide the engineer in determining the amount of water to be added and the density to which the mixture should be compacted.

In order to determine the proper cement content, durability tests are conducted on test cylinders prepared using an estimated cement content and also cement contents 2 % points above and below the estimated content. The results of durability tests such as wet-dry (ASTM : D 559), freeze-thaw (ASTM : D 560), and weight-loss criteria adopted by the PCA or the Bureau, will determine the cement content for stabilization of the soil in accordance with criteria originally developed for soil-cement road base.

The wet-dry and freeze-thaw tests were developed to determine the minimum cement content required to produce a structural material that would resist volume changes produced by variations in moisture and temperature.

For the sandy soils, as used for soil-cement in water control applications, PCA criteria allow a 14 % weight loss after 12 cycles of wetting and drying or freezing and thawing on 7-day-old cured test specimens. The specimens are brushed to remove loose material after each cycle. The Bureau criteria allow an 8 % weight loss in the freeze-thaw test and 6 % loss in the wet-dry test. For granular soils, the freeze-thaw test invariably produces a greater weight loss than the wet-dry test and, therefore, normally controls.

Once the specimens pass the durability tests, as established for soil-cement road base, and that the cement content has been determined, an additional 2 % cement is specified for construction of water control projects. This is to account for the more severe effects of water exposure as compared to road base construction according to PCA, or to account for field variations in the soil and mixing process according to the Bureau.

All soil-cement slope protection projects constructed to date have utilized a constant cement content, although a more economical design could possibly be obtained by varying the cement content, depending upon the exposure condition of the face of the embankment. As an example, a lesser amount of cement could be used for the soil-cement that is placed below the minimum reservoir elevation.

Per Czechoslovakian criteria to determine cement content by laboratory durability tests, 7-days-old specimens are allowed 5 % weight loss after 12 cycles of wet-dry or freeze-thaw tests. Also, the compressive strength loss of 28-day-old specimens shall not exceed 25 % after 100 freeze-thaw cycles.

Based on the results of the Bonny Reservoir test section, the Bureau has also adopted a secondary compressive strength criteria for determination of proper cement content. Test specimens molded at the specified cement content should reach at least 4.1 MPa (600 lb/in<sup>2</sup>) at 7 days and 6.0 MPa (875 lb/in<sup>2</sup>) at 28 days. Czechoslovakian compressive strength criteria are 4.0 MPa (600 lb/in<sup>2</sup>) at 7 days and 7.0 MPa (1.015 lb/in<sup>2</sup>) at 28 days.

La PCA a établi une relation entre la résistance à la compression et la durabilité à l'aide de plus de 1 700 essais (voir Fig. 5). Même avec des échantillons de 7 jours ayant une résistance à la compression de 4,0 MPa, près de 15 % ne passèrent pas les essais gel-dégel et mouillage-séchage de l'ASTM. Il a été déterminé que la plupart des échantillons qui indiquent une résistance à la compression élevée, mais une durabilité médiocre, sont des mélanges de sable et gravier grossiers avec un peu ou pas de particules fines passant au tamis de 0,075 mm (n° 200). La PCA recommande un minimum de 5 % de particules fines passant au tamis de 0,075 mm (n° 200), tandis que des ingénieurs de Bureau sont d'avis que le minimum de particules fines devrait être de 10 %.

La PCA a aussi mis au point un essai rapide pour les sols sablonneux. La teneur en ciment requise peut être établie à partir d'abaques en déterminant seulement la densité maximale et le pourcentage de matériau plus petit que 0,05 mm (pourcentage passant au tamis n° 270). La teneur en ciment ainsi obtenue est alors confirmée par un essai de résistance à la compression à 7 jours.

A relationship between strength and durability has been determined by the PCA based on more than 1 700 tests (see Fig. 5). Even at a 7-day compressive strength of 4.0 MPa (600 lb/in<sup>2</sup>), nearly 15 % of test specimens did not pass the ASTM freeze-thaw and wet-dry tests. It has been determined that most of the test specimens which show high compressive strength, but poor durability are coarse sand-gravel mixtures with little or no fines passing the 0.075-mm (No. 200) sieve. PCA recommends a minimum of 5 % 0.075-mm (No. 200) sieve fines, while some Bureau engineers feel the minimum amount of silty fines should be 10 %.

The PCA has also developed a shortcut test procedure for sandy soils. The required cement content can be determined from charts by determining only the maximum density and the percentage of material smaller than 0.05 mm (percent passing the No. 270 sieve). The resulting cement content is then confirmed by a 7-day compressive strength test.



---

### 3. CRITÈRES DE CONCEPTION ET CONSIDÉRATIONS ATTENANTES

---

Dans ce chapitre, nous nous attardons spécialement sur les critères de conception pour la protection des talus en sol-ciment en forme de marches d'escaliers dans le cas de remblais en terre, étant donné qu'ils représentent plus de 90 % des applications traitées dans ce rapport.

#### DIMENSIONS DU PAREMENT

L'épaisseur totale de la protection des talus en sol-ciment pour les grands barrages et réservoirs a varié entre 0,46 et 0,76 m mesurée perpendiculairement à la pente avec une norme standard de 0,61 m. L'épaisseur de 0,61 m donne une largeur de travail horizontale de 2,44 m pour les camions lorsque le revêtement est placé sur une pente de 1 V : 3 H. Les détails et dimensions du revêtement en sol-ciment pour trois barrages sont montrés Fig. 6. Une tendance vers une épaisseur perpendiculaire de 0,46 m a été notée pour les barrages de dimensions petites à moyennes et pour les remblais de grandes routes. Dans ce cas, il est nécessaire de placer le sol-ciment au moyen d'un convoyeur, étant donné que la corniche de travail est beaucoup trop étroite pour permettre aux camions de reculer vers une épandeuse.

Jusqu'à maintenant, le sol-ciment était placé en couches compactées horizontales de 0,15 m d'épaisseur, mais récemment des couches plus épaisses ont été spécifiées pourvu que le compactage requis soit obtenu à travers toute l'épaisseur de la couche. A la centrale nucléaire South Texas, des couches de 0,23 m ont été utilisées, tandis qu'au barrage Bayou Loco, également au Texas, l'épaisseur de la couche compactée était de 0,30 m.

Pour les cas où de petits réservoirs ont été revêtus avec du sol-ciment, l'unique couche de 0,15 m d'épaisseur mesurée perpendiculairement à la pente a été placée au-dessus du niveau normal de retenue pour servir de protection des talus. Une ou deux couches placées directement sur le talus ont également été utilisées pour protéger le talus des barrages lorsque de hautes vagues ne sont pas prévues et que la pente de remblai est de 1 V : 3 H ou moins. On prévoit que cette méthode de conception et de construction de revêtement sera utilisée plus souvent à l'avenir étant donné qu'elle permet des revêtements plus minces et élimine les joints entre les couches qui sont exposés à l'eau. Cependant, la surface compactée lisse provoquera un déferlement de vagues plus important.

#### AUTRES CONSIDÉRATIONS

La conception de l'intersection de la protection des talus en sol-ciment avec les culées en terre doit être envisagée de façon à prévenir l'érosion des matériaux sous

---

### 3. DESIGN CONCEPTS AND CONSIDERATIONS

---

The design concepts for stair-stepped soil-cement slope protection for earth embankments will be emphasized in this section as they represent more than 90 % of the applications covered by this report.

#### FACING DIMENSIONS

Total thickness of soil-cement slope protection for major dams and reservoirs has ranged from 0.46 to 0.76 m (1.5 to 2.5 ft) measured perpendicular to the slope with 0.61 m (2 ft) being standard. The 0.61 m (2 ft) thickness allows for a 2.44-m (8-ft) horizontal working width for haul trucks when placed on an 1 V : 3 H embankment slope. Details and dimensions of three soil-cement dam facings are shown Fig. 6. A trend toward 0.46-m (18-in) perpendicular thickness has been noted for small to medium size dams and highway embankments. In this case, conveyor placement of the soil-cement is required, as the working ledge is now too narrow for haul trucks backing up to a spreader.

Soil-cement has usually been placed in horizontal 0.15-m (6-in) thick compacted layers but recently thicker layers have been specified as long as required compaction is obtained throughout the layer thickness. At the South Texas Nuclear Plant, 0.23-m (9-in) layers were used while at Bayou Loco Dam, also in Texas, the compacted layer thickness was 0.30 m (12 in).

In cases where small reservoirs have been lined with soil-cement, the single 0.15-m (6-in) thick layer perpendicular to the slope has been placed above the normal water surface to serve as slope protection. One or two layers placed directly on the slope has also been used for slope protection for dams where high waves are not anticipated and the embankment slope is 1 V : 3 H or flatter. It is anticipated that this « plating » method of design and construction will be used more in the future as it allows for thinner facings and eliminated layer joints exposed to the water. However, greater wave runup will occur due to the smooth compacted face.

#### OTHER CONSIDERATIONS

Design for the intersection of the soil-cement slope protection with the earth abutments must be considered in order to prevent erosion of material below the

---

le sol-ciment. Les méthodes utilisées pour prévenir cette érosion comprennent la mise en place de plusieurs couches de sol-ciment dans une tranchée ou encore la mise en place de perré.

Le revêtement devrait se prolonger sous le niveau minimal du réservoir, habituellement jusqu'à 1,5 m plus bas afin d'éviter de sapper la fondation en sol-ciment.

Lorsque des vagues extrêmement hautes sont prévues, il est essentiel de lier entre elles les couches successives de sol-ciment. Les méthodes de liaison sont décrites au chapitre « Construction » du présent rapport, et les facteurs de déferlement de la vague sur le parement sont décrits au chapitre « Recherche et développement ».

Un degré supplémentaire de stabilité est donné au remblai par la résistance de masse et l'imperméabilité du revêtement en sol-ciment, mais ces effets ne sont pas habituellement considérés lors de la conception structurale et hydraulique du profil. Des considérations particulières ne sont pas habituellement nécessaires lors de la conception du remblai, mais le Corps of Engineers a utilisé un noyau amont en talus au barrage Optima, Oklahoma, afin de placer les deux matériaux les plus imperméables ensemble, le revêtement en sol-ciment et la zone de caliche imperméable (un matériau de carbonate de calcium contenant des quantités variables de sable et autres impuretés) (voir Fig. 7).

Le Bureau of Reclamation a placé du sol-ciment sur les zones imperméables de tous ses barrages protégés par du sol-ciment, à l'exception du barrage Starvation en Utah. Les noyaux amont inclinés ont également été recouverts de sol-ciment par le Bureau au barrage Merritt, au Nebraska, ainsi qu'au barrage Cutter en Utah.

Des conditions telles que l'abaissement rapide du plan d'eau du réservoir ou l'affaissement anticipé du remblai et de la fondation peuvent nécessiter une étude spéciale.

Un abaissement rapide du plan d'eau excédant 5 m en quelques jours pourrait théoriquement entraîner le développement d'une pression hydrostatique contre l'arrière du revêtement, due à l'humidité emprisonnée dans le remblai. Les trois critères de conception qui ont été utilisés pour prévenir de façon efficace les dommages causés par la pression résultant de l'abaissement rapide du plan d'eau sont :

1. Concevoir le remblai de telle sorte que sa zone la plus imperméable soit immédiatement adjacente au revêtement en sol-ciment. Cette méthode, utilisée pour les barrages Merritt au Nebraska, et Cheney au Kansas, assure que l'infiltration à travers les fissures du revêtement ne formera pas une réserve d'eau suffisamment grande pour produire des sous-pressions dommageables.
2. Assurer un drainage libre derrière et sous le revêtement en sol-ciment afin de prévenir une sous-pression. Au barrage Ute, New Mexico, une zone de remblai perméable se drainant vers le réservoir a été placée directement derrière le revêtement en sol-ciment.
3. S'assurer que le poids du revêtement est suffisant pour résister à toute sous-pression éventuelle. Au barrage Starvation en Utah, où le revêtement en sol-ciment est adjacent à une zone de sable et gravier, le poids du revêtement et le drainage à travers les fissures ont été jugés adéquats pour les conditions d'abaissement du plan d'eau prévues.

soil-cement. Methods used to prevent this erosion include placing several layers of soil-cement in a trench or protecting the intersection with rock riprap.

The facing should be carried below the minimum reservoir level, usually by 1.5 m (5 ft) to prevent undermining the soil-cement toe.

Where extremely high waves are anticipated, bonding successive soil-cement layers is essential. Methods for bonding are described in the Construction Section of this report, and wave runup factors are described in the Research and Development Section.

Some additional degree of stability is provided to an embankment by the strength mass and impermeability of the soil-cement facing but these effects are not usually considered in the structural and hydraulic design of the section. Special design considerations are not usually necessary in the embankment design, but the Corps of Engineers used a sloping upstream core at Optima Dam in Oklahoma in order to place the two most impervious materials together — the soil-cement face and the impervious caliche (a calcium carbonate material with varying amounts of sand and other impurities) zone (see Fig. 7).

The Bureau of Reclamation has placed soil-cement on the impervious zones of all its soil-cement protected embankment dams, except for Starvation Dam in Utah. Sloping upstream cores were also lined with soil-cement by the Bureau for Merritt Dam in Nebraska and Cutter Dam in Utah.

Conditions that may require special analysis include rapid drawdown of the reservoir or anticipated subsidence of the embankment and foundation.

Rapid drawdown of the reservoir, exceeding 5 m (16 ft) in a few days, could theoretically produce hydrostatic pressure from moisture trapped in the embankment against the back of the facing. Three design concepts that have been used to effectively prevent damage due to rapid drawdown-induced pressure are :

1. Design the embankment so that its most impermeable zone is immediately adjacent to the soil-cement facing. This method, used on Merritt Dam, Nebraska, and Cheney Dam, Kansas, ensures that seepage through cracks in the facing will not build up a pool of water sufficient to produce damaging uplift pressures.
2. Provide free drainage behind and under the soil-cement facing to prevent uplift. At Ute Dam, New Mexico, a pervious embankment zone, draining back into the reservoir, was placed directly behind the soil cement facing.
3. Consider the weight of the facing as sufficient to resist uplift pressures that may develop. At Starvation Dam, Utah, where the soil-cement facing is adjacent to a sand and gravel zone, the weight of the facing plus drainage through cracks were considered adequate for drawdown conditions anticipated.

Il faut noter que le mouvement ou une fissuration du revêtement déclencherait une contre-pression excessive. Aucun comportement dangereux de la couche de protection de talus en sol-ciment, dû à des pressions hydrostatiques excessives produites par l'abaissement rapide du plan d'eau, n'a été noté ou rapporté jusqu'à maintenant.

Une fondation compressible, un tassement à l'intérieur du remblai même, ou les deux, pourraient entraîner un affaissement du remblai. L'analyse des effets possibles d'une telle situation implique un certain nombre d'hypothèses de la part du concepteur sur le comportement du remblai. Une analyse structurale de cette situation peut être faite en combinant ces hypothèses avec les caractéristiques du revêtement.

Il faut garder à l'esprit qu'un réseau de fissures étroites de surface, espacées de 3 à 6 m, ne reflète qu'un durcissement normal du sol-ciment. Un affaissement substantiel du remblai pourrait permettre au revêtement de se tasser par grandes sections coïncidant avec le réseau normal de fissuration.

Même si un tassement de fondation de 0,09 m et un tassement du remblai de 0,12 m ont été mesurés au barrage Merritt en 1964, aucun signe évident de déformation dangereuse n'a été noté dans le revêtement. Lorsqu'un affaissement de la fondation ou un tassement du remblai sont prévus, il est de bon usage de laisser la majeure partie de la consolidation ou du tassement se produire avant de placer le sol-ciment.

## PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DU SOL-CIMENT DURCI

Le sol-ciment continue d'acquérir de la résistance à la compression avec le temps, en particulier lorsqu'il est soumis à des conditions favorables de « cure », telles qu'un contact avec l'eau de réservoir. Des exemples de résistances à la compression, en fonction du temps, sont montrés Fig. 8. Le gain significatif de résistance à 28 jours peut être attribué en partie à une certaine action pouzzolanique des particules fines silteuses dans le mélange.

Des carottes prélevées au barrage Merritt au Nebraska en 1980, par le Bureau, montrent la résistance à la compression la plus haute jamais enregistrée pour la protection des talus en sol-ciment. Lorsque le barrage fut construit en 1963, la résistance à la compression moyenne à 28 jours était de 12,3 MPa en utilisant 14 % de ciment en volume. Dix-sept ans plus tard, la résistance à la compression moyenne avait atteint 25,9 MPa avec un échantillon qui cassait à 35,6 MPa. Les particules fines au barrage Merritt contenaient des quantités importantes de cendre volcanique.

L'addition de ciment aux sols, combinée avec le compactage, augmente également les propriétés de résistance au cisaillement. Ceci est dû surtout à une augmentation considérable de la cohésion  $c$  suite à la cimentation, mais une augmentation importante de l'angle de frottement interne  $\phi$  a également été notée. La Fig. 9 montre l'augmentation de la résistance au cisaillement triaxial de trois classifications différentes de sols AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) avec une augmentation de la teneur en ciment.

L'infiltration à travers les revêtements en sol-ciment est décrite au chapitre « Recherche et développement » de ce rapport.

It should be noted that movement or cracking of the facing would release excessive back pressure. No distress to soil-cement slope protection due to excessive hydrostatic pressures produced by rapid drawdown has as yet been noted or reported.

Embankment subsidence might result from a compressible foundation, settlement within the embankment itself, or both. Analysing the possible effects of such a condition involves a number of assumptions by the designer concerning the embankment behavior. Combining these assumptions with the characteristics of the facing, a structural analysis of the condition can be made.

It should be kept in mind that a pattern of narrow surface cracks about 10 to 20 feet apart is evidence of normal hardening of the soil-cement. Substantial embankment subsidence could allow the facing to settle back in large sections coinciding with the normal shrinkage crack pattern.

Although a foundation settlement of 0.09 m (0.3 ft) and embankment compression of 0.12 m (0.4 ft) were measured at Merritt Dam in 1964, no evidence of distress was noted in the facing. When settlement of the foundation or compression of the embankment is anticipated, it is good practice to allow a major portion of the consolidation or settlement to take place prior to placement of the soil-cement.

## **PHYSICAL PROPERTIES OF HARDENED SOIL-CEMENT**

Soil-cement continues to gain in compressive strength with time, especially when subjected to favorable curing conditions such as reservoir water. Some typical compressive strengths with time are shown Fig. 8. The significant strength gain after 28 days can, in part, be attributed to some pozzolanic action of the silty fines in the mixture.

Cores removed by the Bureau from Merritt Dam in Nebraska in 1980 show the highest compressive strength recorded for soil-cement slope protection. When constructed in 1963, the average 28-day compressive strength was 12.3 MPa (1782 lb/in<sup>2</sup>) using 14 % cement by volume. Seventeen years later, the average compressive strength had reached 25.9 MPa (3 754 lb/in<sup>2</sup>) with one specimen breaking at 35.6 MPa (5 165 lb/in<sup>2</sup>). The Merritt Dam fines included significant amounts of volcanic ash.

The addition of cement to soils together with compaction also produces increased shear strength properties. This is due mostly to large increases in  $c$  (cohesion) due to cementation, but also significant increases in  $\phi$  (the angle of internal friction) are noted. Fig. 9 shows the increase in triaxial shear strength of three different AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) classification soils with an increase in cement content.

Seepage through soil-cement facings is described in the Research and Development Section of this report.



---

## 4. CONSTRUCTION

---

### COMMENTAIRES GÉNÉRAUX

Les étapes de construction de base à suivre dans le cas de la protection des talus en sol-ciment sont le malaxage, le transport, l'épandage, le compactage, l'adhésion entre les couches, la finition et la « cure ». On ne doit pas placer de sol-ciment lorsque la température est froide ou qu'il y a gel. La plupart des spécifications techniques exigent que la température de l'air soit d'au moins 7 °C ou de 4 °C seulement mais montante.

