

***BITUMINOUS CORES
FOR EARTH
AND ROCKFILL DAMS***

**NOYAUX BITUMINEUX
POUR BARRAGES
EN TERRE
ET EN ENROCHEMENT**



***BITUMINOUS CORES
FOR EARTH
AND ROCKFILL DAMS***

**NOYAUX BITUMINEUX
POUR BARRAGES
EN TERRE
ET EN ENROCHEMENT**



Rapport préparé par H. Steffen, (Essen, Rép. Féd. Allemande)
pour le Comité des Matériaux pour Barrages,
Sous-Comité des Matériaux pour Barrages en Remblai.
Traduction française par M. Gasser sous la direction de M. Corda.

*Report prepared by H. Steffen, (Essen, German Fed. Rep.)
for the Committee on Materials for Dams,
Sub-Committee on Materials for Fill Dams.
French translation by Mr. Gasser with the kind supervision of Mr. Corda.*

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**

AVANT-PROPOS

1. INTRODUCTION

2. METHODES DE CONSTRUCTION

 2.1. Méthode de construction du barrage de Vale de Gaio

 2.2. Noyaux en béton bitumineux cyclopéen

 2.3. Noyaux d'étanchéité en béton bitumineux

 2.4. Emploi d'un noyau de béton bitumineux comme étanchéité "rapportée" pour un barrage-poids à remettre en état

 2.5. Construction avec squelette de pierres et remplissage postérieur de bitume pur

 2.6. Emploi d'un noyau bitumineux comme zone de transition semi-perméable

3. BARRAGES AVEC NOYAUX BITUMINEUX

4. PRINCIPES POUR L'ETUDE ET LA CONSTRUCTION DE NOYAUX BITUMINEUX

5. QUELQUES COUPES TYPES DE BARRAGES AVEC NOYAUX BITUMINEUX

6. ESSAIS

7. OBSERVATIONS

8. CONCLUSIONS

9. REFERENCES

**TABLE
OF CONTENTS**

5 FOREWORD

7 1. INTRODUCTION

10 2. CONSTRUCTION METHODS

 2.1. The construction method of the Vale do Gaio dam

 2.2. Bituminous skeleton cores

 2.3. Cores of dense bituminous concrete

 2.4. Bituminous concrete core used as supplementary sealing for a gravity dam which must be repaired

 2.5. Skeleton cores with supplementary filling by bitumen

 2.6. Bituminous core used as a semi-permeable braking zone

14 3. DAMS WITH BITUMINOUS CORES

22 4. PRINCIPLES FOR THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF BITUMINOUS CORES

27 5. SOME TYPICAL CROSS SECTIONS OF DAMS WITH BITUMINOUS CORES

33 6. TESTING

35 7. EXPERIENCES

40 8. CONCLUSIONS

41 9. REFERENCES

Comme le Bulletin 39, ce Bulletin 42 est un COMPLEMENT AU
BULLETIN 32 – Octobre 1977
“Masques amont en béton bitumineux pour barrages en terre et en enrochement”

*Like Bulletin 39 this Bulletin 42 is a SUPPLEMENT TO
BULLETIN 32 – October 1977
“Bituminous Concrete Facings for Earth and Rockfill Dams”*

AVANT-PROPOS

Ce rapport est un complément aux enquêtes faites par le Comité des Matériaux de la CIGB sur l'emploi des mélanges bitumineux pour l'étanchéité des barrages en remblai, et qui font l'objet des Bulletins 32 (1977) et 39 (1981) : on y traite du béton bitumineux pour masques amont et du raccordement de ceux-ci avec la fondation et les rives.

Lors de sa réunion tenue à Téhéran en 1975, le Sous-Comité des Matériaux Nouveaux, appelé en 1977 Sous-Comité des Matériaux pour Barrages en Remblai, a demandé au Comité National Allemand d'étendre ces études aux noyaux bitumineux.