Des taux de production de 75 m<sup>3</sup> à 150 m<sup>3</sup>/h sont normaux lorsque le sol-ciment est placé en couches horizontales et en marches d'escaliers vers la partie supérieure du remblai. C'est au réservoir de refroidissement d'eau de la centrale South Texas qu'on a rapporté la plus grande quantité de sol-ciment placée en une seule journée, soit 8 410 m<sup>3</sup> placés au moyen de deux épanduses fonctionnant pendant deux postes de 10 heures ou avec une moyenne de 210 m<sup>3</sup>/h.

Les taux de mise en place de sol-ciment en une couche ou plus, directement sur le talus, sont habituellement de moins de 70 m<sup>3</sup>/h.

### MÉTHODES DE CONSTRUCTION

#### Malaxage

Les centrales de malaxage ayant des capacités estimées de 250 à 1 000 t/h ont généralement été utilisées pour mélanger le sol, le ciment et l'eau. Les méthodes de malaxage sur place ont été utilisées sur seulement 6 ouvrages. Dans trois cas, le malaxage a été effectué à l'emplacement final du sol-ciment, tandis qu'un site de malaxage situé près du talus à protéger a été utilisé dans les trois autres occasions.

Lorsque des centrales de malaxage ont été utilisées, un broyeur à double arbre pour malaxage continu a invariablement été employé. Une centrale de malaxage par lot a été utilisée dans un cas seulement. Un diagramme d'une centrale à débit continu pour le malaxage du sol-ciment est montré Fig. 10.

#### Transport

Le sol-ciment malaxé est transporté au moyen de camions de transport normalement du type à bascule arrière de la centrale de malaxage ou du site de malaxage jusqu'à la face amont du barrage ou du remblai. Des rampes de terre suffisamment épaisses pour protéger le sol-ciment déjà en place sont généralement construites à divers intervalles en montant le remblai afin que les camions puissent avoir accès à la couche horizontale en voie d'être placée.

Les ouvrages de grandes dimensions, tels que le barrage Toledo Bend et le réservoir de refroidissement d'eau de la centrale South Texas, ont utilisé des

---

## 4. CONSTRUCTION

---

### GENERAL

The basic construction steps involved in soil-cement slope protection are mixing, transporting, spreading, compaction, bonding, finishing, and curing. Soil-cement is not placed during freezing or cold weather. Most specifications require the air temperature to be at least 7 °C (45 °F) or 4 °C (40 °F) and rising.

Production rates of 75 m<sup>3</sup> (98 yd<sup>3</sup>) to 150 m<sup>3</sup>/h (196 yd<sup>3</sup>/h) are common when the soil-cement is placed in horizontal layers and stair-stepped up the embankment. The largest reported volume of soil-cement placed in a single day was at the South Texas Plant Cooling Water Reservoir where 8 410 m<sup>3</sup> (11 000 yd<sup>3</sup>) were placed using two equipment spreads working two 10-hour shifts or an average of 210 m<sup>3</sup>/h (275 yd<sup>3</sup>/h).

Placement rates for soil-cement placed in one or more layers directly on the slope are usually less than 70 m<sup>3</sup>/h (91 yd<sup>3</sup>/h).

### CONSTRUCTION METHODS

#### Mixing

Central mixing plants with rated capacities of 250 to 1 000 t/h have generally been used for mixing the soil, cement, and water. In-place mixing methods were used on only six projects. In three cases, the mixing was accomplished at the final location of the soil-cement, while a mixing area near the slope to be protected was used on three occasions.

Where central mixing plants were used, a twin shaft pug mill for continuous mixing was invariably used. In only one case was a batch-type central mixing plant used. A diagram of a continuous flow central plant for mixing soil-cement is shown Fig. 10.

#### Transporting

Mixed soil-cement is transported from the central mixing plant or mixing area to the face of the dam or embankment by haul trucks, usually end-dump models. Earth ramps of sufficient thickness to protect previously placed soil-cement are generally constructed at various intervals up the embankment to provide access for trucks to the horizontal layer being placed.

Large volume projects, such as Toledo Bend Dam and the South Texas Plant Cooling Water Reservoir, have utilized specially designed moving conveyor belts for

transporteurs à courroie conçus particulièrement pour transporter le sol-ciment jusqu'au talus. L'emploi de ce type de transporteurs élimine le besoin de rampes en terre pour accéder à la surface du remblai et permet l'épandage et le compactage de couches horizontales de moins de 2,8 m de largeur.

Deux transporteurs à courroies mobiles employés pour transporter le sol-ciment des deux côtés de la digue de circulation de l'aménagement de South Texas sont montrés Fig. 11.

### **Épandage**

En générale, l'épandage se fait au moyen d'une épandeuse du genre de celles employées sur les routes ou encore spéciale, capable d'épandre une bande de 2 à 3 m de largeur, et d'épaisseur uniforme. Dans certains cas, une niveleuse motorisée à lame ou une décapeuse a été employée pour épandre le sol-ciment lâche.

### **Compactage**

Les mélanges de sol-ciment ont traditionnellement été compactés au moyen de rouleaux à pneus de caoutchouc ou d'une combinaison de rouleaux à pieds de mouton, suivis de rouleaux à pneus de caoutchouc. Au cours des dernières années, des rouleaux vibrants en acier en combinaison avec des rouleaux à pneus de caoutchouc, ont été employés souvent pour compacter le sol-ciment à une densité moyenne de 98 % selon la norme Proctor standard (ASTM : D 558) sans aucun essai de densité moindre que 95 %. Une opération type de mise en place du sol-ciment est montrée Fig. 12.

Différents rouleaux ont été tirés du bas vers le haut de la pente pour le compactage du sol-ciment placé directement sur un talus. Au canal d'entrée de l'évacuateur du barrage Palmetto Bend, le compactage à une densité de plus de 95 % a été exécuté entièrement au moyen des chenilles d'un tracteur circulant à la fois vers le haut et vers le bas, sur le talus.

### **Finition et liaison**

La touche finale donnée à la couche se fait habituellement au moyen d'un rouleau à pneus de caoutchouc. Différentes méthodes ont été employées pour former une bordure verticale ou arrondie lorsqu'un traitement spécial de la bordure extérieure est désiré. Certaines des méthodes les mieux réussies pour achever l'effet de marches d'escaliers consistent à couper ou à extraire une bordure avec une lame modifiée ou à former une bordure arrondie au moyen d'une attache recourbée d'un côté d'un rouleau vibrant à cylindre d'acier. Un tel rouleau, employé au réservoir de refroidissement d'eau de la centrale Martin, est montré Fig. 13.

La liaison entre les couches successives de sol-ciment est à conseiller lorsqu'une action mécanique provoquée par de hautes vagues est prévue. Les méthodes jugées les plus satisfaisantes pour améliorer cette liaison sont :

1. Minimiser le temps requis entre la mise en place des couches.
2. Scarifier la couche terminée avec un balai d'acier mû mécaniquement pour strier le sol-ciment. Une attention particulière doit être portée afin d'éviter d'étendre de l'argile ou d'autres matériaux sur la couche, ce qui réduirait la liaison. La couche devrait aussi être conservée humide jusqu'à ce que la levée suivante soit placée.

transporting the soil-cement to the slope. The use of conveyor placement eliminates the need for earth ramps up the face of the embankment and allows for spreading and compacting of horizontal layers less than 2.8 m (8 ft) wide.

Two moving conveyor belts used for transporting soil-cement to both sides of a circulating dike at the South Texas Project are shown Fig. 11.

### **Spreading**

Generally, spreading is carried out by means of dozer-pushed road type or special spreader capable of spreading a 2- to 3-m (6- to 9-ft) wide strip of uniform thickness. In some cases, a motor grader blade or scraper was used to spread the loose soil-cement.

### **Compaction**

Soil-cement mixtures have traditionally been compacted by pneumatic tire rollers or a combination of sheepsfoot rolling, followed by pneumatic tire rolling. In recent years, steel wheel vibratory rollers, together with pneumatic tire rollers, have been used extensively to compact the soil-cement to an average of 98 % of standard Proctor density (ASTM : D 558) with no test below 95 % density. A typical soil-cement placing operation is shown Fig. 12.

For compaction of soil-cement placed directly on a slope, various rollers have been pulled up and down the slope. At the spillway inlet channel for Palmetto Bend Dam, the compaction to more than 95 % density was accomplished entirely by the crawler treads of a dozer working up and down the slope.

### **Finishing and Bonding**

The final finish to the layer is usually provided by a pneumatic tired roller. Where a special treatment of the outside edge is desired, a number of methods have been used to form a vertical or rounded edge. Some of the more successful methods for providing the stair-step effect include cutting or extruding an edge with a modified blade or forming a rounded edge by means of a curved attachment on one side of a steel wheel vibratory roller. Such a roller, working at the Martin Plant Cooling Water Reservoir, is shown Fig. 13.

Bonding successive layers of soil-cement is desirable when high wave action is anticipated. Methods which have proven most satisfactory for improving bond are :

1. Minimize time between placing one layer on top of another.
2. Scarify the completed layer with a power-driven steel broom to provide striations in the soil-cement. Care must be taken to prevent tracking clay or other materials onto the layer which would reduce bond. The layer should also be kept moist until the next lift is placed.

3. Lier les couches ensemble en employant du ciment sec, environ 0,5 kg/m<sup>2</sup>. Un coulis de ciment, placé immédiatement avant l'épandage de la couche suivante, a aussi été essayé, mais les essais de cisaillement, du Bureau, faits directement sur des échantillons en laboratoire, indiquent que le ciment sec a une meilleure performance parce que le rapport eau/ciment est abaissé au lieu d'être augmenté au contact entre les levées.

### **Joint de construction**

Lorsqu'on interrompt la construction, après une journée de mise en place par exemple, un joint de construction doit être formé à l'extrémité exposée de la couche. Le joint peut être obtenu en tranchant dans l'ouvrage terminé pour former une face verticale de la profondeur de la couche et transversale à la mise en place.

### **Cure**

La « cure » de la surface extérieure exposée du sol-ciment peut être réalisée en employant soit de l'eau, de la terre humide, des membranes bitumineuses ou d'autres membranes. L'eau ou un tapis de terre humide ont été utilisés pour la « cure » dans le cas de la plupart des ouvrages. Les surfaces exposées temporairement et qui doivent être recouvertes de couches successives de sol-ciment, doivent être gardées humides continuellement en les vaporisant pendant au moins 7 jours ou jusqu'à ce que la prochaine couche de sol-ciment soit placée. Les matériaux de « cure » qui empêchent la liaison ne doivent pas être employés sur les surfaces à lier. Un rapport français indique que les émulsions cationiques à pH élevé sont préférables à l'eau ou aux « cutback » bitumineux, étant donné que les derniers ont tendance à altérer les propriétés de la surface de la couche traitée. Certaines agences, cependant, s'opposent à une surface bitumineuse noire exposée pour un réservoir d'eau.

Lorsqu'une température atteignant le point de congélation est prévue, le sol-ciment doit être protégé du gel jusqu'à ce qu'il soit durci. Un tapis de terre humide d'une épaisseur minimale de 0,15 m peut être utilisé pour protéger le sol-ciment du gel.

## **MÉTHODES DE CONTRÔLE DURANT LA CONSTRUCTION**

Les méthodes de contrôle durant la construction sont assez bien normalisées si l'on s'assure que le sol à utiliser pour le sol-ciment est semblable à celui sur lequel des essais ont été faits pour déterminer la teneur en ciment adéquate. Ces méthodes comprennent des essais pour déterminer la teneur en ciment, la teneur en eau, l'uniformité du mélange, les exigences de transport et d'épandage, le compactage, et la « cure ».

### **Teneur en ciment**

La première étape à suivre avant de commencer le mélange sol, ciment et eau, lorsque des centrales de malaxage à débit continu sont utilisées, consiste à calibrer la centrale. Ceci est habituellement réalisé en faisant fonctionner le doseur de ciment et ensuite le transporteur à courroie qui transporte le sol pour une courte période

3. Bond the layers together using dry cement, about 0.5 kg/m<sup>2</sup> (1 lb/yd<sup>2</sup>). A cement slurry placed immediately prior to spreading the next layer has also been tried, but Bureau direct shear tests on laboratory specimens indicate that dry cement performs better due to lowering the water/cement ratio, rather than increasing this ratio at the lift line.

### **Construction Joints**

When construction is interrupted, such as at the end of each day's placement, a construction joint should be formed at the exposed end of the layer. The joint should be produced by cutting back into the completed work to form a full depth vertical face transverse to the direction of layer placement.

### **Curing**

Curing of the outer exposed face of the soil-cement may be accomplished by using either water, moist earth, bituminous, or other sealing membranes. Most projects have used water or the moist earth blanket for curing. Temporarily exposed surfaces that are to be covered with succeeding layers of soil-cement should be kept continuously moist by fog spraying for at least 7 days or until the next layer of soil-cement is placed. Any curing material that inhibits bond should not be used on bonding surfaces. The French report high pH cationic emulsions are preferred to water or cutback bituminous cures, as the latter tend to alter the properties of the surface of the layer being cured. Some agencies, however, object to an exposed black bituminous surface for a water reservoir.

When the air temperature is expected to reach the freezing point, the soil-cement should be protected from freezing until it has hardened. A moist earth blanket with a minimum thickness of 0.15 m (6 in) may be used for both curing and protecting the soil-cement from freezing.

## **CONSTRUCTION CONTROL PROCEDURES**

Assuming the soil to be utilized for soil-cement is similar to that tested to determine adequate cement content, construction control procedures are fairly well standardized. They included tests to determine cement content, water content, uniformity of mix, transporting and spreading requirements, compaction, and curing.

### **Cement Content**

When using continuous flow central mixing plants, the initial step prior to start of mixing soil, cement, and water is to calibrate the plant. This is usually accomplished by running the cement feeder and then the conveyor belt carrying the soil for a short period of time. The amount of cement and soil that are discharged during

de temps. Les quantités de ciment et de sol déchargées pendant la période de temps sont pesées séparément et le pourcentage de ciment par rapport au poids sec de sol est calculé. Des ajustements sont faits et le procédé est répété jusqu'à ce que les proportions spécifiées soient obtenues. Des vérifications périodiques sont faites pendant l'exploitation proprement dite de la centrale afin de s'assurer que la quantité appropriée de ciment est employée dans le mélange.

Un essai de dosage (ASTM : D 3901) peut être fait pour déterminer la teneur en ciment d'un mélange récemment exécuté de sol-ciment. L'essai ASTM : D 806 est utilisé pour déterminer la teneur en ciment des mélanges de sol-ciment durci.

### **Teneur en eau**

La quantité d'eau nécessaire pour produire un mélange de sol-ciment d'une teneur en eau optimale ou presque est ajoutée à la centrale de malaxage. Un essai de teneur en eau est fait sur un échantillon, avant le compactage, pour s'assurer que l'humidité contenue dans le mélange satisfait aux normes.

La PCA recommande que la teneur en eau se tienne dans une fourchette de moins 1 % à plus 2 % par rapport à la teneur en eau optimale spécifiée. Les spécifications techniques les plus récentes du Bureau et du Corps of Engineers demandent que cette fourchette soit  $\pm 1\%$  par rapport à l'optimum (ASTM : D 558).

Un mélange homogène de sol, ciment et eau peut être obtenu dans les centrales de malaxage actuelles avec des temps de malaxage de moins de 30 secondes. L'uniformité du mélange est habituellement vérifiée visuellement à l'usine de malaxage. Une couleur uniforme indique un mélange homogène.

### **Transport et épandage du sol-ciment**

L'équipement de transport, habituellement des camions basculant vers l'arrière, doit avoir une capacité suffisante pour satisfaire aux normes de production et être muni de couvertures protectrices en cas de pluie. L'équipement employé pour l'épandage doit être en bon état et capable d'étendre le mélange sol-ciment, à la profondeur et à la largeur appropriées. Une attention particulière doit être portée afin d'éviter que les couches mises en place ne dépassent les limites extérieures choisies pour le parement.

Les normes de temps spécifiées doivent être vérifiées. Le temps de transport ne doit pas excéder 30 mn et le compactage doit commencer aussitôt que possible après l'épandage. Le temps requis entre l'addition de l'eau au mélange et le début du compactage ne doit pas excéder 60 mn. Le temps requis entre l'épandage du mélange de sol-ciment et la fin du compactage est habituellement limité à 2 heures.

### **Compactage**

Les essais de densité en place doivent être pris immédiatement après le roulage final. Les méthodes d'essais de densité les plus communément employées sont :

1. La méthode du cône de sable - ASTM D 1556.
2. La méthode nucléaire - ASTM D 2922 et D 3017.
3. La méthode de la membrane de caoutchouc - ASTM D 2167.

Les résultats des essais de densité en place sont comparés à la densité maximale

the time period is weighed separately and the percentage of cement to dry weight of soil calculated. Adjustments are made and the process repeated until the specified proportions are obtained. Periodic checks are made during the actual operation of the central plant to confirm the proper amount of cement is being used in the mixture.

A titration test (ASTM : D 3901) may be used to determine the cement content of a freshly mixed soil-cement mixture. The test to determine the cement content of hardened soil-cement mixtures is ASTM : D 806.

### **Water Content**

Water in the amount necessary to produce a soil-cement mixture at or near optimum moisture content is added at the central mixing plant. Prior to compaction, a moisture test is made on a representative sample to determine if the moisture in the mixture is within specified limits.

PCA recommends the moisture content not be more than 1 percentage point below the specified optimum moisture nor more than 2 percentage points above the specified optimum moisture. Recent Bureau and Corps of Engineers' specifications require the moisture be between plus or minus 1 percentage point of optimum (ACTM : D 558).

A thorough mixture of soil, cement, and water can be obtained in present day central mixing plants with mixing times of less than 30 seconds. The uniformity of the mix is usually checked visually at the mixing plant. A uniform color indicates thorough mixing.

### **Transporting and Spreading Soil-Cement**

The transporting equipment, usually rear dump trucks, should have sufficient capacity to meet production requirements and be provided with protective covers for use in case of rain. The spreading equipment should be in good operating condition and capable of spreading the mixed soil-cement to the proper loose depth and width. Care must be taken to avoid overbuilding of layers beyond the neat lines of the designed facing.

Specified time requirements need to be checked. Haul time should not exceed 30 mn and compaction should start as soon as possible after spreading. The time from the addition of water to the mixture until start of compaction should not exceed 60 mn. The time between soil-cement mixture and completion of compaction is usually limited to 2 hours.

### **Compaction**

In-place density tests should be taken immediately after final rolling. The most common density test methods used are :

1. Sand-cone method - ASTM : D 1556.
2. Nuclear method - ASTM : D 2922 and D 3017.
3. Rubber balloon method - ASTM : D 2167.

Results of the in-place density tests are compared with the maximum density

---



atteinte lors de l'essai teneur en eau-densité (ASTM : D 558) afin de s'assurer que les normes de compactage spécifiées sont satisfaites.

### **Cure**

Lorsque la « cure » par l'eau est utilisée, l'équipement doit être capable de vaporiser en gouttelettes plutôt que sous pression, cette deuxième façon pouvant laver le ciment de la surface. Les normes de temps pour la « cure », habituellement de 7 jours ou jusqu'à ce que la couche suivante soit étendue, doivent être respectées.

Lorsque des produits de cure sont utilisés, ils doivent lorsqu'employés sur la surface extérieure, être continus et d'épaisseur suffisante pour retenir l'humidité nécessaire au durcissement du sol-ciment.

achieved in the moisture-density test (ASTM : D 558) to determine if the specified compaction requirements have been satisfied.

**Curing**

If water curing is used, the equipment must be capable of applying a fog spray rather than a pressure spray that can wash the cement from the surface. Curing time requirements, usually 7 days or until the next layer is spread, must be satisfied.

Membrane cures, if used on the exterior surface, must be continuous and of sufficient thickness to adequately hold in the moisture necessary for hardening the soil-cement.

---

## 5. ÉVALUATION DU COMPORTEMENT

---

### COMMENTAIRES GÉNÉRAUX

Le comportement de la protection des talus en sol-ciment en service a généralement été très bon. La PCA a un programme en cours pour l'inspection et l'évaluation des ouvrages, spécialement ceux de plus de 10 ans, pour déterminer la pérennité à long terme du sol-ciment.

Leur système d'évaluation s'échelonne de 5 (excellent) à 1 (pauvre), 2 (passable) étant le plus bas comportement acceptable. En 1980, 35 ouvrages avaient 10 ans d'exploitation ou plus, et 27 avaient été inspectés et évalués par la PCA. Tous les ouvrages ont été évalués à 3 (bon) ou plus, et 19 des 27 ont été évalués à 4 (très bon) ou mieux.

De tous ces anciens ouvrages, seulement un, le barrage Cheney au Kansas, a exigé un contrat d'entretien, tandis que certaines faiblesses, telles que notées dans la colonne « Remarques » des « Caractéristiques des ouvrages », ont été rapportées sur divers autres ouvrages.

Le comportement du barrage Cheney est décrit par Holtz et Hansen dans leur article « The Use of Compacted Soil-Cement in Water Control Structures », 12<sup>e</sup> Congrès, Commission Internationale des Grands Barrages, Mexico, 1976, Vol. 1, pages 251-278, ainsi que par Davis, Gray, et Jones dans « The Use of Soil-Cement for Slope Protection », 11<sup>e</sup> Congrès, Commission Internationale des Grands Barrages, Madrid, 1973, Vol. III, pages 237-255. En 1971, 840 m<sup>3</sup> de béton ont été utilisés pour réparer les couches de sol-ciment qui avaient été endommagées lors de violentes tempêtes. De 610 à 690 m<sup>3</sup> de béton supplémentaire ont été utilisés pour réparer le parement en sol-ciment du barrage Cheney 10 ans plus tard.

Moins de 100 000 \$ ont été dépensés pour l'entretien des 13 620 m<sup>3</sup> de protection des talus en sol-ciment de ce barrage vieux de 17 ans. Cela se compare avec l'économie initiale de 700 000 \$ lors des appels d'offres comprenant une protection de sol-ciment à la place d'une protection en perré d'enrochement.

### CARACTÉRISTIQUES DES OUVRAGES

Les ouvrages mentionnés dans le tableau des « Caractéristiques des ouvrages » ont été construits au moyen de la méthode en marches d'escaliers horizontales utilisant la centrale de malaxage, à moins d'indication contraire dans la colonne « Remarques ». Le malaxage sur place est exécuté sur un site adjacent à l'ouvrage, le sol-ciment étant ensuite transporté au remblai pour le compactage final. Des aspects de conception ou de construction inhabituels, ainsi que le nom originel de certains ouvrages, ont été notés sous la rubrique « Remarques ».

---

## 5. PERFORMANCE EVALUATION

---

### GENERAL

The performance of soil-cement slope protection in service has generally been very good. The PCA has an ongoing program of inspecting and rating projects, especially those more than 10 years old, to determine the long-term durability of soil-cement.

Their rating system goes from 5 (Excellent) to 1 (Poor) with 2 (Fair) being the lowest of acceptable performance. By 1980, 35 projects had been in service 10 years or more and 27 had been inspected and rated by PCA. All the projects were rated 3 (Good) or better, with 19 of the 27 being rated as 4 (Very Good) or better.

Of these older projects, only one project, Cheney Dam in Kansas, has required any contract maintenance, while some deficiencies as noted in the remarks column of the Summary of Projects, have been reported on several other projects.

The performance of Cheney Dam is described by Holtz and Hansen in their paper, « The Use of Compacted Soil-Cement in Water Control Structures », Twelfth Congress on Large Dams, Mexico City, 1976, vol. 1, pp. 251-278, and also by Davis, Gray, and Jones in « The Use of Soil-Cement for Slope Protection », Eleventh Congress on Large Dams, Madrid, 1973, Vol. III, pp. 237-255. In 1971, 840 m<sup>3</sup> (1 100 yd<sup>3</sup>) of concrete was used to repair soil-cement layers that had been broken during a severe storm. Another 610 to 690 m<sup>3</sup> (800 to 900 yd<sup>3</sup>) of concrete were used for repairs on the soil-cement face of Cheney Dam 10 years later.

Less than \$ 100 000 has been spent on maintenance of the 13 620 m<sup>3</sup> (180 000 yd<sup>3</sup>) of soil-cement slope protection on this 17-year-old dam. This compares with an initial savings of \$ 700 000 in the original alternate bids versus rock riprap slope protection.

### SUMMARY OF PROJECTS

In the Summary, the projects were constructed with the horizontal stair-stepped method using a central mixing plant unless otherwise noted in the Remarks column. Table mixed is considered as in-place mixing on an « area » adjacent to project, then transporting the mixed soil-cement to the embankment for final compaction. Unusual items of design or construction, as well as the original name of some projects, are also noted under Remarks.

---

## 6. RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT

---

### COMMENTAIRES GÉNÉRAUX

Une recherche a été faite aux États-Unis (en laboratoire et sur place) principalement par le Bureau, le Corps of Engineers et la PCA sur la protection des talus en sol-ciment. Des études ont porté sur plusieurs aspects particuliers mais tout spécialement sur la pérennité, la liaison entre les couches successives et l'infiltration à travers les parements en sol-ciment. Un résumé des résultats de cette recherche suit.

### RECHERCHE EFFECTUÉE

#### Pérennité

La digue d'essai du Bureau au réservoir Bonny dans l'est du Colorado a maintenant été soumise pendant 33 ans à des cycles de gel-dégel et de mouillage-séchage. Son comportement a été très remarquable si l'on considère que des méthodes de mélange sur place ont été utilisées. Le sol-ciment est toujours dur et durable. La liaison entre les couches est bonne, à l'exception de trois couches où le matériel de construction a été déficient. Des cavités dues à l'érosion sont observées au bas des couches; celles-ci sont causées par une teneur en ciment plus basse ainsi que par un compactage moindre à ces endroits. Quelques cassures sont visibles à l'intersection de la surface horizontale des levées avec les fissures de retrait transversales.

La digue d'essai a confirmé la méthode de base pour déterminer la teneur en ciment ainsi que la méthode de construction employée consistant à mettre en place des couches horizontales, les unes au-dessus des autres, pour donner au remblai un parement en marches d'escaliers.

Le programme de la PCA, toujours en vigueur, pour l'inspection et l'évaluation des ouvrages de protection des talus en sol-ciment réalisés et en service depuis 10 ans ou plus, est décrit au chapitre « Évaluation du comportement » de ce rapport.

#### Facteurs rattachés au déferlement de la vague

La PCA a utilisé un bassin à vagues pour déterminer les facteurs de déferlement de la vague sur les bordures arrondies et aiguës des couches en sol-ciment placées horizontalement avec des pentes de remblai de 1 V : 2 H et 1 V : 3 H. Même si le facteur de déferlement R/H (déferlement de la vague/hauteur de la vague) a varié avec le facteur de raideur de la vague (hauteur de la vague/période de la vague à la puissance 3), on a déterminé que :

1. Des bordures aiguës empêchaient (plus que les bordures arrondies) le déferlement de la vague.

---

## 6. RESEARCH AND DEVELOPMENT

---

### GENERAL

Research on soil-cement slope protection has been carried out in the United States, both in the laboratory and the field, primarily by the Bureau, Corps of Engineers, and PCA. Many separate items have been researched with long-term durability, bonding successive layers, and seepage through soil-cement facings receiving the greatest attention. A summary of the results of this research follows.

### COMPLETED RESEARCH

#### Long-Term Durability

The Bureau's test section at Bonny Reservoir in eastern Colorado, has now been subjected to 33 years of freeze-thaw and wet-dry cycles. Its performance has been quite remarkable considering that in-place mixing methods were used. The soil-cement continues to be hard and durable. It is well bonded together with the exception of three layers where the construction equipment turned. There are erosion cavities at the bottom of the layers caused by lower cement content together with less compaction at these locations. Some breakage is evident at the intersection of a horizontal lift line with a transverse shrinkage crack.

The test section verified the basic method for determining cement content and the construction method of placing horizontal layers, one atop another, to form a stair-stepped facing for the embankment.

PCA's continuing program of inspecting and rating completed soil-cement slope protection projects which have been in service for 10 years or more is described in the Performance Section of this report.

#### Wave Runup Factors

PCA utilized a wave tank to determine wave runup factors on both rounded and sharp edges of horizontally placed soil-cement layers with both 1 V : 2 H and 1 V : 3 H embankment slope. Although the runup factor  $R/H$  (wave runup/wave height) varied with a wave steepness factor  $H/T^3$  (wave height/wave period<sup>3</sup>), it was determined that :

1. Sharp edges inhibited wave runup more than rounded edges.

2. Les facteurs de déferlement pour des pentes plus douces étaient moindres que pour des pentes plus abruptes.
3. Les facteurs de déferlement pour une surface de sol-ciment en marches et à bordures aiguës étaient d'environ les deux-tiers de ceux d'une surface en béton lisse.

### **Infiltration à travers les parements de sol-ciment**

La perméabilité de base des mélanges comprenant du ciment a été étudiée en laboratoire par la PCA. Le Bureau a également étudié l'infiltration et construit une digue d'essai d'infiltration en sol-ciment à son réservoir régulateur Lubbock au Texas en 1966.

L'essai en laboratoire de la PCA indique qu'avec les sols et les teneurs en ciment habituellement adoptés pour la protection des talus en sol-ciment, la perméabilité originelle des mélanges a été réduite dans la plupart des cas à moins de  $1 \times 10^{-6}$  cm/s.

Un essai en laboratoire exécuté récemment par la PCA, pour lequel 2 % de chaux et différents pourcentages de cendres volantes avaient été ajoutés aux mélanges de sol-ciment ayant 4 % de ciment, a indiqué une baisse supplémentaire de la perméabilité. Dans un certain nombre d'essais, aucun débit n'a pu être mesuré à travers les échantillons.

A la digue d'essai de Lubbock, un sable perméable et une membrane de caoutchouc butyl furent placés derrière le parement sol-ciment en forme de marches d'escaliers et un tuyau de drainage installé pour recueillir l'infiltration. Après certaines mesures initiales élevées, en mai 1967, la perméabilité pour le restant de l'année variait entre  $0,7$  et  $2,1 \times 10^{-5}$  cm/s. De 1968 à 1970, la perméabilité mesurée était en moyenne de  $1,7 \times 10^{-6}$  cm/s.

Par conséquent, la perméabilité a diminué avec le temps d'un facteur d'environ 8, lequel peut être attribué au colmatage des fissures et des joints, à la croissance des algues et à la tendance des fissures à se refermer en présence d'eau. Le taux d'infiltration pendant les mois d'été a été moins élevé que pendant les mois d'hiver et ce, de façon significative, à cause principalement de la contraction du sol-ciment amenant des fissures plus larges lors de températures plus froides.

L'analyse du Bureau indique qu'une faible partie de l'infiltration se faisait à travers le sol-ciment lui-même, le reste provenant des fissures de retrait perpendiculaires et des joints entre les couches horizontales successives de sol-ciment.

La basse perméabilité du parement de sol-ciment a également été démontrée à la digue d'essai du réservoir Bonny. Le remblai en terre derrière a été enlevé après que le Bureau eut arrêté l'entretien de la digue au bout de 10 ans. Aucune infiltration d'eau n'était visible sur le dessous du parement maintenant exposé, avec l'eau dans le réservoir.

### **Liaison entre les couches de sol-ciment**

La liaison entre les couches successives de sol-ciment a été étudiée par le Bureau, aussi bien en laboratoire qu'au site. Lors des essais en laboratoire, le Bureau

2. Runup factors for flatter slopes were less than those for steeper slopes.
3. Runup factors for a sharp-edged stepped soil-cement surface were about two-thirds that of a smooth concrete surface.

### **Seepage Through Soil-Cement Facings**

The basic permeability of cement-treated mixtures has been researched in the laboratory by PCA. The Bureau has also studied seepage and constructed a soil-cement seepage test section at its Lubbock Regulating Reservoir in Texas in 1966.

PCA's lab testing indicates that with the soils and cement contents usually associated with soil-cement slope protection, primary permeability of the mixtures has been reduced in most cases to less than  $1 \times 10^{-6}$  cm/s (1 ft/yr).

A recent laboratory test by PCA, in which 2 % lime and varying percentages of fly ash were added to soil-cement mixtures with 4 % cement, indicated a further reduction in permeability. In a number of the tests, no flow through the specimens could be measured.

At the Lubbock test section, a pervious sand and butyl rubber sheet were placed behind the stair-stepped soil-cement face and a perforated drainpipe collected the seepage. After some initial high measurements in May 1967, the seepage for the rest of the year varied from  $0.7$  to  $2.1 \times 10^{-5}$  cm/s. From 1968 to 1970, the measured seepage averaged  $1.7 \times 10^{-6}$  cm/s.

Therefore, the seepage decreased with time by a factor of about 8 which can be attributed to siltation of cracks and joints, algae growth, and a tendency for the cracks to heal in the presence of water. The seepage rate was significantly less in the summer months than in the winter months due primarily to contraction of the soil-cement resulting in larger crack widths during the colder weather.

The Bureau's analysis indicates only a small amount of the seepage was through the soil-cement itself, with transverse shrinkage cracks and joints at the horizontal lift lines between successive soil-cement layers accounting for the rest.

The low permeability of a soil-cement face was also demonstrated at the Bonny Reservoir test section. The earth material behind the section washed out after the Bureau stopped maintaining the section after 10 years. No seepage was visible on the now exposed underside of the facing with water on the reservoir side.

### **Bonding Soil-Cement Layers**

Bonding of successive soil-cement layers has been researched by the Bureau, both in the laboratory and the field. In their laboratory tests, the Bureau determined



a constaté que le temps était la variable la plus significative. La résistance de la liaison diminuait à mesure que le délai entre la mise en place des couches successives augmentait à cause du durcissement de la première couche. Des conditions humides de « cure » augmentaient la liaison entre les couches, tandis qu'un arrosage excessif de la surface diminuait la résistance de la liaison. L'atténuation de l'uniformité de la surface de la couche placée antérieurement, par brossage et striage de la surface, renforçait la liaison dans la plupart des cas.

Des essais sur place ont été menés par le Bureau sur une partie des barrages Cutter à New Mexico en 1972 et Palmetto au Texas en 1980. Au barrage Cutter, une petite quantité de ciment sec, 1 kg/5,5 m<sup>2</sup>, a été employée, tandis qu'au barrage Palmetto Bend, un mortier de ciment a été appliqué entre les couches. On a rapporté que les deux méthodes ont amélioré le lien mais n'ont pas tout à fait réussi à lier toutes les couches ensemble.

Au barrage Optima dans l'Oklahoma, le Corps of Engineers, sur la base d'échantillons tirés du parement de sol-ciment après un an de service, a rapporté avoir obtenu une bonne liaison entre les couches alors qu'un balayage seulement avait été fait pour améliorer cette liaison. Brown et Root ont rapporté qu'une bonne liaison avait été obtenue entre les couches du bassin de refroidissement essentiel de la Centrale nucléaire South Texas, où la technique de liaison avec du ciment sec a été utilisée. Aucun résultat n'a encore été publié sur ces essais pratiques pour améliorer ou déterminer l'étendue de la liaison entre les couches de sol-ciment.

#### **Résistance du sol-ciment à l'eau de mer et aux eaux saumâtres**

Avant que les digues conçues entièrement en sol-ciment ne soient construites pour entourer le réservoir d'eau de refroidissement de 445 ha (1 099 acres) à sa centrale Barney M. Davis au Texas, la Central Power and Light Co. construisit, en 1971, une pyramide d'essai en sol-ciment dans un bras d'eau de mer du Golfe du Mexique. Aucune détérioration du sol-ciment due à l'eau de mer n'a été observée sur la pyramide d'essai ou sur les 268 360 m<sup>3</sup> de sol-ciment employés pour construire l'ouvrage achevé en 1973.

L'eau de mer a également été employée comme eau de mélange pour le sol-ciment sur cet ouvrage. Des essais de laboratoire ont indiqué que le sol-ciment utilisant l'eau de mer donnait des résistances à la compression légèrement plus élevées que celui utilisant de l'eau douce, aux essais à 7, 14 et 28 jours. Cet accroissement de la résistance peut probablement être attribué à l'accélération du durcissement due à la présence de l'ion chlorure dans l'eau de mer.

Lors de l'étude du barrage Truscott Brine au Texas, le Corps of Engineers a réalisé des essais de durabilité pour déterminer la résistance du sol-ciment à des concentrations élevées de chlorures (55 000 p/m) et de sulfates (7 000 p/m). Les résultats des essais ont indiqué que le sol-ciment ayant 12 % de ciment en poids pourrait supporter la solution d'eau saumâtre. L'essai a de plus déterminé que les échantillons fabriqués avec le ciment de Type II étaient plus durables que ceux fabriqués avec le Type V. Les essais ont également démontré que les échantillons faits avec du ciment seulement étaient plus durables que ceux faits avec du ciment et un remplacement de 20 % de ce ciment par la pouzzolane (classe F).

time delay was the most significant of the variables tested. Bond strength decreased with increasing delay between placing successive layers caused by the set of the first layer. Moist curing conditions increased the bond between layers, but excessive watering of the surface decreased the bond strength. The removal of the smooth bonding plane of the previously placed layer by brushing and striating the surface strengthened the joint in most cases.

Field tests were conducted by the Bureau on a portion of both Cutter Dam in New Mexico in 1972 and Palmetto Dam in Texas in 1980. At Cutter Dam, a small amount of dry cement, 1 kg/5.5 m<sup>2</sup> (1 lb/3 yd<sup>2</sup>), was used, while at Palmetto Bend Dam, a cement grout was applied between layers. It was reported that both methods improved bond but were not completely successful in bonding all layers together.

At Optima Dam in Oklahoma, the Corps of Engineers cored the in-place soil-cement facing after 1 year and reported obtaining good bond between the layers in which brooming was the only operation used to improve bond. Brown and Root reported good bond between layers at the Essential Cooling Pond for the South Texas Nuclear Plant, where the dry cement bonding technique was used. There has been no publication as yet of results of any of these field tests to improve or determine the extent of bond between layers of soil-cement.

#### **Resistance of Soil-Cement to Seawater and Brines**

Prior to construction of solid soil-cement dikes to completely enclose the 445-hectare (1 099-acre) cooling water reservoir at its Barney M. Davis Power Station in Texas, Central Power and Light constructed a soil-cement test pyramid in a seawater arm of the Gulf of Mexico in 1971. No deterioration of the soil-cement due to the seawater has been evidenced for the test pyramid or the 268 360 m<sup>3</sup> (351 000 yd<sup>3</sup>) of soil-cement used to construct the project which was completed in 1973.

Seawater was also used as the mixing water for the soil-cement at this project. Laboratory tests indicated that soil-cement made with seawater produced slightly higher compressive strengths than that made with freshwater at the 7-, 14-, and 28-day test periods. This increased strength can probably be attributed to the acceleration of set caused by the chloride ion in the seawater.