Un premier projet de rapport, établi à partir de la bibliographie existante, d'enquêtes personnelles mais surtout des réponses à un questionnaire envoyé aux maîtres d'ouvrages de barrages à noyaux bitumineux, a été discuté au cours de la réunion du Comité des Matériaux de Rome (1980).

Un deuxième projet, tenant compte des observations reçues, a été diffusé par le Bureau Central début 1981 et approuvé lors de la Réunion Exécutive de Stockholm (1981).

FOREWORD

This report completes the inquiries made by the ICOLD Committee on Materials on the use of bituminous mixes for waterproofing of fill dams, dealt with in Bulletins 32 (1977) and 39 (1981) concerning respectively bituminous concrete for upstream facings and their interface with foundation and abutments.

During its meeting in Tehran in 1975, the Sub-Committee on New Materials renamed in 1977 Sub-Committee on Materials for Fill Dams, asked the German National Committee to extend these studies to bituminous cores.

A first draft report, utilizing the literature concerning this matter, personal inquiries and mainly the replies to a questionnaire sent to the owners of dams with bituminous cores, was discussed during the meeting of the Committee on Materials in Rome (1980).

A second draft report, taking into account the comments received, was circulated by Central Office in early 1981 and approved at the Executive Meeting in Stockholm (1981).

1. INTRODUCTION

Les noyaux bitumineux étanches sont utilisés principalement pour l'étanchéité de barrages en terre ou en enrochement dont le matériau de construction n'est pas ou est insuffisamment étanche. On les emploie surtout dans des régions où les matériaux imperméables naturels ne sont pas disponibles en qualité ou en quantité suffisante. Pour les noyaux d'étanchéité intérieure, les conditions sont semblables à celles pour les masques d'étanchéité extérieurs [réf. 3]. Des différences résultent du fait que le masque d'étanchéité bitumineux est réalisé après exécution des travaux de terrassement, tandis que l'écran d'étanchéité bitumineux intérieur doit être mis en place en même temps que le remblai et doit suivre les déformations de celui-ci. Par suite de leur incorporation dans le massif du barrage, et de la faible surface exposée lors de l'exécution, comparativement à celle d'un masque d'étanchéité externe, jointe à la capacité calorifique élevée du matériau bitumineux, les travaux dépendent peu des conditions de climat. La position de l'écran d'étanchéité à l'intérieur du barrage comporte une bonne protection contre la détérioration par des facteurs externes ; par contre, les réparations éventuellement nécessaires sont difficiles à exécuter si elles sont d'une certaine ampleur.

Les caractéristiques d'un noyau bitumineux étanche sont très semblables à celles d'un masque bitumineux extérieur, en ce qui concerne le matériau. La réf. 1 indique en particulier les propriétés suivantes pour les deux types de réalisation :

1. une faible perméabilité,
2. une résistance suffisante vis-à-vis des contraintes,
3. une flexibilité suffisante pour s'adapter aux déformations du barrage sans risque de fissuration,
4. la résistance au vieillissement, et, en outre, dans le cas du noyau :

1. INTRODUCTION

Bituminous cores are especially used as dense cores in earth rockfill dams, and in some cases are used as a braking-zone in a dam with an upstream facing to improve the security of the construction. They are mainly used in areas where natural impermeable materials of sufficient quality or quantity are not available. For dense bituminous cores similar conditions are valid as for bituminous concrete facings, as described in the report of Dr. Bertacchi [Ref. 3]. Differences are that the core is situated in the dam and must have the same deformations as the supporting shells, and that bituminous concrete facings are built after completing earth works, whereas bituminous cores are built together with their embankments. Due to the small exposed working area of bituminous cores in combination with the heat capacity of their bituminous material they have only a small dependence upon the climate. The location of a bituminous core used as the impermeable element in a dam means that it is protected against destruction by external influences. On the other hand major repairs are difficult to execute.