In preparation for the design of Truscott Brine Dam in Texas, the Corps of Engineers conducted durability tests to determine the resistance of soil-cement to high concentrations of chlorides (55 000 p/m) and sulfates (7 000 p/m). The results of the testing indicated that the soil-cement with 12 % cement by weight could withstand the brine solution. The testing further determined that specimens made with Type II cement were more durable than those made with Type V. Furthermore, the tests showed that specimens made with cement only, were more durable than ones made with cement and 20 % pozzolan (Class F) replacement.

---

## REFERENCES

---

- [1] FELT, E. J., « Factors Influencing Physical Properties of Soil-Cement Mixtures », *Highway Research Board*, Bulletin 108, pp. 138-162, 1955.
- [2] CATTON, M. D., « Early Soil-Cement Research and Development », *Journal of the Highways Division*, Proceedings American Society of Civil Engineers, vol. 85, pp. 1-16, 1959.
- [3] COFFEY, C. T., and JONES, C. W., *10-Year Test of Soil-Cement Slope Protection for Embankments*, Bureau of Reclamation Report No. EM-630, November 1961.
- [4] HOLTZ, W. G., and WALKER, F. C., « Soil-Cement as Slope Protection for Earth Dams », *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, American Society of Civil Engineers, vol. 88, No. SM 6, Proceeding Paper 3361, pp. 107-134, December 1962.
- [5] LONG, N. S., « New Mexico Project Featured First Use of Soil-Cement as Slope Protection on a Major Dam », *Western Construction News*, pp. 46-48, February 1964.
- [6] HOLTZ, W. G., and WALKER, F. C., « Discussion of Soil-Cement as Slope Protection for Earth Dams », *American Society of Civil Engineers Proceedings*, vol. 90, SM 2, pp. 159, March 1964.
- [7] *Soil-Cement Slope Protection at Merritt Dam - A Photographic Construction Report*, Portland Cement Association, 1964.
- [8] *Soil-Cement Slope Protection at Toledo Bend Dam - A Photographic Construction Report*, Portland Cement Association, 1967.
- [9] GORDON, B., and WULFF, J. G., *The Effects of Changes in the State-of-the-Art on Heights of Earth and Rock Dams - Oroville and Castaic Dams*, Water and Power Symposium, 1968.
- [10] GRAY, E. W., « At Glen Elder Dam Improved Soil-Cement Placement Procedure Used », *Civil Engineering*, pp. 36-39, May 1969.
- [11] « Soil-Cement for Cahilla Reservoir », *Western Construction*, pp. 52-54, November 1969.
- [12] RAPHAEL, J. M., *The Optimum Gravity Dam*, Engineering Foundation Research Conference on Rapid Construction Concrete Dams, Asilomar, March 1970.
- [13] KOLLER, E. R., and NUSSBAUM, P. J., *Developing Technology in Soil-Cement for Dams*, Tenth International Congress on Large Dams, Montreal, June 1970.
- [14] DE GROOT, G., *Soil-Cement Seepage Test Section Lubbock Regulating Reservoir, Canadian River Project, Texas*, Bureau of Reclamation Report No. REC-ERC-71-13, February 1971.
- [15] *Soil-Cement Slope Protection on Bureau of Reclamation Features*, Bureau of Reclamation Report No. REC-ERC-71-20, May 1971.
- [16] CATANACH, R. B., and MCDANIEL, T. N., « Cement Stabilized Fill for Conduit Support (Cochiti Dam) », *Journal of the Soil Mechanics and Foundations*

- Division, Proceedings, American Society of Civil Engineers, vol. 97, No. SM 6, pp. 959-963, June 1971.*
- [17] NUSSBAUM, P. J., and COLLEY, B. E., *Dam Construction and Facing with Soil-Cement*, Portland Cement Association, Publication RDO 10 W, 1971.
  - [18] DE GROOT, G., *Seepage Through Soil-Cement Facings - American Society of Civil Engineers, Conference on Performance of Earth and Earth-Supported Structures*, Purdue University, June 1972.
  - [19] DAVIS, F. J., GRAY, E. W., and JONES, C. W., *The Use of Soil-Cement for Slope Protection*, Eleventh Congress on Large Dams, Madrid, pp. 237-255, 1973.
  - [20] TAYLOR, K. V., *Slope Protection on Earth and Rockfill Dams*, Eleventh Congress on Large Dams, Madrid, pp. 255-256, 1973.
  - [21] WILDER, C. R., *Soil-Cement for Water Control Structures*, International Water Resources Association, First World Congress on Water Resources, vol. 1, Chicago, September 1973.
  - [22] « Resort Lake Poses Few Problems », *ACI Journal*, p. 114, December 1973.
  - [23] Anonymous, « Sand Dike System Armoured With Soil-Cement », *Roads and Streets*, April 1974.
  - [24] FROLOV, B. K., *Soil-Cement Slope Protection for Earth Dams*, Hydrotech Construction, New York, 1974.
  - [25] *Soil-Cement Protection for Embankment : Construction*, Portland Cement Association publication IS 167 W, 1975.
  - [26] *Soil-Cement Slope Protection for Embankments : Planning and Design*, Portland Cement Association publication IS 173 W, 1975.
  - [27] HOLTZ, W. G., and HANSEN, K. D., *The Use of Compacted Soil-Cement in Water Control Structures*, Twelfth Congress on Large Dams, Mexico City, pp. 251-278, 1976.
  - [28] DE GROOT, G., *Bonding Study on Layered Soil-Cement*, Bureau of Reclamation Report No. REC-ERC-76-16, September 1976.
  - [29] *Suggested Specifications for Soil-Cement Slope Protection for Embankments*, Portland Cement Association publication ISO 52 W, 1976.
  - [30] *Soil-Cement for Water Control : Laboratory Tests*, Portland Cement Association publication IS 166 W, 1976.
  - [31] *Soil-Cement Slope Protection for Embankments : Field Inspection and Control*, Portland Cement Association publication IS 168 W, 1976.
  - [32] TODA, G., and MIURI, S., « Characteristics of Soil-Cement Mixtures for Earthfill Dam Embankment », *Journal Society of Water Science, Japan*, vol.26, p. 291, December 1977.
  - [33] HANSEN, K. D., and AVERA, J. K., Jr., *Dams That Never End*, International Water Power and Dam Construction, March 1978.
  - [34] « Largest Soil-Cement Job Coats Reservoir Embankment », *Engineering News-Record*, pp. 22-23, June 8, 1978.
  - [35] *Soil-Cement in Energy & Water Resources*, Portland Cement Association publication SR 238 W, 1981.

---

# ANNEXES

---

## TABLEAUX

- A. Barrages et digues - Protection du talus amont.
- B. Réservoirs - Protection des rives.
- C. Remblais de grande route et de chemin de fer - Protection des talus.
- D. Remblais divers - Protection des talus.
- E. Remblais composés de sol-ciment.
- F. Barrages - Applications aux fondations.
- G. Barrages - Applications aux évacuateurs de crue.
- H. Barrages - Applications à la maîtrise des infiltrations.

---

## APPENDICES

---

### TABLES

- A. Dams and dikes - Upstream slope protection.
- B. Reservoirs - Slope protection.
- C. Highway and railroad embankments - Slope protection.
- D. Miscellaneous embankments - Slope protection.
- E. Solid soil-cement embankments.
- F. Dams - Foundation applications.
- G. Dams - Spillway applications.
- H. Dams - Seepage control applications.

**A. BARRAGES ET DIGUES - PROTECTION DU TALUS AMONT**

n°	Année d'achèvement	Nom	Département ou État	Propriétaire Bureau d'études	Hauteur maximale m (pied)	Volume s/c m <sup>3</sup> (yard <sup>3</sup> )	Teneur en ciment	Remarques & Comportement
1	1963	Barrage Ute	USA N. Mex.	État du N. Mexique Bechtel Corp.	37 (121)	21.100 (27.600)	7 % poids	
2	1963	Barrage Merritt	USA Nebr.	BuRec BuRec	37 (120)	38.990 (51.000)	14 % poids	Résistance à la compression moyenne de 25,9 MPa (3754 psi) après 17 ans, mais importantes fissures dans les couches de sol-ciment
3	1964	Digue du réservoir Millwood (Levée Okay)	USA Ark.	CofE CofE-Tulsa		67.280 (88.000)	15,7 % vol.	
4	1964	Barrage Cheney	USA Kansas	BuRec BuRec	26 (86)	137.620 (180.000)	12 % poids	Endommagé suite à une violente tempête - Réparations nécessaires en 1971 et 1981
5	1965	Barrage Lake Claiborne	USA La.	L.A.D. of Pub. Wks L.A.D. of Pub. Wks		14.190 (18.560)	10 % vol.	
6	1965	Barrage du réservoir Cotila	USA La.	Rapides Parish SCS - Louisiana		19.600 (25.630)	10,5 % vol.	
7	1965	Barrage San Antonio	USA Calif.	Monterey Co. Flood Control Dist. Bechtel Corp.	67 (220)	32.800 (43.000)	9,9 % vol.	Tuyaux de vidange en acier incorporés dans le projet pour réduire les sous-pressions lors d'une vidange rapide
8	1966	Barrage Eagle Creek	USA Ind.	Cité d'Indianapolis Dodson, Kinney & Lindblom	23 (75)	20.090 (26.280)	8,5 % vol.	
9	1967	Digue Downs	USA Kansas	BuRec BuRec	27 (90)	48.170 (63.000)	12 % poids	

A. Dams and Dikes - Upstream Slope Protection

No.	Year completed	Name	Country State	Owner/Engineer	Maximum height m (ft)	Soil-Cement Volume MS (yd <sup>3</sup> )	Cement content (\$) wt vol	Remarks
1	1963	Ute Dam	USA NM	State of New Mexico Bechtel Corp.	37 (121)	21,000 (27,600)	7	
2	1963	Merritt Dam	USA NE	USBR USBR	37 (120)	38,990 (51,000)	14	Compressive strength average 25.9 MPa (3,754 lb/in <sup>2</sup> ) after 17 yr, but considerable breakage of s/c layers
3	1964	Millwood Reservoir Dike (Okay Levee)	USA AR	Corps of Engineers Corps of Engineers - Tulsa	-	57,280 (88,000)	15.7	
4	1964	Cheney Dam	USA KS	USBR USBR	26 (86)	137,620 (180,000)	12	Damaged by severe storm; required repairs, 1971 and 1981
5	1965	Lake Calhoun Dam	USA LA	LA Dept. of Pub. Works LA Dept. of Pub. Works	-	14,190 (18,560)	10	
6	1965	Coffle Reservoir Dam	USA LA	Rapides Parish SCS - LA	-	19,600 (25,630)	10.5	
7	1965	San Antonio Dam	USA CA	Monterey Co. Flood Control District Bechtel Corp.	67 (220)	32,800 (43,000)	9.9	Steel pipe drains incorporated in design to relieve pressure from rapid drawdown condition
8	1966	Eagle Creek Dam	USA IN	City of Indianapolis Dodson, Kinney & Lindblom	23 (75)	20,090 (26,280)	8.5	
9	1967	Downs Dike	USA KS	USBR USBR	27 (90)	48,170 (63,000)	12	



**A. BARRAGES ET DIGUES - PROTECTION DU TALUS AMONT (SUITE)**

n°	Année d'achèvement	Nom	Département ou État	Propriétaire Bureau d'études	Hauteur maximale m (pied)	Volume s/c m <sup>3</sup> (yard <sup>3</sup> )	Teneur en ciment	Remarques & Comportement
10	1967	Barrage Toledo Bend	USA Texas- La.	Sabine River Auth. of La. and Texas URS/Forrest & Cotton	34 (112)	95.570 (125.000)	11,1 % vol.	
11	1968	Barrage Glen Elder	USA Kansas	BuRec BuRec	35 (115)	105.510 (138.000)	12 % poids	
12	1968	Barrage Indian Creek	USA La.	La.D. of Pub. Wks La.D. of Pub. Wks	17,970 (23.500)		9 % poids	
13	1968	Digue Cawker City	USA Kansas	BuRec BuRec	15 (48)	65,750 (48.000)	12 % poids	
14	1968	Pente de plage (beaching) du barrage Merritt	USA Nebr.	BuRec BuRec	37 (120)	10,250 (13.400)	15,4 % vol.	Cambrure des couches ou éclatement au voisinage de certains joints de contraction
15	1968	Barrage Lewis Creek	USA Texas	Gulf States Util. Corp. Brown & Root Inc.	16 (54)	30,580 (40.000)	12 % vol.	
16	1969	Barrage Starvation	USA Utah	BuRec BuRec	61 (200)	55,050 (72.000)	12 % poids	
17	1969	Barrage Fairfield	USA Texas	Dallas Pow. & Lt. et al URS/Forrest & Cotton	23 (77)	16,060 (21.000)	12 % vol.	Nom d'origine : Barrage Big Brown
18	1969	Réservoir Boise Cascade (4 barrages)	USA La.	Boise Cascade Co. Brown & Root Inc.		26,760 (35.000)	10,5 % vol.	
19	1970	Barrage Castaic	USA Calif.	Calif. D. of Water Res. Calif. D. of Water Res.	102 (335)	191,140 (250.000)	8 % poids	
20	1970	Barrage de retenue de la centrale de Mojave	USA Calif.	So. Calif. Edison Co. Bechtel Corp.		15,290 (20.000)	10-14 % vol.	Épaisseur du revêtement de 0,15 m (6 ")

A. Dams and Dikes - Upstream Slope Protection - Continued

No.	Year completed	Name	Country State	Owner/Engineer	Maximum height m (ft)	Soil - Cement Volume M <sup>3</sup> (yd <sup>3</sup> )	Cement content wt (%)	Remarks
10	1967	Toledo Bend Dam	USA TX-LA	Sabine River Auth. of TX and LA URS/Forrest & Cotton	34 (112)	95,570 (125,000)	11.1	
11	1968	Glen Elder Dam	USA KS	USBR USBR	35 (115)	105,510 (138,000)	12	
12	1968	Indian Creek Dam	USA LA	LA Dept. of Pub. Works LA Dept. of Pub. Works		17,970 (23,500)	9	
13	1968	Cawker City Dike	USA KS	USBR USBR	15 (48)	65,750 (48,000)	12	
14	1968	Merritt Dam Beaching Slope	USA NE	USBR USBR	37 (120)	10,250 (13,400)	15.4	Transverse buckling or "blow-ups" at some contraction joints
15	1968	Lewis Creek Dam	USA TX	Gulf States Util. Corp. Brown & Root, Inc.	16 (54)	30,580 (40,000)	12	
16	1969	Starvation Dam	USA UT	USBR USBR	61 (200)	55,090 (72,000)	12	
17	1969	Fairfield Dam	USA TX	Dallas Pow. & Lt., et al. URS/Forrest & Cotton	23 (77)	16,060 (21,000)	12	Original name: Big Brown Dam
18	1969	Boise Cascade Reservoir (4 dams)	USA LA	Boise Cascade Co. Brown & Root, Inc.		26,760 (35,000)	10.5	
19	1970	Castaic Dam	USA CA	Calif. Dept. of Water Res. Calif. Dept. of Water Res.	102 (335)	191,140 (250,000)	8	
20	1970	Mojava Generating Station Retention Dam	USA CA	So. Calif. Edison Co. Bechtel Corp.		15,290 (20,000)	10-14	.15 m (6 in) thick plating

A. BARRAGE ET DIGUES - PROTECTION DU TALUS AMONT (SUITE)

n°	Année d'achèvement	Nom	Département ou État	Propriétaire Bureau d'études	Hauteur maximale m (pied)	Volume s/c m <sup>3</sup> (yard <sup>3</sup> )	Teneur en ciment	Remarques & Comportement
21	1970	Barrage du réservoir Kincaid	USA La.	Rapides Parish SCS - Louisiana	27 (90)	29.500 (38.590)	10,5 % vol.	
22	1972	Barrage Cutter	USA N. Mex.	BuRec BuRec	27 (90)	11.320 (14.800)	8 % poids	
23	1972	Barrage White Oak Creek	USA Texas	Sulphur Spres. Water Auth. Freese & Nichols Inc.	13 (44)	39.760 (52.000)	10 % poids	
24	1972	Barrage Monticello	USA Texas	Dallas Pow. & Lt. et al URA/Forrest & Cotton	16 (54)	11.930 (15.600)	14 % vol.	
25	1973	Barrage et digues de la centrale de Rodemacher	USA La.	Central La. Electric Sargent & Lundy		61.160 (80.000)	9 % poids	Nom d'origine : Barrage de la centrale hydro-électrique Castor Lake
26	1973	Barrage Martin Lake	USA Texas	Dallas Pow. & Lt. et al URS/Forrest & Cotton	18 (61)	28.290 (37.000)	14 % poids	
27	1974	Barrage MacKenzie	USA Texas	MacKenzie Mun. Water Freese & Nichols Inc.	53 (174)	35.930 (47.000)	7 % poids	Nom d'origine : Barrage Tule Creek
28	1974	Barrage City Lake	USA Texas	City of Center, Texas E. Texas Test. Lab.		15.290 (20.000)	12 % poids	
29	1975	Barrage Cypress Bayou	USA La.	Cypress-Black Bayou Rec. & Water Conser. Dist. La.D. of Pub. Wks.	12 (38)	19.880 (26.000)	14,5 % vol.	
30	1975	Barrage Swauano Creek de la centrale Welsh	USA Texas	Southwestern Elec. Power Co. Freese & Nichols Inc.	20 (65)	18.500 (24.200)	12 % poids	
31	1976	Barrage Nové Mlyny-Backwater	Czech	Povodi Moravy (Morava River Basin) Ingstav N.p.		2.570 (3.360)	10 % poids	

A. Dams and Dikes - Upstream Slope Protection - Continued

No.	Year completed	Name	Country State	Owner/Engineer	Maximum height m (ft)	Soil-Cement Volume M <sup>3</sup> (yd <sup>3</sup> )	Cement content wt %	Remarks
21	1970	Kincaid Reservoir Dam	USA LA	Rapides Parish SCS-LA		29,500 (38,590)	10.5	
22	1972	Cutter Dam	USA NM	USBR USBR	27 (90)	11,320 (14,800)	8	
23	1972	White Oak Creek Dam	USA TX	Sulphur Springs Water Authority Freese & Nichols, Inc.	13 (44)	39,760 (52,000)	10	
24	1972	Monticello Dam	USA TX	Dallas Pwr. & Light, et al. URS/Forrest & Cotton	16 (54)	11,930 (15,600)	14	
25	1973	Rodemacher Pwr. Sta. Dam and Dikes	USA LA	Central LA Electric Sargent & Lundy		61,160 (80,000)	9	Original name: Castor Lake Power Station Dam
26	1973	Martin Lake Dam	USA TX	Dallas Pwr. & Light, et al. URS/Forrest & Cotton	18 (61)	28,290 (37,000)	14	
27	1974	MacKenzie Dam	USA TX	MacKenzie Muni. Water Freese & Nichols, Inc.	53 (174)	35,930 (47,000)	7	Original name: Tule Creek Dam
28	1974	City Lake Dam	USA TX	City of Center, TX E. Texas Test Lab		15,290 (20,000)	12	
29	1975	Cypress Bayou Dam	USA LA	Cypress-Black Bayou Rec. & Water Conser. Dist. LA Dept. of Pub. Works	12 (38)	19,880 (26,000)	14.5	
30	1975	Welsh Plant Swauano Creek Dam	USA TX	Southwestern Elec. Pwr. Co. Freese & Nichols, Inc.	20 (65)	18,500 (24,200)	12	
31	1976	Nové Mlýny - Backwater Dam	Czech	Povodí Moravy (Morava River Basin) Ing. Hanzlůva		2,370 (3,360)	10	