The characteristics of a dense bituminous core are very similar to those of a bituminous concrete facing as far as the material is concerned. Properties specified for both in "Ref. 1" are :

1. Low permeability, to allow perfect watertightness ;
2. Sufficient resistance to loading forces ;
3. Sufficient flexibility to conform to deformations of the embankment without cracks ;
4. Resistance to ageing ; and in addition, in the case of bituminous concrete cores :

5. une bonne capacité d'auto-réparation en cas de petites fuites, jointe à une bonne stabilité à l'érosion,
6. une bonne liaison entre le béton bitumineux et le matériau de la digue,
7. la possibilité de prévoir la capacité de charge et la flexibilité du noyau bitumineux de manière à obtenir un même ordre de grandeur pour les interactions mutuelles et les mouvements du noyau d'étanchéité et du corps du barrage.

La mise au point de noyaux bitumineux a débuté en 1948, sur le barrage de Vale de Gaio au Portugal : une couche d'étanchéité en mastic bitumineux, de 10 à 20 cm d'épaisseur, a été mise en place en forme de noyau incliné (pente d'environ 1/0,8), entre un coffrage et un mur en pierres brutes de carrière réalisé à la main, mais ce type d'écran d'étanchéité intérieur ne s'est pas développé davantage. Puis, en 1954, on a mis en service le noyau en béton cyclopéen, qui initialement avait été prévu en Allemagne comme sécurité supplémentaire pour les barrages avec masque d'étanchéité de béton bitumineux ; ceci avait pour but de protéger les populations situées en aval contre les dégâts par faits de guerre. Ce mode de construction a été utilisé en Autriche dès 1957 pour le barrage de Rotgülden, où il a constitué l'unique étanchéité. On a mis au point en 1962 un procédé employant le béton bitumineux comme noyau d'étanchéité, permettant l'exécution par des moyens mécaniques. La méthode a été largement mise en application dans les années suivantes. Vers le milieu des années 1960, on a repris en France la technique du béton cyclopéen, que l'on a adaptée à de nouvelles possibilités techniques en modifiant la composition du matériau et l'épaisseur de couche. En outre, en 1966, on a utilisé un noyau bitumineux en vue de remettre en état un barrage-poids en béton et, en 1969, on a appliqué le même

5. A good self-healing capacity in the case of small leakages combined with resistance to erosion ;
6. A good contact between the bituminous concrete and the materials of the embankment ;
7. The design of the loading capacity and the flexibility of the bituminous concrete so that corresponding forces and movements of core and embankment are in the same range.

The development of dense bituminous cores started in 1948 with the dam Vale do Gaio in Portugal. Bituminous mastic of a thickness of 10-20 cm was placed as a core at an incline of 1 : 0.8 between a built masonry wall and the embankment, but this type of dense bituminous core did not develop. Then in 1954 the cyclopean mortar core came into use, which in Germany was originally provided as additional security for a dam with bituminous concrete facing in order to protect any population living downstream of it from eventual destruction of the dam caused for instance by war. A cyclopean mortar core was also used in the Rotgülden dam (Austria) in 1957, and in the Henne dam (Germany F.R.) as the sole impermeable element. In 1962 a form of dense bituminous concrete core was developed which permitted mechanical placing, and the method used has largely been adopted since that time. In the nineteen-sixties the cyclopean mortar core was developed further by France, and by changing its material composition and layer-thickness was adapted to new technical possibilities. Also, in 1966, a bituminous core was used in one instance in front of a gravity-type concrete dam to restore its impermeability. In 1969 a form of skeleton construction was carried out at a small remote dam using bitumen (cyclopean bituminous core) in Norway. In 1978 in a rockfill dam with a bituminous concrete facing, an additional

procédé pour un petit barrage difficilement accessible, avec emploi de béton bitumineux cyclopéen.

Au cours de l'année 1978, on a réalisé, dans un barrage en enrochement avec masque d'étanchéité bitumineux, une étanchéité supplémentaire au moyen d'un noyau construit par remplissage d'une tranchée par un mélange de sable et de bitume.

core was constructed by filling sand bitumen into a trench.