A. BARRAGE ET DIGUES - PROTECTION DU TALUS AMONT (SUITE)

n°	Année d'achèvement	Nom	Département ou État	Propriétaire Bureau d'études	Hauteur maximale m (pied)	Volume s/c m³ (yard³)	Teneur en ciment	Remarques & Comportement
32	1976	Digue Fayette Pit. Baffle	USA Texas	Lower Colo. Riv. Auth. & City of Austin. Bechtel Corp.		12.650 (16.550)	11 % poids	Malaxé sur place
33	1976	Barrage Bayou Loco	USA Texas	City of Nacogdoches Freese & Nichols Inc.	20 (65)	36.390 (47.600)	9 % poids	Épaisseur des levées de 0.30 m (12")
34	1977	Barrage Ft. Sherman	USA Texas	Titus Co. Fresh Water Supply Dist. # 1 URS/Forrest & Cotton	21 (69)	49.890 (65.250)	14 % poids	
35	1977	Barrage Carl T. Curtis	USA Nebr.	Cent. Nebr. Pub. Pow. & Irrig. Dist. CH 2 M-Hill	30 (100)	24.620 (32.200)	9 % poids	Nom d'origine : Barrage El- wood
36	1978	Barrage Optima	USA Okla.	CofE CofE-Tulsa	37 (120)	188.230 (246.200)	12 % poids	
37	1978	Barrage Sterling C. Robertson	USA Texas	Brazoa River Auth. URS/Forrest & Cotton	26 (85)	64.220 (84.000)	11 % poids	
38	1978	Barrage Black Bayou	USA La.	Cypress-Black Bayou Rec. & Water Conser. Dist. La. D. of Pub. Wks.	9 (30)	15.520 (20.300)	11 % poids	
39	1978	Barrage et Écluse Columbus	USA Miss.	CofE CofE-Mobile		26.000 (34.000)	11 % poids	
40	1980	Barrage Lake Fork	USA Texas	Dallas Pow. & Lt. et al URS/Forrest & Cotton	25 (82)	81.040 (106.000)	14 % poids	
41	1980	Barrage Forest Grove	USA Texas	Dallas Pow. & Lt. et al Freese & Nichols Inc.	17 (55)	11.390 (14.900)	12 % poids & 8 % poids + cendre volante	

A. Dams and Dikes - Upstream Slope Protection - Continued

No.	Year completed	Name	Country State	Owner/Engineer	Maximum height m (ft)	Soil - Cement Volume M <sup>3</sup> (yd <sup>3</sup> )	Cement content (%)	Remarks
32	1976	Fayette Plt. Baffle Dike	USA TX	Lower Colorado River Authority & City of Austin Bechtel Corp.		12,650 (16,550)	11	Table mixed
33	1976	Bayou Loco Dam	USA TX	City of Nacogdoches Freese & Nichols	20 (65)	36,390 (47,600)	9	0.30 m (12 in) thick lifts
34	1977	Ft. Sherman Dam	USA TX	Tifus Co. Fresh Water Supply Dist. No. 1 URS/Forrest & Cotton	21 (69)	49,890 (65,250)	14	
35	1977	Carl T. Curtis Dam	USA NE	Cent. Nebr. Pub. Pwr. & Irrig. Dist. CH2M-Hill	30 (100)	24,620 (32,200)	9	Original name: Elwood Dam
36	1978	Optima Dam	USA OK	Corps of Engineers - Tulsa	37 (120)	188,230 (246,200)	12	
37	1978	Sterling C. Robertson Dam	USA TX	Brazos River Authority URS/Forrest & Cotton	26 (85)	64,220 (84,000)	11	
38	1978	Black Bayou Dam	USA LA	Cypress-Black Bayou Rec. & Water Conservation Dist. LA Dept. of Public Works	9 (30)	15,520 (20,300)	11	
39	1978	Columbus Lock & Dam	USA MS	Corps of Engineers Corps of Engineers Mobile		26,000 (34,000)	11	
40	1980	Lake Fork Dam	USA TX	Dallas Pwr. & Light, et al. URS/Forrest & Cotton	25 (82)	81,040 (106,000)	14	
41	1980	Forest Grove Dam	USA TX	Dallas Pwr. & Light, et al. Freese & Nichols	17 (55)	11,390 (14,900)	12.8	+ fly ash

A. BARRAGE ET DIGUES - PROTECTION DU TALUS AMONT (SUITE)

n°	Année d'achèvement	Nom	Département ou État	Propriétaire Bureau d'études	Hauteur maximale m (pied)	Volume s/c m <sup>3</sup> (yard <sup>3</sup> )	Teneur en ciment	Remarques & Comportement
42	1980	Barrage Palmetto Bend	USA Texas	BuRec BuRec	18 (58)	40.060 (52.400)	12 % poids	
43	1980	Barrage Seama	USA N. Mex.	US Bur. of Indian Affairs USBIA - Albuquerque	11 (35)	16.900 (22.100)	10 % poids	
44	1980	Barrage et digues Coletto Creek	USA Texas	Guadalupe Blanco Riv. Auth. URS/Forrest & Cotton	20 (65)	28.250 (36.950)	12 % poids	
45	1980	Barrage Gibbons Creek	USA Texas	Tex. Mun. Pow. Auth. Freese & Nichols Inc.	13 (43)	28.440 (37.200)	10 % poids	
46	1980	Barrages d'écoulement Ideal Basic Quarry (3)	USA Ala	Ideal Basic Industries Brown & Root Inc.	17 (55)	10.860 (14.200)	12 % poids	
47	1980	Digue Indian Wells	USA Calif.	Vintage Properties Bechtel Corp.	30 (98)	21.410 (28.000)	7 % poids	Malaxé sur place
48	1981	Barrage Twin Oak	USA Texas	Dallas Pow. & Lt. et al URS/Forrest & Cotton	17 (55)	27.830 (36.400)	8 % poids + cendre volante	
49	1982	Barrage Choke Canyon	USA Texas	BuRec BuRec	35 (116)	156.000 (204.040)	10,5-12 % poids	
50	1982	Barrage Truscott Brine	USA Texas	CofE CofE-Tulsa	31 (101)	71.490 (93.500)	12 % poids	
51	1982	Barrage Lower Running Water Draw Site No. 1	USA Texas	Soil Conservation Serv. SCS - Texas	11 (37)	19.390 (25.360)	10 % poids	
52	1982	Barrage Brandy Branch	USA Texas	Southwestern Elec. Power Co. Freese & Nichols Inc.	24 (80)	14.070 (18.400)	12 % poids	

A. Dams and Dikes - Upstream Slope Protection - Continued

No.	Year completed	Name	Country State	Owner/Engineer	Maximum height m (ft)	Soil-Cement		Cement content wt %	Remarks
						Volume M <sup>3</sup> (yd <sup>3</sup> )	Volume M <sup>3</sup> (yd <sup>3</sup> )		
42	1980	Palmetto Bend Dam	USA TX	USBR USBR	18 (58)	40,060 (52,400)		12	
43	1980	Seama Dam	USA NM	U.S. BIA (Bureau of Indian Affairs) BIA - Albuquerque	11 (35)	16,900 (22,100)		10	
44	1980	Colorado Creek Dam and Dikes	USA TX	Guadalupe Blanco River Authority URS/Forrest & Cotton	20 (65)	28,250 (36,950)		12	
45	1980	Gibbons Creek Dam	USA TX	Texas Muni. Pwr. Auth. Freese & Nichols	13 (43)	28,440 (37,200)		10	
46	1980	Ideal Basic Quarry runoff dams (3)	USA AL	Ideal Basic Ind. Brown & Root, Inc.	17 (55)	10,860 (14,200)		12	
47	1980	Indian Wells Dike	USA CA	Vintage Proerties Bechtel Corp.	30 (90)	21,410 (28,000)		7	Table mixed
48	1981	Twin Oak Dam	USA TX	Dallas Pwr. & Light, et al. URS/Forrest & Cotton	15 (55)	27,830 (36,400)		8	+ fly ash
49	1982	Choke Canyon Dam	USA TX	USBR USBR	35 (116)	156,000 (204,040)		10.5-12	
50	1982	Truscott Brine Dam	USA TX	Corps of Engineers Corps of Engineers Tulsa	31 (101)	71,490 (93,500)		12	
51	1982	Lower Running Water Draw Site No. 1 Dam	USA TX	Soil Conservation Serv. SCS - Texas	11 (37)	19,390 (25,360)		12	
52	1982	Brandy Branch Dam	USA TX	Southwestern Elec. Pwr. Co. Freese & Nichols	24 (80)	14,070 (18,400)		12	



**A. BARRAGE ET DIGUES - PROTECTION DU TALUS AMONT (SUITE)**

n°	Année d'achèvement	Nom	Département ou État	Propriétaire Bureau d'études	Hauteur maximale m (pied)	Volume s/c m <sup>3</sup> (yard <sup>3</sup> )	Teneur en ciment	Remarques & Comportement
53	1983	Barrage Calamus	USA Nebr.	BuRec BuRec	26 (85)	64.990 (85.000)	11 % poids	
54	1983	Barrage Caney Creek	USA La.	La. D. of Transp. & Dev. La. D. of Transp. & Dev.		20.130 (26.320)	10 % vol.	
55	1984	Barrage Arcadia	USA Okla.	CofE CofE-Tulsa	32 (104)	45.870 (60.000)	12 % poids	
56	1984	Barrage Ute - en construction	USA N. Mex.	State of New Mexico BuRec	40 (132)	12.230 (16.000)	8 % poids	
57	1986	Barrage Richland Creek	USA Texas	Tarrant Co. WC & ID # 1 Freese & Nichols Inc.	32 (105)	245.010 (320.460)	12 % poids	

**B. RÉSERVOIRS - PROTECTION DES RIVES**

n°	Année d'achèvement	Nom	Département ou État	Propriétaire Bureau d'études	Volume s/c m <sup>3</sup> (yard <sup>3</sup> )	Teneur en ciment	Remarques & Comportement
1	1966	Réservoir régulateur Lubbock	USA Texas	BuRec BuRec	40.520 (53.000)	13 % poids	Couche de base de 0,15 m (6") d'épaisseur avec 8 % de ciment en poids
2	1969	Bief d'amont de Clifton Ct.	USA Calif.	Calif. Dept. Water Res. Calif. Dept. Water Res.	86.400 (113.000)	8,3 %	Un peu d'érosion du sol-ciment recouvert de perré d'enrochement; couche de base de 0,15 m (6") d'épaisseur
3	1969	Lake Cahuilla	USA	Coachella Valley Water District	100.920 (132.000)	10 % poids	Nom d'origine : Réservoir Coachella Terminal
4	1971	Réservoir de refroidissement d'eau de la centrale Sandfort	USA Fla.	Fla. Pow. & Light Co. Mid-Valley, Inc.	120.570 (157.700)	10,5 % vol.	

A. Dams and Dikes - Upstream Slope Protection - Continued

No.	Year completed	Name	Country State	Owner/Engineer	Maximum height m (ft)	Soil-Cement Volume M <sup>3</sup> (yd <sup>3</sup> )	Cement content wt-% vol	Remarks
53	1986	Celamus Dam	USA NE	USBR	26 (85)	64,990 (85,000)	11	
54	1983	Caney Creek Dam	USA LA	LA Dept. of Transp. & Development LA Dept. of Transp. & Development		20,130 (26,320)	10	
55	1985	Arcadia Dam	USA OK	Corps of Engineers Corps of Engineers Tulsa	32 (104)	45,870 (60,000)	12	
56	1984	Ute Dam - raising	USA NM	State of New Mexico USBR	40 (132)	12,230 (16,000)	8	
57	1986	Richland Creek Dam	USA TX	Tarrant Co. MO&ID No. 1 Freese & Nichols	32 (105)	245,010 (320,460)	12	

B. Reservoirs - Slope Protection

1	1966	Lubbock Reg. Reservoir	USA TX	USBR USBR		40,520 (53,000)	13	0.15 m (6 in) thick bottom w/ 8 percent by weight
2	1969	Clifton Forebay	USA CA	California Dept. of Water Resources California Dept of Water Resources		86,400 (113,000)	8.3	Some erosion of s/c covered by rock riprap 0.15 m (6 in) thick bottom
3	1969	Lake Cahulla	USA	Coachella Valley Water District		100,920 (132,000)	10	Original name: Coachella Terminal Reservoir
4	1971	Sanford Plant Cooling Water Reservoir	USA FL	Florida Pwr. & Light Co. Mid-Valley, Inc.		120,570 (157,700)	10.5	

**B. RÉSERVOIRS - PROTECTION DES RIVES (SUITE)**

n°	Année d'achèvement	Nom	Département ou État	Propriétaire Bureau d'études	Volume s/c m <sup>3</sup> (yard <sup>3</sup> )	Teneur en ciment	Remarques & Comportement
5	1972	Réservoir de refroidissement d'eau de la centrale L. V. Sutton	USA N. Car.	Carolina Pow. & Light Brown & Root, Inc.	53.520 (70.000)	15,7 % vol.	
6	1972	Lagunes d'eaux usées Muskegon	USA Mich.	Muskegon County Bauer Engrg. Inc.	107.210 (140.220)	7,5- 9,5 % vol.	Côtés des 7 lagunes : 0,20 m (8") d'épaisseur. Couche du fond de 4 lagunes : 0,20 m (8")
7	1973	Les 4 bassins de retenue de la centrale Mojave	USA Calif.	So. Calif. Edison Co. Bechtel Corp.	110.800 (145.000)	8-14 % vol.	Épaisseur couche côtés et fond de 0,15 m (6")
8	1973	Silver Lakes	USA Calif.	Lake World McIntire Quiros, Inc.	188.310 (246.300)	7 % poids	Épaisseur couche côtés et fond de 0,15 m (6")
9	1974	Réservoir de refroidissement d'eau de la centrale Manatee	USA Fla.	Fla. Pow. & Light Co. Mid-Valley, Inc.	275.240 (360.000)	11-13 % poids	
10	1974	Bassin de compensation, central Cross Valley	USA Calif.	Kern Co. Water Agency Bookman-Edmonston Inc.	20.640 (27.000)	7 % poids	
11	1976	Réservoir de refroidissement d'eau de la centrale Martin	USA Fla.	Fla. Pow. & Light Co. Mid-Valley, Inc.	507.670 (664.000)	12-14 % poids	
12	1977	Lagunes d'eaux usées Rupert	USA Idaho	City of Rupert Hamilton & Voeller	13.370 (17.490)	10 % poids	Détérioration due au gel-dégel, épaisseur 0,15 m (6") sur côtés inclinés à 3 : 1
13	1977	Réservoir de l'usine de traitement des eaux usées de Redmond	USA Ore.	City of Redmond Robert E. Meyer Engrs.	26.760 (35.000)	9 % poids	Épaisseur couche du fond 0,13 m (5"); épaisseur 0,25 m (10") sur côtés inclinés à 4 : 1
14	1977	Centrale nuc. Clinton, dernière source refroid.	USA Illin.	Commonwealth Edison Sargent & Lundy	42.830 (56.000)	9 % poids	Barrage et digues submergés : couche de 0,46 m (18")

B. Reservoirs - Slope Protection - Continued

No.	Year completed	Name	Country State	Owner/Engineer	Soil-Cement Volume $\frac{M^3}{(yd^3)}$	Cement content $\frac{(\%)}{wt/vol}$	Remarks
5	1972	L. V. Sutton Plant Cooling Water Reservoir	USA NC	Carolina Pwr. & Light Brown & Root, Inc.	53,520 (70,000)	15.7	
6	1972	Muskegon Wastewater Lagoons	USA MI	Muskegon County Bauer Engineering, Inc.	107,210 (140,220)	7.5-9.5	0.20 m (8 in) thick sides all seven lagoons; 0.20 m (8 in) thick bottoms - four lagoons
7	1973	Mojave Generating Station - Four retention basins	USA CA	So. California Edison Co. Bechtel Corp.	110,800 (145,000)	8-14	0.15 m (6 in) thick sides and bottoms
8	1973	Silver Lakes	USA CA	Lake World McIntire Quiros, Inc.	188,310 (246,300)	7	0.15 m (6 in) thick sides and bottoms
9	1974	Manatee Plant Cooling Water Reservoir	USA FL	Florida Pwr. & Light Co. Mid-Valley, Inc.	275,240 (360,000)	11-13	
10	1974	Cross Valley Canal Equalization Pond, etc.	USA CA	Kern Co. Water Agency Bookman-Edmonston, Inc.	20,640 (27,000)	7	
11	1976	Martin Plant Cooling Water Reservoir	USA FL	Florida Pwr. & Light Co. Mid-Valley, Inc.	507,670 (664,000)	12-14	
12	1977	Rupert Sewage Lagoons	USA ID	City of Rupert Hamilton & Voeller	13,370 (17,490)	10	Extensive freeze-thaw deterioration. 0.15 m (6 in) thick on 3:1 side slopes
13	1977	Redmond Wastewater Treatment Plant Reservoir	USA OR	City of Redmond Robert E. Meyer Engineers	26,760 (35,000)	9	0.13 m (5 in) thick bottom, 0.25 m (10 in) thick on 4:1 side slopes
14	1977	CClinton Nuclear Power Station Ultimate Heat Sink	USA IL	Commonwealth Edison Sargent & Lundy	42,830 (56,000)	9	0.46 m (18 in) on submerged dam and dike

**B. RÉSERVOIRS - PROTECTION DES RIVES (SUITE)**

n°	Année d'achèvement	Nom	Département ou État	Propriétaire Bureau d'études	Volume s/c m <sup>3</sup> (yard <sup>3</sup> )	Teneur en ciment	Remarques & Comportement
15	1978	Réservoir de la centrale de Coronado	USA Ariz.	Salt River Project Bechtel Corp.	26.760 (35.000)	8 % poids	
16	1979	Bassin collecteur de la centrale Gibbons Creek	USA Texas	Texas Mun. Pow. Auth. Tippett & Gee, Inc.	29.050 (38.000)	8 % poids	
17	1979	Réservoir d'eau brute centrale Pawnee	USA Colo.	Public Serv. Co. of Colo. Stearns-Roger Corp.	43.430 (56.800)	10 % poids	
18	1979	Réservoir de stockage centrale au charbon Pawnee	USA Colo.	Public Serv. Co. of Colo. Stearns-Roger Corp.	11.430 (14.950)	10 % poids	
19	1979	Réservoir refroidissement d'eau - Centr. So. Texas	USA Texas	Houston Light & Power Co. et al. Brown & Root Inc.	883.070 (1.155.000)	12 %	
20	1979	Bassin de refroidissement Essential South Texas	USA Texas	Houston Light & Power Co. Brown & Root Inc.	38.950 (50.940)	12 % min. poids	Côtés inclinés 5 : 1
21	1980	Réservoir de stockage d'eaux saumâtres LOOP	USA La.	LOOP Project McClelland Engineers	194.110 (253.890)	11 % poids ou 10 % poids + 2 % cendre volante	Couche épais. 0,46 m (18") aval Couche épais. 0,38 m (15") Côtés inclinés 2,5 à 2,8 : 1
22	1980	Lagunes d'eaux usées de Soledad	USA Calif.	City of Soledad Kennedy-Jenks Engrs.	12.230 (16.000)	7,5-9 % poids	Couche épais. 0,20 m (12") sur pentes latérales inclinées 2 : 1 Malaxé sur place
23	1980	Alvond Park Lake	USA Ariz.	City of Phoenix City of Phoenix	15.290 (20.000)	5,9 % vol.	Recouvrement 0,15 m (6") épais Malaxé sur place
24	1982	Bassins d'évaporation de la centrale Springerville	USA Ariz.	Tucson Electric Power Co. Bechtel Corp.	148.320 (194.000)	10 % poids	Épaisseur de la couche du fond 0,20 m (8")

B. Reservoirs - Slope Protection - Continued

No.	Year completed	Name	Country State	Owner/Engineer	Soil-Cement Volume $\frac{M^3}{(yd^3)}$	Cement content $\frac{(\$)}{wt vol}$	Remarks
15	1978	Coronado Power Plant Reservoir	USA AZ	Salt River Project Bechtel Corp.	26,760 (35,000)	8	
16	1979	Gibbons Creek Plant Collection Pond	USA TX	Texas Muni., Pwr. Auth. Tippet & Gee, Inc.	29,050 (38,000)	8	
17	1979	Pawnee Plant Raw Water Storage Reservoir	USA CO	Public Serv. Co. of CO Stearns-Roger Corp.	43,430 (56,800)	10	
18	1979	Pawnee Plant Coal Storage Runoff Pond	USA CO	Public Serv. Co. of CO Stearns-Roger Corp.	11,430 (14,950)	10	
19	1979	So. Texas Plt. Cooling Water Reservoir	USA TX	Houston Lighting & Pwr. Co., et al., Inc. Brown & Root, Inc.	883,070 (1,155,000)	12	
20	1979	So. Texas Plant Essential Cooling Pond	USA TX	Houston Lighting & Pwr. Brown & Root, Inc.	38,9500 (50, 940)	12 min.	5:1 side slopes
21	1980	LOOP Brine Storage Reservoir	USA LA	LOOP Project McClelland Engineers	194,110 (253,890)	11, or 10 +2 fly ash	.46 m (18 in) thick downstream .38 m (15 in) thick upstream Slope varies from 2.5 to 28:1
22	1980	Soledad Sewage Lagoons	USA CA	CITY of Soledad Kennedy-Jenks, Engrs.	12,230 (16,000)	7.5 - 9	0.20 m (12 in) thick on 2:1 side slopes Table mixed
23	1980	Alvord Park Lake	USA AZ	CITY of Phoenix CITY of Phoenix	15,290 (20,000)	5.9	0.15 (6 in) thick lining in place mixed
24	1982	Springerville Pwr. Plant Evaporation Ponds	USA AZ	Tucson Elec. Pwr. Co. Bechtel Corp.	148,320 (194,000)	10	0.20 m (8 in) thick bottom

**C. REMBLAIS DE GRANDE ROUTE ET DE CHEMIN DE FER - PROTECTION DES TALUS**

n°	Année d'achèvement	Nom	Département ou État	Propriétaire Bureau d'études	Volume s/c m³ (yard³)	Teneur en ciment	Remarques & Comportement
1	1962	SH 361 - Aransas Pass à Port Aransas	USA Texas	Tex. St. Hwy Dept.	15.890 (20.790)	14,6 % vol.	Exposé à l'eau de mer
2	1966	Toledo Bend SH 6 - Remblai de grande route	USA La.	La. State Hwy Dept.	10.140 (13.260)	7,4 % vol.	
3	1967	Toledo Bend SH 21 - Remblai de grande route	USA Texas	Tex. St. Hwy Dept.	38.230 (50.000)	13 % vol.	
4	1967	Lake Livingston US 190 E Remblai de grande route	USA Texas	Tex. St. Hwy Dept.	44.340 (58.000)	13 % vol.	
5	1967	Lake Livingston US 190 W Remblai de grande route	USA Texas	Tex. St. Hwy Dept.	110.860 (145.000)	13 % vol.	
6	1970	Santa Ana River I-395 Remblai de grande route	USA Calif.	Calif. Div. of Hwys	37.690 (49.300)	13,3 % vol.	
7	1970	Lake Palestine SH 155 W Remblai de grande route	USA Texas	Tex. St. Hwy Dept.	36.700 (48.000)	13,8 % vol.	Nom d'origine : Réservoir Blackburn Crossing
8	1970	Lake Palestine FM 315 E Remblai de grande route	USA Texas	Tex. St. Hwy Dept.	41.900 (54.800)	10,5 % poids	Nom d'origine : Réservoir Blackburn Crossing
9	1970	Lake Palestine SH 155 E Remblai de grande route	USA Texas	Tex. St. Hwy Dept.	23.740 (31.050)	12 % poids	Nom d'origine : Réservoir Blackburn Crossing
10	1972	Lake Monticello FM 127 Remblai de grande route	USA Texas	Tex. St. Hwy Dept.	26.210 (34.280)	12 % poids	
11	1974	I-805 Remblai de grande route	USA Calif.	Calif. Div. of Hwys	13.000 (17.000)	8 % vol.	

C. Highway and Railroad Embankments - Slope Protection

No.	Year completed	Name	Country State	Owner/Engineer	Soil-Cement Volume $\frac{M^3}{(yd^3)}$	Cement content $\frac{(\$)}{WT. vol}$	Remarks
1	1962	SH361-Arkansas Pass to Port Aransas	USA TX	Texas State Highway Dept.	15,890 (20,790)	14.6	Exposed to seawater
2	1966	Toledo Bend SH6 Highway Emb.	USA LA	Louisiana State Highway Dept.	10,140 (13,260)	7.4	
3	1967	Toledo Bend SH21 Highway Emb.	USA TX	Texas State Highway Dept.	38,230 (50,000)	13	
4	1967	Lake Livingston US190E Highway Emb.	USA TX	Texas State Highway Dept.	44,340 (58,000)	13	
5	1967	Lake Livingston US190W Highway Emb.	USA TX	Texas State Highway Dept.	110,860 (145,000)	13	
6	1970	Santa Ana River I-395 Highway Emb.	USA CA	California Division of Highways	37,690 (49,300)	13.3	
7	1970	Lake Palestine SH155W Highway Emb.	USA TX	Texas State Highway Dept.	36,700 (48,000)	13.8	Original name: Blackburn Crossing Reservoir
8	1970	Lake Palestine FM315E Highway Emb.	USA TX	Texas State Highway Dept.	41,900 (54,800)	10.5	Original name: Blackburn Crossing Reservoir
9	1970	Lake Palestine SH155E Highway Emb.	USA TX	Texas State Highway Dept.	23,740 (31,050)	12	Original name: Blackburn Crossing Reservoir
10	1972	Lake Monticello FM127 Highway Emb.	USA TX	Texas State Highway Dept.	26,210 (34,280)	12	
11	1974	I-805 Highway Emb.	USA CA	California Division of Highways	13,000 (17,000)	8	



**C. REMBLAIS DE GRANDE ROUTE ET DE CHEMIN DE FER - PROTECTION DES TALUS (SUITE)**

n°	Année d'achèvement	Nom	Département ou Etat	Propriétaire Bureau d'études	VOLUME s/c m <sup>3</sup> (yard <sup>3</sup> )	Teneur en ciment	Remarques & Comportement
12	1974	Martin Lake Remblai de grande route et de chemin de fer	USA Texas	Dallas Power & Light et al URS/Forrest & Cotton	45.370 (59.340)	14 % poids	
13	1974	Martin Lake FM 2658 Remblai de grande route	USA Texas	Texas State Highway Dept.	38.920 (37.820)	10 % poids	
14	1975	Palmetto Bend US 59 Remblai de grande route	USA Texas	Texas State Highway Dept.	15.530 (20.310)	12 % poids	
15	1975	Palmetto Bend So. Remblai de la Pacific RR	USA Texas	So. Pacific RR BuRec	14.140 (18.500)	12 % poids	
16	1975	Optima Lake SH 3 Remblai de grande route	USA Okla.	Oklahoma Div. of Highways	43.100 (56.380)	11 % vol.	
17	1975	Optima Lake SH 94 Remblai de grande route	USA Okla.	Oklahoma Div. of Highways	15.140 (19.800)	11 %	
18	1976	Remblai de chemin de fer pour transport de lignite à la centrale Monticello	USA Texas	Dallas Power & Light et al. URS/Forrest & Cotton	55.810 (73.000)	8 % + cendre volante	
19	1976	Lake Bob Sandlin-FM 21 & FM 1519. Remblai de grande route	USA Texas	Texas St. Highway Dept.	36.360 (47.560)	12 % poids	
20	1976	Lake Fork SH 154 Remblai de grande route	USA Texas	Texas St. Highway Dept.	45.010 (58.870)	10 % poids	
21	1977	Lake Fork FM 515 E Remblai de grande route	USA Texas	Texas St. Highway Dept.	20.230 (26.460)	10 % poids	

C. Highway and Railroad Embankments - Slope Protection - Continued

No.	Year completed	Name	Country State	Owner/Engineer	Soil-Cement Volume M <sup>3</sup> (yd <sup>3</sup> )	Cement content (%)	Remarks
12	1974	Martin Lake RR and Highway Emb.	USA TX	Dallas Pwr. & Light, et al. URS/Forrest & Cotton	45,370 (59,340)	14	
13	1974	Martin Lake FM2658 Highway Emb.	USA TX	Texas State Highway Dept.	38,920 (37,820)	10	
14	1975	Palmetto Bend U.S. 59 Highway Emb.	USA TX	Texas State Highway Dept.	15,530 (20,310)	12	
15	1975	Palmetto Bend So. Pacific RR Emb.	USA TX	So. Pacific RR USBR	14,140 (18,500)	12	
16	1975	Optima Lake SH3 Highway Emb.	USA OK	Oklahoma Division of Highways	43,100 (56,380)	11	
17	1975	Optima Lake SH94 Highway Emb.	USA OK	Oklahoma Division of Highways	15,140 (198,800)	11	
18	1976	Monticello Plant Lignite Transportation RR Emb.	USA TX	Dallas Pwr. & Light, et al. URS/Forrest & Cotton	55,810 (73,000)	8 + fly ash	
19	1976	Lake Bob Sandlin FM21 Highway Emb.	USA TX	Texas State Highway Dept.	36,360 (47,560)	12	
20	1976	Lake Fork SH154 Highway Emb.	USA TX	Texas State Highway Dept.	45,010 (56,870)	10	
21	1977	Lake Fork FM515E Highway Emb.	USA TX	Texas State Highway Dept.	20,230 (26,460)	10	

**C. REMBLAIS DE GRANDE ROUTE ET DE CHEMIN DE FER - PROTECTION DES TALUS (SUITE)**

n°	Année d'achèvement	Nom	Département ou État	Propriétaire Bureau d'études	Hauteur maximale m (pied)	Volume s/c m <sup>3</sup> (yard <sup>3</sup> )	Teneur en ciment	Remarques & Comportement
22	1977	Lake Fork FM 2946 Remblai de grande route	USA Texas	Texas St. Highway Dept.	38.190 (49.940)	12 % poids		
23	1977	Lake Fork SH 195 & FM 514 W. Remblai de grande route	USA Texas	Texas St. Highway Dept.	14.010 (18.330)	10 % poids		
24	1977	Forest Grove US 175 Remblai de grande route	USA Texas	Texas St. Highway Dept.	10.710 (14.000)	10 % poids		
25	1978	Lake Fork FM 515 W Remblai de grande route	USA Texas	Texas St. Highway Dept.	35.950 (47.020)	12 % poids		
26	1978	Lake Fork FM 17 Remblai de grande route	USA Texas	Texas St. Highway Dept.	56.130 (73.420)	12 % poids		
27	1978	Lake Fork FM 2966 Remblai de grande route	USA Texas	Texas St. Highway Dept.	25.190 (32.950)	12 % poids		A l'origine FM 2225 Remblai de grande route
28	1979	Centrale Gibbons Creek Remblai d'embranchement de chemin de fer	USA Texas	Texas Mun. Power Auth. Freese & Nichols, Inc.	39.370 (51.500)	12 % poids		
29	1983	Rétablissement de route Joe Pool No. 1 - 2 <sup>e</sup> partie	USA Texas	CofE CofE - Ft. Worth	10.020 (13.100)	12 % poids		A l'origine Lakeview Lake

**D. REMBLAIS DIVERS - PROTECTION DES TALUS**

1	1967	Nakusp - Protection du bord de l'eau	Canada Brit. Col.	B. C. Hydro & Power Auth. Golder, Browner & Assoc.	13.380 (17.500)	9,97 % poids		Protection de la Columbia River
2	1967	Barrage-batardeau DeCordova Bend	USA Texas	Brazos River Auth. H. B. Zachry Co.	15.290 (20.000)	5 % vol.		Épaisseur couche 0,61 m (2 pied) sur pente de 2 : 1

C. Highway and Railroad Embankments - Slope Protection - Continued

Year com- plete	No.	Name	Country State	Owner/ Engineer	Soil-Cement Volume		Cement content (%)	Remarks
					M <sup>3</sup> (yd <sup>3</sup> )	wt vol		
1977	22	Lake Fork FM2946 Highway Emb.	USA TX	Texas State Highway Dept.	38,190	(49,940)	12	
1977	23	Lake Fork SH195 and FM514W Highway Emb.	USA TX	Texas State Highway Dept.	14,010	(18,330)	10	
1977	24	Forest Grove US175 Highway Emb.	USA TX	Texas State Highway Dept.	10,710	(14,000)	10	
1978	25	Lake Fork FM515W Highway Emb.	USA TX	Texas State Highway Dept.	35,950	(47,020)	12	
1978	26	Lake Fork FM17 Highway Emb.	USA TX	Texas State Highway Dept.	56,130	(73,420)	12	Originally FM2225 Highway Emb.
1979	28	Gibbons Creek Plant RR Spur Emb.	USA TX	Texas Muni. Pwr. Authority Freese & Nichols, Inc.	39,370	(51,500)	12	
1983	29	Joe Pool Road Relocation No. 1 Part 2	USA TX	Corps of Engineers Corps of Engineers - Ft. Worth	10,020	(13,100)	12	Originally Lakeview Lake
D. Miscellaneous Embankments - Slope Protection								
1967	1	Nakusp Waterfronts Protectionasas	Canada B.C.	British Columbia Hydro & Pwr. Auth. Gilder, Browner & Associates	13,380	(17,500)	9.97	Protection from Columbia River
1967	2	DeCordova Bend Dam- Cofferdam	USA TX	Brazos River Auth. H. B. Zachry Co.	15,290	(20,000)	5	0.61 m (2 ft) thick cofferdam facing on 2:1 slope

D. REMBLAIS DIVERS - PROTECTION DES TALUS (SUITE)

n°	Année d'achèvement	Nom	Département ou Etat	Propriétaire Bureau d'études	Volume s/c m <sup>3</sup> (yard <sup>3</sup> )	Teneur en ciment	Remarques & Comportement
3	1970	Traverse de l'aqueduc Calif. au ruisseau Quall	USA Calif.	Calif. Dept of Pub. Wks Calif. Dept of Pub. Wks	33.180 (43.400)	12 % vol.	
4	1971	Prise d'eau & canaux d'évacuation cen. Sanford	USA Fla.	Fa. Pow. & Light Co. Mid-Valley, Inc.	13.230 (17.300)	10,5 % vol.	Couche épais. 0,15 m (6") sur fond et pentes latérales inclinées 3 : 1
5	1971	Canal de fuite de la centrale Castaic	USA Calif.	LA Dept of Water & Pow. Converse, Davis & Assoc.	77.830 (101.800)	9 % poids	Couche épais. fond 0,76 m (2,5 pieds) Couche épais. min. 1,83 m (6,0 pieds) sur côtés inclinés 1 : 1
6	1973	Lake Conroe - Protection de marina et cloison	USA Texas	Johnson-Loggins, Inc. Brown & Root, Inc.	23.690 (30.990)	11,9 % vol.	
7	1975	Usine déchargement charbon huile cen. Collins	USA Ill.	Commonwealth Edison Sargent & Lundy	12.230 (16.000)	10 % poids	
8	1975	Protection rives Péninsule de Gaspé - 3 villages	Canada Québec	Québec Province Ministry of Natural Res.	13.320 (17.420)	10 % poids	Eau de mer & déferlement important de vague - Malaxé sur place
9	1977	Centrale Coletto Creek Canal d'évacuation n° 1	USA Texas	Central Pow. & Light Co. Sargent & Lundy	14.010 (18.330)	10 % poids	Couche épaisseur 0,15 m (6") sur pentes inclinées 3 : 1 Variation dans l'épaisseur
10	1979	Protection des rives - Golfe du St-Laurent	Canada Québec	Quebec Province Engr. Roy, Bergeron	4.370 (5.710)	9-12 % vol.	Exposé à l'eau de mer et à des vagues fortes
11	1980	Protection des rives - Golfe du St-Laurent	Canada Québec	Gariépy, Leroux, Dupont, Desmeules	8.200 (10.720)		Exposé à l'eau de mer et à des vagues fortes

D. Miscellaneous Embankments - Slope Protection - Continued

No.	Year completed	Name	Country State	Owner/Engineer	Soil-Cement		Cement content (%)	Remarks
					Volume (yd <sup>3</sup> )	WT/VOL		
3	1970	California Aqueduct Crossing Quail Creek Emb.	USA CA	California Dept. of Public Works California Dept. of Public Works	33,180 (43,400)	12		
4	1971	Sanford Plant Intake and Discharge Channels	USA FL	Florida Pwr. & Light Co. Mid-Valley, Inc.	13,230 (17,300)	10.5	0.15 m (6 in) thick bottom and on 3:1 side slopes	
5	1971	Castaic Power Plant Tailrace Channel	USA CA	Los Angeles Dept. of Water and Pwr. Converse, Davis & Associates	77,830 (101,800)	9	0.76 m (1.5 ft) thick bottom 1.83 m (6.0 ft) minimum thickness for sides on 1:1 slope	
6	1973	Lake Conroe Marina and Bulkhead Protection	USA TX	Johnson-Loggins, Inc. Brown & Root, Inc.	23,690 (30,990)	11.9		
7	1975	Collins Station Oil Barge Unloading Facility	USA IL	Commonwealth Edison Sargent & Lundy	12,230 (16,000)	10		
8	1975	Gaspe Peninsula Shore Protection Three Villages	Canada Quebec	Quebec Province Ministry of Natural Resources	13,320 (17,420)	10	Exposed to seawater and severe wave action - in-place mix	
9	1977	Colato Creek Pwr. Station Discharge Flume No. 1	USA TX	Central Pwr. & Light Co. Sargent & Lundy	14,010 (18,330)	10	0.15 m (6 in) thick on 3:1 slopes some deficiency in thickness	
10	1979	Gulf of St. Lawrence Shore Protection	Canada Quebec	Quebec Province Engr. Roy Bergeron	4,370 (5,170)	9-12	Exposed to seawater and high waves	
11	1980	St. Lawrence River Shore Protection	Canada Quebec	Quebec Province Roy, Bergeron, et Al.	8,200 (10,720)		Exposed to seawater and high waves	

**D. REMBLAIS DIVERS - PROTECTION DES TALUS (SUITE)**

n°	Année d'achèvement	Nom	Département ou État	Propriétaire Bureau d'études	Volume s/c m <sup>3</sup> (yard <sup>3</sup> )	Teneur en ciment	Remarques & Comportement
12	1980	Centrale Pyramid - Canal de dérivation	USA Calif.	Calif. Dept of Water Res. Calif. Dept of Water Res.	80.280 (105.000)	8-9 % poids	Épaisseur couche du fond 0,91 m (3 pieds) Épaisseur couche sur côtés, 1,52 m (5 pieds)
13	1980	Usine traitement eaux usées Roger Road - Protection	USA Ariz.	City of Tucson Black & Veatch	22.940 (30.000)	9 % poids	
14	1980	Piliers du Tucson Mall Protection	USA Ariz.	Forest City Dillon Cella, Barr & Evans	27.520 (36.000)	9 % poids	
15	1980	Piliers du pont La Cholla Protection	USA Ariz.	Pima County Dooley-Jones	20.180 (26.400)	9 % poids	