2. METHODES DE CONSTRUCTION

2.1. Méthode de construction du barrage de Vale do Gaio.

Sur la face amont du massif de recharge aval, on a construit un mur en moellons, avec une pente d'environ 1/0,8 ; sur ce mur, on a appliqué une couche de béton maigre comme dispositif de drainage. On a ensuite placé un matériau semblable à un mastic bitumineux, avec agrégats d'une granulométrie maximale de 9 mm, entre cette couche de béton maigre et un coffrage en bois ; ce matériau a ensuite été compacté par damage. Le massif de recharge amont a été ensuite mis en place par couches successives [réf. 2].

Ce mode de construction, — mastic bitumineux entre ouvrages de maçonnerie, — est désigné dans le texte sous l'appellation "BMM" — (bituminous mastic between masonry).

2.2. Noyaux en béton bitumineux cyclopéen

D'une manière générale, le noyau est réalisé entre des zones de transition, en même temps que les massifs de recharge aval et amont. La mise en place entre coffrages s'effectue de manière telle qu'un béton bitumineux, surdosé en bitume et en filler, est introduit tout d'abord entre des coffrages ; on y insère ensuite, par vibration, de grosses pierres propres et sèches. Une fois que chaque couche est en place, on déplace les coffrages et, par compactage des zones de transition, on réalise une bonne liaison entre celles-ci et le noyau bitumineux. La stabilité du noyau est assurée par les grosses pierres qui constituent un squelette ; le mortier enrobe ces pierres et ne doit pas pouvoir pénétrer dans les zones de transition. Dans les années 1954 — 1962, des noyaux en béton cyclopéen ont été réalisés en couches d'environ 25 — 50 cm

2. CONSTRUCTION METHODS

2.1. The construction method of the Vale do Gaio dam

A pack wall made of rubble masonry was constructed on the upstream face of the downstream supporting shell at an incline of about 1 : 0.8, and faced with a lean concrete layer as a drainage layer. Material similar to bituminous mastic with a max. aggregate size of 9.0 mm was then placed between this lean concrete layer and a wooden shutter, and compacted by tamping. The upstream supporting shell followed and was placed in layers [Ref. 2].

This form of construction, i.e. bituminous mastic between masonry structures is referred to in the text as "BMM".

2.2. Bituminous skeleton cores

In general the core will be built up between transition zones at the same time as the downstream and upstream supporting shells. Placing between shutters is done in such a way that a bituminous concrete, overfilled with bitumen and filler, is first placed within the formwork and then clean and dry coarse stones are vibrated into it. After each layer has been placed, the shutters are moved, and by compacting the transition zones a bond between them and the bituminous core is established. The stability of the system is achieved by the large stones which form a skeleton ; the mortar, covering these stones, has to be incapable of penetrating the transition zones. In the years 1954 — 1962 bituminous skeleton cores were built in layers of about 25 — 50 cm thickness in Germany and Austria, in five dams (method of plac-

d'épaisseur, sur cinq barrages en Allemagne et en Autriche, (mode de mise en place 2, Tableau III). En France, on a opéré, au milieu des années 1960, par couches de 50 – 100 cm d'épaisseur sur cinq barrages, [voir réf. 7.1]. (Mode de mise en place 2, Tableau III). Dans certains de ces barrages, le béton utilisé était si mou que les pierres y ont pénétré sans aucun compactage supplémentaire ; [réf. 41, 10, 39, 28 + 35]

Ce mode de construction, – noyau de béton cyclopéen, – est désigné dans le texte sous l'appellation "CMC" (cyclopean mortar core).