**E. REMBLAIS COMPOSÉS ENTIÈREMENT DE SOL-CIMENT**

n°	Année d'achèvement	Nom	Département ou État	Propriétaire Bureau d'études	Hauteur maximale m (pied)	Volume s/c m <sup>3</sup> (yard <sup>3</sup> )	Teneur en ciment	Remarques & Comportement
1	1973	Centrale Barney M. Davis - Réservoir de refroidissement d'eau	USA Texas	Central Power & Light Sargent & Lundy	7 (22)	268.360 (351.000)	10 % poids	Exposé à l'eau de mer - problème avec manque de ciment sur partie d'une couche
2	1975	Projet Lubbock Canyon Lakes (4 barrages)	USA Texas	City of Lubbock Freese & Nichols	4 (12)	17.520 (22.920)	12,1 % vol.	Recouverts de béton

**F. BARRAGES - APPLICATIONS AUX FONDATIONS**

n°	Année d'achèvement	Nom	Département ou État	Propriétaire Bureau d'études	Volume s/c m <sup>3</sup> (yard <sup>3</sup> )	Teneur en ciment	Remarques & Comportement
1	1967	Barrage Cochiti - Appui des ouvrages d'évacuation	USA N. Mex.	CofE CofE-Albuquerque	44.120 (57.700)	5,2 % poids	

D. Miscellaneous Embankments - Slope Protection - Continued

No.	Year completed	Name	Country State	Owner/Engineer	Maximum height m (ft)	Soil-Cement Volume M <sup>3</sup> (yd <sup>3</sup> )	Cement content (%)	Remarks
12	1980	Pyramid Pwr. Plant Bypass Channel	USA CA	California Dept. of Water Resources		80,280 (105,000)	8-9	0.91 m (3.0 ft) thick bottom 1.52 m (5 ft) thick for sides
13	1980	Roger Road Wastewater Treatment Pit Protection	USA AZ	City of Tucson Black & Veatch		22,940 (30,000)	9	
14	1980	Tucson Mall Bk. Protection	USA AZ	Forest City Dillon Cella, Barr & Evans		27,520 (36,000)	9	
15	1980	LaCholla Bridge Bk. Protection	USA AZ	Pima County Dootley-Jones		20,180 (26,400)	9	

E. Solid Soil-Cement Embankments

1	1973	Barney M. Davis Pwr. Sta. Cooling Water Reservoir	USA TX	Central Pwr. & Light Sargent & Lundy	7 (22)	268,360 (351,000)	10	Exposed to seawater Problem with no cement in portion of one layer
2	1975	Lubbock Canyon Lakes Project (four dams)	USA TX	City of Lubbock Freese & Nichols	4 (12)	17,520 (22,920)	12.1	Capped with concrete

F. Dams - Foundation Applications

1	1967	Cochiti Dam-Outlet Works Support	USA NM	Corps of Engineers Albuquerque		44,120 (57,700)	5.2	
---	------	----------------------------------	--------	--------------------------------	--	-----------------	-----	--



F. BARRAGES - APPLICATIONS AUX FONDATIONS (SUITE).

n°	Année d'achèvement	Nom	Département ou État	Propriétaire ou Bureau d'études	Volume s/c m <sup>3</sup> (yard <sup>3</sup> )	Teneur en ciment	Remarques & Comportement
2	1977	Barrage Forest Grove Appui de l'évacuateur de crue	USA Texas	Dallas Pow. & Light et al. Freese & Nichols	18.730 (24.500)	10 % poids ou 6 % + cendre volante	
3	1984	Barrage Richland Creek Appui de l'évacuateur de crue	USA Texas	Tarrant Co. WC & ID # 1 Freese & Nichols	89.910 (117.600)	10 % poids	

G. BARRAGES - APPLICATIONS AUX ÉVACUATEURS DE CRUE

1	1962	Barrage Sanford	USA Texas	BuRec BuRec	16.180 (21.165)	13,3 % vol.	Couche épaisseur 1,52 m (5 pieds) dans fosse dissipation temporaire du canal de dérivation
2	1979	Barrage Palmetto Bend	USA Texas	BuRec BuRec	40.900 (53.500)	12 % poids	Épaisseur de 0,91 m (3 pieds) sur pentes et fond des canaux d'entrée et sortie de l'évacuateur de crue dans canal adjacent à l'évacuateur
3	1983	Barrage Calamus	USA Nebr.	BuRec BuRec	11.670 (15.260)	11 % poids	Épaisseur de 0,30 m (1 pied) sur pentes inclinées 3 : 1 du canal d'entrée de l'évacuateur
					16.450 (21.520)	11 % poids	Épaisseur de 0,30 m (1 pied) sur pentes inclinées 3 : 1 des deux côtés des ouvrages de sortie de la rivière et adjacents à l'ouvrage d'entrée de l'évacuateur, etc.

F. Dams - Foundation Applications - Continued

No.	Year completed	Name	Country State	Owner/Engineer	Soil-Cement Volume $\frac{M^3}{(yd^3)}$	Cement content $\frac{WT}{vol}$ (%)	Remarks
2	1977	Forest Grove Dam Spillway Support	USA TX	Dallas Pwr. & Light, et al. Freese & Nichols	18,730 (24,500)	10, or 6 + fly ash	
3	1984	Richland Creek Dam Spillway Support	USA TX	Tarrant Co. WC & ID No. 1 Freese & Nichols	89,910 (117,600)	10	

G. Dams - Spillway Applications

1	1962	Sanford Dam	USA TX	USBR USBR	16,180 (21,165)	13.3	1.52 m (5 ft) thick temporary strilling basin in diversion channel
2.	1979	Palmetto Bend Dam	USA TX	USBR USBR	40,900 (53,500) 11,670 (15,260)	12	0.91 m (3 ft) thick on slopes and bottom of spillway inlet and outlet channel adjacent to spillway 0.30 m (1 ft) thick on 3:1 slope of spillway inlet channel
3	1983	Calamus Dam	USA NE	USBR USBR	16,450 (21,520)	11	0.30 m (1 ft) thick on 3:1 slope both sides of river outlet works and adjacent to spillway inlet structure, etc.

H. BARRAGES - APPLICATIONS AU CONTRÔLE DES INFILTRATIONS

n°	Année d'achèvement	Nom	Département ou État	Propriétaire Bureau d'études	Hauteur maximale m (pied)	Volume s/c m <sup>3</sup> (yard <sup>3</sup> )	Teneur en ciment	Remarques & Comportement
1	1979	Barrage Grayrocks	USA Wyo.	Basin Electric & others Banner Associates Inc.	29 (94)	17.200 (22.500)	10 % poids	Pose d'un tapis sur les versants de l'appui
2	1980	Réservoir de refroidissement d'eau de la centrale Martin - réparations	USA Fla.	Florida Power & Light Mid-Valley Inc.		34.410 (45.000)	10 % poids	Protection d'épaisseur de 0,15 m (6") pour le tapis amont
3	1983	Barrage Calamus	USA Nebr.	BuRec BuRec	26 (85)	61.930 (81.000)	11 % poids	Protection d'épaisseur de 0,30 m (12") pour le tapis amont

H. Dams - Seepage Control Applications

No.	Year completed	Name	Country State	Owner/Engineer	Maximum height m (ft)	Soil-Cement Volume M <sup>3</sup> (Yd <sup>3</sup> )	Cement content wt %	Remarks
1	1979	Grayrocks Dam	USA WY	Basin Elect. and others Banner Associates, Inc.	29 (94)	17,200 (22,500)	10	Blanketing of abutment slopes
2	1980	Martin Plant Cooling Water Reservoir Repairs	USA FL	Florida Pwr & Light Mid-Valley, Inc.		34,410 (45,000)	10	.15 m (6 in) thick protection for upstream blanket
3	1983	Calamus Dam	USA NE	USBR USBR	26 (85)	61,930 (81,000)	11	.30 m (12 in) thick protection for upstream blanket

---

## LISTE DES FIGURES

---

### FIGURES

- 1 Coupes types du revêtement de sol-ciment au réservoir Bonny dans la section d'essai.
- 2 Section d'essai du réservoir Bonny, après 29 ans de service, 1980.
- 3 Teneurs en ciment requises dans le mélange de sol-ciment ne contenant pas de particules retenues au tamis de 5 mm (n° 4).
- 4 Granulométrie des sols dans le cas d'ouvrages où des parements de sol-ciment sont utilisés à la protection des talus.
- 5 Relation entre la résistance à la compression et la durabilité.
- 6 Détails et dimensions de 3 revêtements en sol-ciment.
- 7 Coupe type - Barrage Optima, Oklahoma.
- 8 Résistance à la compression des protections de talus en sol-ciment.
9. Résistance triaxiale et teneur en ciment des sols-ciment, après 28 jours de « cure » - Classification des sols de l'AASHTO.
- 10 Schéma d'une centrale de malaxage de sol-ciment à débit continu.
  
- 11 Deux convoyeurs conçus spécialement pour la mise en place du parement de sol-ciment des deux côtés d'une digue de l'aménagement de South Texas.
- 12 Méthode type de mise en place du sol-ciment.
- 13 Rouleau vibrant, à cylindre métallique modifié, permettant la mise en place de l'arête extérieure, pour les couches de sol-ciment du réservoir de refroidissement d'eau de la Centrale Martin, en Floride.

---

## LIST OF FIGURES

---

### FIGURES

- 1 Typical sections of compacted soil-cement facing for Bonny Reservoir test section.
- 2 Bonny Reservoir test section after 29 years of exposure, 1980.
- 3 Indicated cement requirements of soil-cement mixtures not containing material retained on 5 mm (No. 4) sieve.
- 4 Soil gradations for specific soil-cement slope protection projects.
- 5 Relationship between strength and durability.
- 6 Details and dimensions of three soil-cement dam facings.
- 7 Typical section - Optima dam, Oklahoma.
- 8 Strength of soil-cement slope protection.
- 9 Triaxial strength and cement content for soil-cement after 28 days curing - AASHO soil classifications.
- 10 Diagram for continuous-flow central plant for proportioning and mixing soil-cement.
- 11 Two specifically designed moving conveyors help place soil-cement slope protection on both sides of an interior dike at the South Texas Project.
- 12 Typical soil-cement placing operation.
- 13 Modified steel wheel vibratory roller producing outside edge for soil-cement layer at Martin Plantcooling water reservoir in Florida.

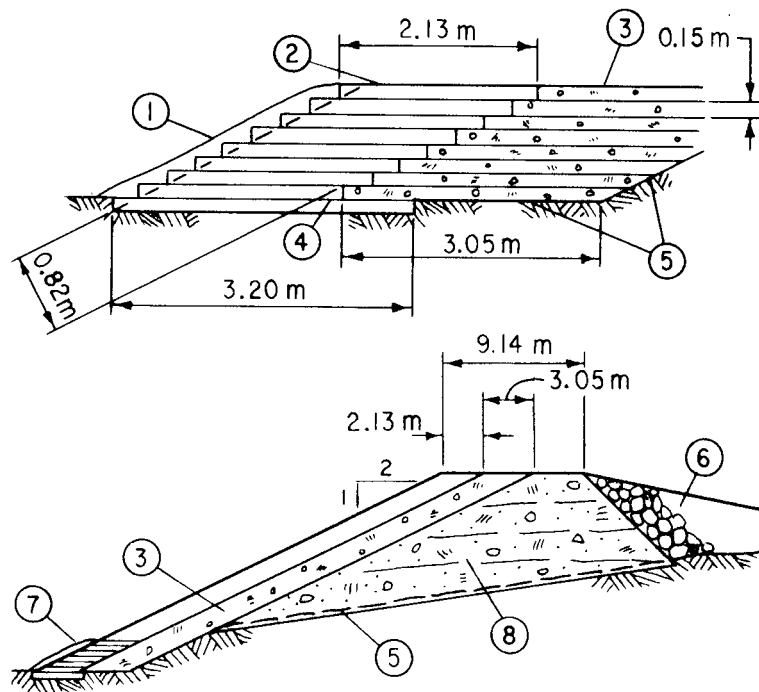


Fig. 1

Coupes types du revêtement de sol-ciment au réservoir Bonny dans la section d'essai.

*Typical sections of compacted soil-cement facing for Bonny Reservoir test section.*

- |                                      |                                   |
|--------------------------------------|-----------------------------------|
| (1) Couverture de terre humide.      | (1) Moist earth cover.            |
| (2) Couches de sol-ciment terminées. | (2) Completed soil-cement layers. |
| (3) Remblai roulé imperméable.       | (3) Rolled impervious embankment. |
| (4) Première couche de sol-ciment.   | (4) First soil-cement layer.      |
| (5) Terrain naturel.                 | (5) Original ground surface.      |
| (6) Enrochements déversés.           | (6) Dumped rock.                  |
| (7) Voir détail ci-dessus.           | (7) See detail above.             |
| (8) Remblai compacté.                | (8) Compacted fill.               |



Fig. 2

Section d'essai du réservoir Bonny, après 29 ans de service, 1980.  
*Bonny Reservoir test section after 29 years of exposure, 1980.*

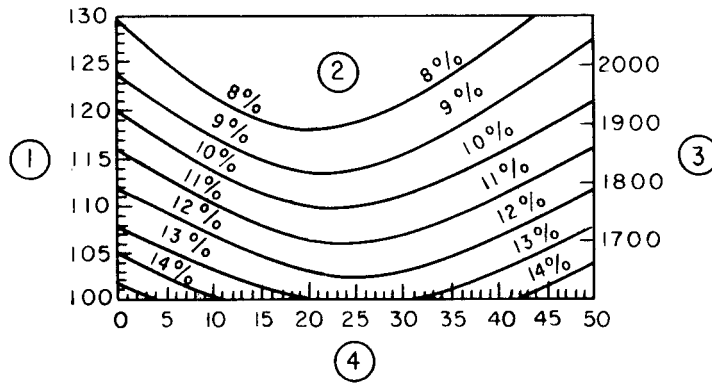


Fig. 3 Teneurs en ciment requises dans les mélanges de sol-ciment ne contenant pas de particules retenues au tamis de 5 mm (n° 4).

*Indicated cement requirements of soil-cement mixtures not containing material retained on 5 mm (No. 4) sieve.*

- |   |  |
|---|--|
| (1) Densité maximale (lb/ft <sup>3</sup> ).             | (1) Maximum density (lb/ft <sup>3</sup> ). |
| (2) Poids de ciment par rapport au poids de sol sec     | (2) Cement by dry weight of soil.          |
| (3) Densité maximale (kg/m <sup>3</sup> ).              | (3) Maximum density (kg/m <sup>3</sup> ).  |
| (4) Pourcentage de particules plus petites que 0,05 mm. | (4) Material smaller than 0.05 mm.         |

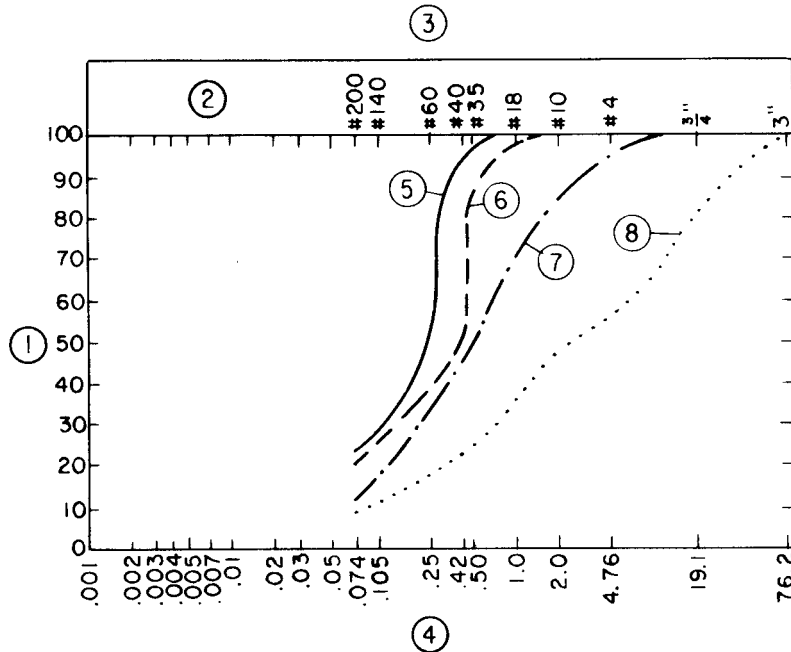


Fig. 4 Granulométrie des sols dans le cas d'ouvrages où des parements de sol-ciment sont utilisés à la protection des talus.

*Soil gradations for specific soil-cement slope protection projects.*

- |   |   |
|---|---|
| (1) Pourcentage des particules inférieures à la dimension indiquée. | (1) Percentage of particles smaller than size shown.  |
| (2) Dimensions des tamis suivant normes ASTM.                       | (2) ASTM Standard Sieve Sizes.                        |
| (3) Courbes granulométriques.                                       | (3) Grain size accumulation curve.                    |
| (4) Dimension des particules (mm).                                  | (4) Particle size (mm).                               |
| (5) Barrage Merritt, Nebraska.                                      | (5) Merritt Dam - Nebraska.                           |
| (6) Digue d'essai du réservoir Bonny, Colorado, Sol A.              | (6) Bonny Reservoir Test Section - Colorado - Soil A. |
| (7) Digue d'essai du réservoir Bonny, Colorado, Sol B.              | (7) Bonny Reservoir Test Section - Colorado - Soil B. |
| (8) Barrage Ute, New Mexico.  | (8) Ute Dam - New Mexico.                             |



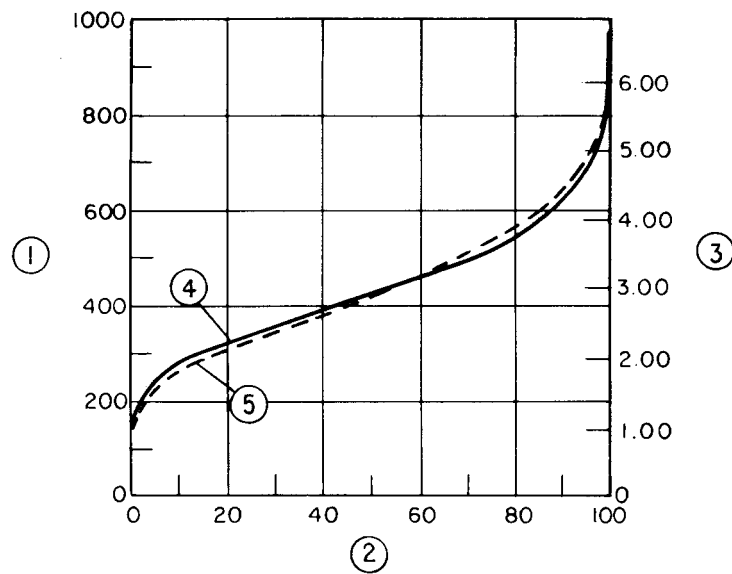
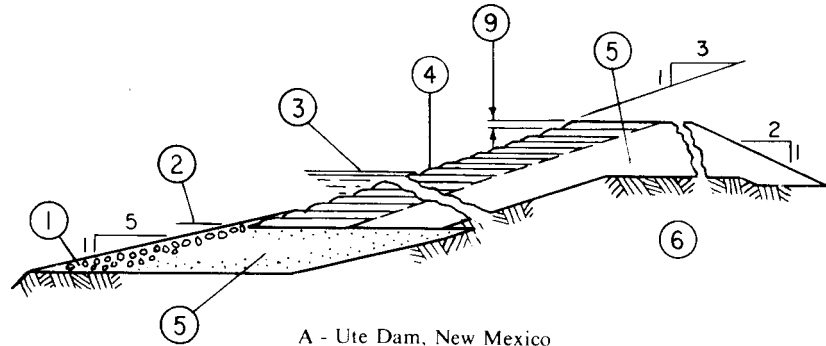


Fig. 5

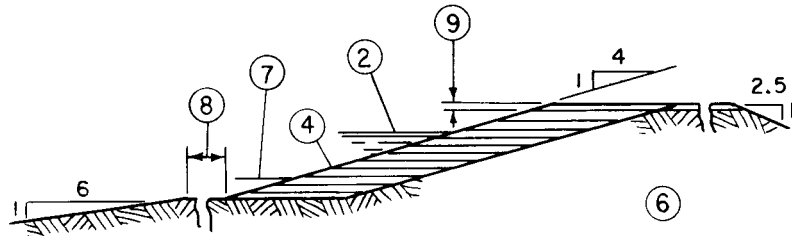
Relation entre la résistance à la compression et la durabilité.

*Relationship Between Strength and Durability.*

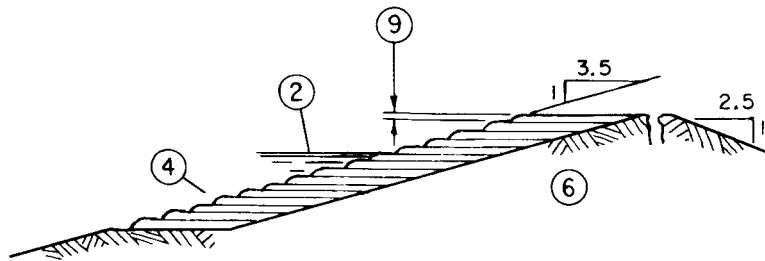
- |   |  |
|---|--|
| (1) Résistance à la compression à 7 jours (lb/in <sup>2</sup> ).                              | (1) Seven day compressive strength (lb/in <sup>2</sup> ).          |
| (2) Pourcentage des échantillons passant les essais gel-dégel et mouillage-séchage de l'ASTM. | (2) Percent of samples passing ASTM freeze-thaw and wet-dry tests. |
| (3) Résistance à la compression à 7 jours (MPa).  | (3) Seven day compressive strength (MPa).                          |
| (4) 1 188 échantillons - 0-50 % des particules passent au tamis de 0,075 mm (n° 200).         | (4) 1 188 Samples - 0-50 % pass 0.075 mm (No. 200) sieve.          |
| (5) 529 échantillons - 0-15 % des particules passent au tamis de 0,075 mm (n° 200).           | (5) 529 Samples - 0-15 % pass 0.075 mm (No. 200) sieve.            |



A - Ute Dam, New Mexico  
A - Ute Dam, New Mexico



B - Merritt Dam, Nebraska  
B - Merritt Dam, Nebraska



C - Castaic Dam, California  
C - Castaic Dam, California

Fig. 6

Détails et dimensions de 3 revêtements en sol-ciment.  
Details and Dimensions of Three Soil-Cement Dam Facings.

- |   |                                 |
|---|---------------------------------|
| (1) Matériau de plus de 75 mm (3 po.)   | (1) Plus 75 mm (3 in) material. |
| (2) Niveau normal de retenue.   | (2) Normal water surface.       |
| (3) Niveau maximal du réservoir (après modification de l'évacuateur de crue). | (3) Ultimate reservoir level.   |
| (4) Sol-ciment.   | (4) Soil-cement.                |
| (5) Zone perméable.   | (5) Pervious zone.              |
| (6) Remblai.  | (6) Embankment.                 |
| (7) Niveau minimal de retenue.  | (7) Minimum water surface.      |
| (8) Berme de 6,1 m (20 pi.).  | (8) 6.1 m (20 ft.) berm.        |
| (9) Couche de 0,15 m (6 po.) d'épaisseur.                                     | (9) 0.15 m (6 in.) thick layer. |

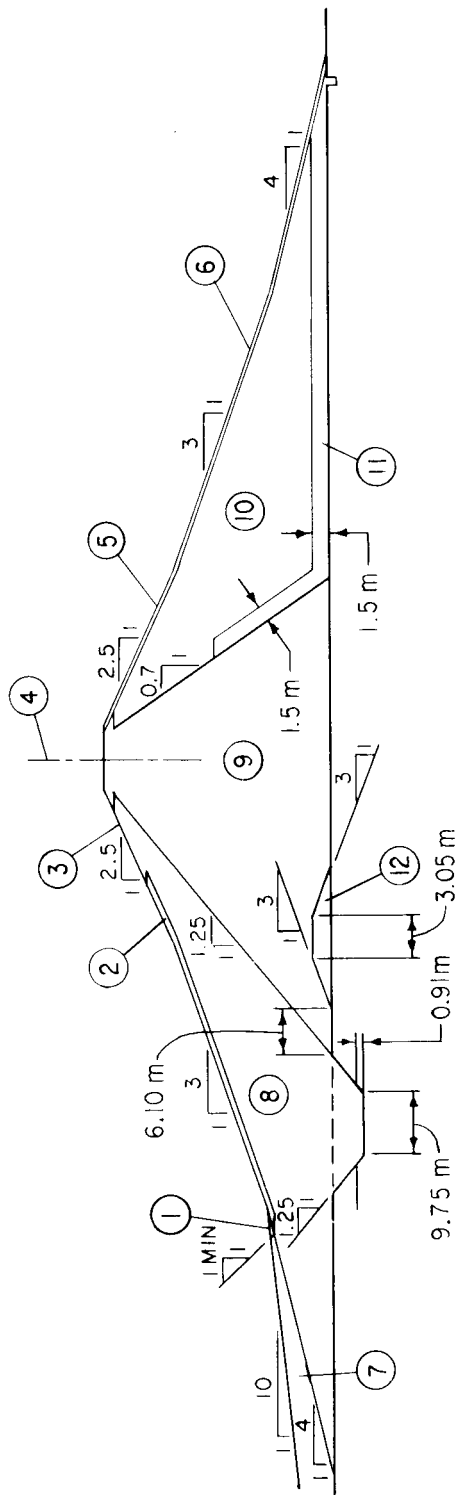


Fig. 7

Coupe type - Barrage Optima, Oklahoma.

Typical Section - Optima Dam, Oklahoma.

- (1) Ne placer le remblai dans cette région qu'après avoir placé le sol-ciment.
- (2) Couche protectrice du talus en sol-ciment.
- (3) Sol de 0,15 m d'épaisseur, hersé, fertilisé, semé et recouvert d'un tapis de fibre de bois.
- (4) Axe du barrage.
- (5) Sol préparé.
- (6) Semé, hersé, fertilisé et recouvert de paille.
- (7) Matériau semi-compacté.
- (8) Noyau imperméable.
- (9) Remblai tout-venant.
- (10) Sable.
- (11) Sable sélectionné.
- (12) Batardeau aval (remblai tout-venant).

- (1) Onit fill placement in this area until soil-cement has been placed.
- (2) Soil-cement slope protection.
- (3) 0.15 m suitable soil, seed, till, fertilize and excelsior mat.
- (4) Centerline dam axis.
- (5) Suitable soil.
- (6) Seed, till, fertilize and mulch.
- (7) Semi-compacted fill.
- (8) Impervious core material.
- (9) Random fill.
- (10) Sand.
- (11) Select sand.
- (12) Downstream cofferdam (random fill).

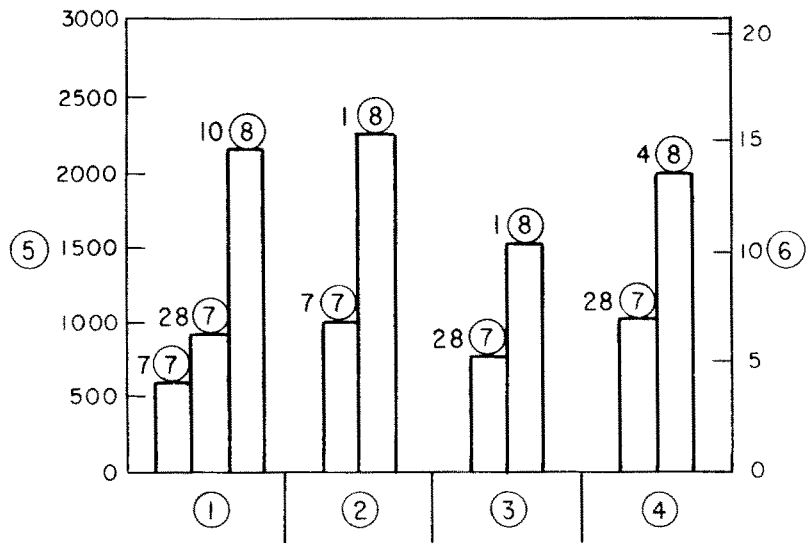


Fig. 8

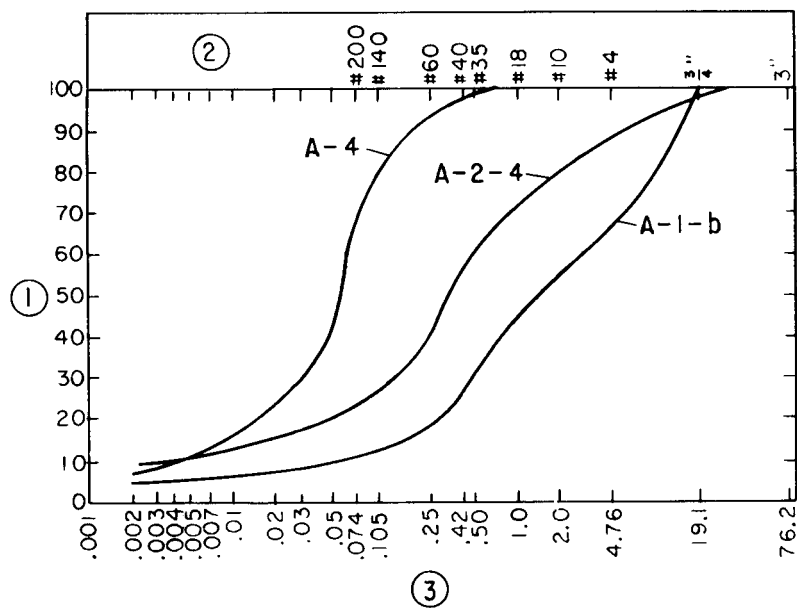
Résistance à la compression des protections de talus en sol-ciment.  
*Strength of Soil-Cement Slope Protection.*

- |   |   |
|---|---|
| (1) Digue d'essai du réservoir Bonny, Colorado. 10 % en volume. | (1) Bonny Reservoir Test Section, Colorado - 10 % volume. |
| (2) Barrage Ute, New Mexico. 9,7 % en volume.                   | (2) Ute Dam, New Mexico - 9,7 % volume.                   |
| (3) Barrage Optima, Oklahoma. 12 % en poids.                    | (3) Optima Dam, Oklahoma - 12 % weight.                   |
| (4) Barrage Glen Elder, Kansas. 14,5 % en volume.               | (4) Glen Elder Dam, Kansas - 14,5 % volume.               |
| (5) Résistance à la compression (lb/in. <sup>2</sup> ).         | (5) Compressive strength (lb/in. <sup>2</sup> ).          |
| (6) Résistance à la compression (MPa).                          | (6) Compressive strength (MPa).                           |
| (7) Jours.  | (7) Days.   |
| (8) Années.   | (8) Years.  |

Sol	% ciment en poids	Résistance MPa	Angle de pente degrés
A-2-4	0	1,4	29
	2	3,4	41
	3	4,0	44
	4	4,8	44
	6	6,2	48
	8	6,9	49
A-1-b	0	0,7	38
	1	1,9	45
	2	2,6	49
	3	3,4	51
	4	5,0	52
	5	6,6	55
A-4	0	0,3	37
	2,5	2,1	46
	5,5	4,5	45
	7,5	5,9	45
	9,5	8,6	45

Fig. 9  
 Résistance triaxiale et teneur en ciment des sols-ciment, après 28 jours de « cure ».  
 Classification des sols de l'American Association of State Highway Officials (AASHO).  
 Voir ci-dessous pour la dimension des particules et les propriétés du sol.

AASHO	Densité sèche standard kg/m <sup>3</sup>	Teneur en eau optimale %	LL, %	PL, %	Pourcentage passant 0,074 mm
A-2-4	1994	10,5	19	4	22
A-1-b	2219	7,8	NP	NP	10
A-4	1834	13,2	NP	NP	74



Soil	Percent cement by weight	Cohesion, MPa	Slope angle, deg. $\phi$
A-2-4	0	1.4	29
	2	3.4	41
	3	4.0	44
	4	4.8	44
	6	6.2	48
	8	6.9	49
A-1-b	0	0.7	38
	1	1.9	45
	2	2.6	49
	3	3.4	51
	4	5.0	52
	5	6.6	55
A-4	0	0.3	37
	2.5	2.1	46
	5.5	4.5	45
	7.5	5.9	45
	9.5	8.6	45

Fig. 9  
 Triaxial strength and cement content for soil-cement after 28 days curing.  
 American Association of State Highway Officials (AASHO) soil classifications.  
 See below for grain size and soil properties.

AASHO	Standard dry density, kg/m <sup>3</sup>	Optimum moisture content, %	LL, %	Pl, %	Percent passing 0.074 mm
A-2-4	1994	10.5	19	4	22
A-1-b	2219	7.8	NP	NP	10
A-4	1834	13.2	NP	NP	74

Légende de la Fig./Captions of the graph.

- (1) Pourcentage de particules inférieures à la dimension indiquée.
- (2) Dimension des tamis suivant normes ASTM.
- (3) Dimension des particules en mm.

- (1) Percentage of particles smaller than size shown.
- (2) ASTM Standard Sieve Sizes.
- (3) Particle size, mm.

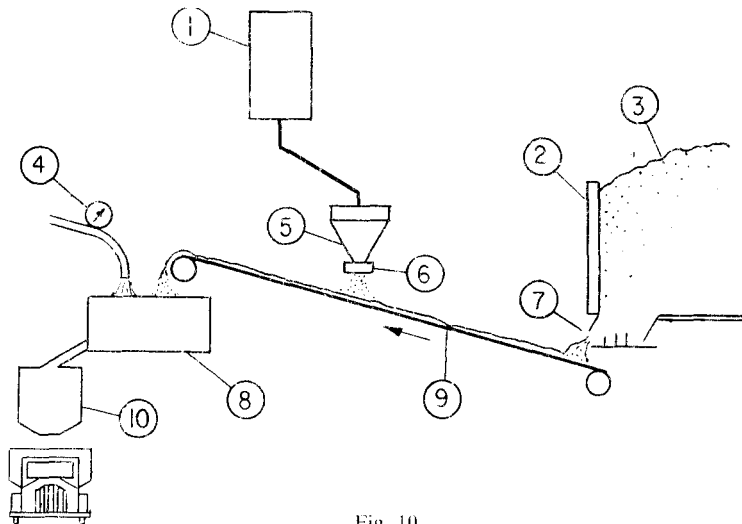


Fig. 10

Schéma d'une centrale de malaxage de sol-ciment à débit continu.

*Diagram for continuous-flow central plant for proportioning and mixing soil-cement.*

- |   |   |
|---|---|
| (1) Silo pour stockage de ciment.   | (1) Cement storage silo.                                  |
| (2) Mur de soutènement.   | (2) Retaining wall.                                       |
| (3) Réserve d'agrégats.   | (3) Soil stockpile.                                       |
| (4) Compteur d'eau.   | (4) Water meter.  |
| (5) Trémie.   | (5) Surge hopper.   |
| (6) Doseur à palettes (mesure le ciment à ajouter au sol sur le transporteur à courroie). | (6) Vane feeder (meters cement on to soil conveyor belt). |
| (7) Alimentation en sol.  | (7) Soil feed.  |
| (8) Malaxeur (débit continu, vis doubles).  | (8) Pug mill mixer (continuous flow - twin screw).        |
| (9) Transporteur à courroie.  | (9) Conveyor belt.  |
| (10) Trémie de stockage.  | (10) Storage hopper.                                      |

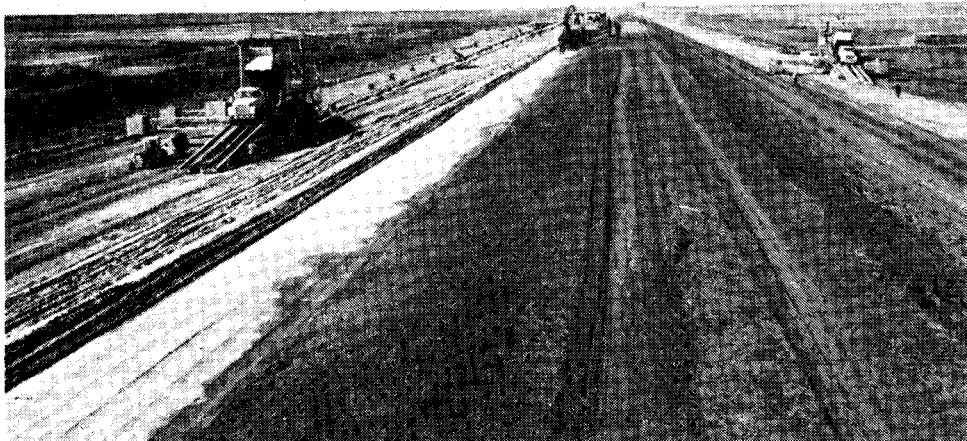


Fig. 11

Deux convoyeurs conçus spécialement pour la mise en place du parement de sol-ciment des deux côtés d'une digue de l'aménagement de South Texas.

*Two specifically designed moving conveyors help place soil-cement slope protection on both sides of an interior dike at the South Texas Project.*

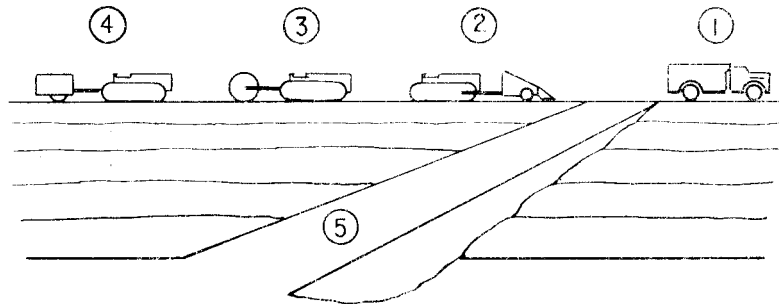


Fig. 12

Méthode type de mise en place du sol-ciment.

*Typical Soil-Cement Placing Operation.*

- |  |   |
|--|---|
| (1) Camion pour transporter le sol-ciment depuis le malaxeur jusqu'au site de mise en place.                     | (1) Truck to haul soil-cement from pug mill to placing area                       |
| (2) Épandeur pour étendre la levée de matériau meuble.   | (2) Spreader to spread loose lift.  |
| (3) Rouleau à pieds de mouton, optionnel, pour compacter la partie inférieure de la levée.                       | (3) Optional sheepfoot roller to compact lower portion of lift.                   |
| (4) Rouleau à pneus pour compacter la partie supérieure de la levée.   | (4) Pneumatic-tired roller to compact upper portion of lift.                      |
| (5) Rampe d'accès (construite à mesure que la mise en place progresse, pour donner accès à la levée supérieure). | (5) Approach ramp (built up as placement proceeds to provide access to top lift). |



Fig. 13

Rouleau vibrant, à cylindre métallique modifié, permettant la mise en place de l'arête extérieure, pour les couches de sol-ciment du réservoir de refroidissement d'eau de la Centrale Martin, en Floride.

*Modified steel wheel vibratory roller producing outside edge for soil-cement layer at Martin Plant cooling water reservoir in Florida.*



Imprimerie de Montligeon  
61400 La Chapelle Montligeon  
Dépôt légal : avril 1986  
ISSN 0534-8293  
Couverture : TILT

***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>*