2.3. Noyaux d'étanchéité en béton bitumineux

Ces noyaux sont réalisés, ainsi que leurs zones de transition, en des épaisseurs de couches d'environ 20 – 25 cm la plupart du temps. Il existe pour ces travaux deux systèmes brevetés de construction par engins mécaniques. Dans un système (Strabag), le noyau bitumineux est mis en place en même temps que les zones de transition, et compacté avec ces zones, immédiatement après extraction d'un coffrage glissant. La plupart des noyaux en béton bitumineux dense existants ont été réalisés par ce procédé, (mode de mise en place 3, Tableau III). Dans le second procédé (Teerbau), mis au point plus tard, une partie du noyau bitumineux dense est placée entre des coffrages glissants et compactée mécaniquement jusqu'à ce que le noyau puisse se tenir par lui-même. Le matériau de transition est alors mis en contact avec le noyau, et les deux subissent ensemble un nouveau compactage, (mode de mise en place 4, Tableau III). Jusqu'à ce jour, on a construit trois barrages par ce procédé [réf. 32, 38, 29, 23, 14 + 24].

Ce mode de construction, – noyau de béton bitumineux dense, – est désigné dans le texte sous l'appellation "DBCC", (dense bituminous concrete core).

ing 2, Table III). Layers 50 – 100 cm thickness were used in five dams in France in the nineteen-sixties. In some of these dams the mortar used was so soft that the stones penetrated into it without any additional compaction, and some experiences are mentioned under "7.1.". [Refs. 41, 10, 39, 28 + 35].

This form of construction, i.e. a cyclopean mortar core, is referred to in the text as "CMC".

2.3. Cores of dense bituminous concrete

These are built up together with their transition zones in layer thicknesses of about 20 – 25 cm and usually by one of two machine-laying systems which are patented. In one system (Strabag) the bituminous core is placed together with the transition zones, and immediately after leaving a slipform is compacted together with the material of the transition zones. Most of the existing dense bituminous cores have been built using this method (method of placing 3, Table III). With regard to the second system (Teerbau), which was developed later, a layer of the dense bituminous concrete core is placed between slipforms and is compacted until the core is able to stand unsupported. The transition material is then brought to the core and both are given further compaction together (method of placing 4, Table III). To date three dams have been built using this method [Refs. 32, 38, 29, 23, 14 + 24].

This form of construction, i.e. a dense bituminous concrete core, is referred to in the text as "DBCC".

2.4. Emploi d'un noyau de béton bitumineux comme étanchéité "rapportée" pour un barrage-poids à remettre en état.

Entre le barrage-poids et des plaques de béton armé exécutées au moyen de coffrages glissants on introduit un béton bitumineux facilement compactable. La plaque de béton armé est ancrée au barrage-poids, et y subsiste comme protection. C'est ce procédé qui a été utilisé pour le barrage de l'Agger en Allemagne, [réf. 13, 36].

Ce procédé de construction comportant l'apport d'un béton bitumineux dense entre des structures en maçonnerie est appelé dans le texte "DBCM" (dense bituminous concrete between masonry).

2.5 Construction avec squelette de pierres et remplissage postérieur de bitume pur.

Cette méthode a été adoptée pour un petit barrage difficilement accessible, afin de réduire le coût de mise en place d'un noyau bitumineux. Dans une tranchée, on déverse des granulats 20 – 70 mm, qu'on arrose ensuite de bitume. La hauteur des couches peut varier entre 20 et 30 cm, selon la profondeur de pénétration du bitume chaud. La condition préalable à ce mode de construction est la présence d'une zone de transition bien graduée et de granulométrie fine. Jusqu'à présent, on a construit par ce procédé un barrage de 12 m de hauteur, le barrage de Grasjø en Norvège [réf. 26, 27].

Ce mode de construction, — noyau en béton cyclopéen bitumineux, — est appelé dans le texte "CAC" — (cyclopean asphalt core).

2.6. Emploi d'un noyau bitumineux comme zone de transition semi-perméable.

A Wehebach, — barrage en enrochement avec revêtement extérieur bitumi-

2.4. Bituminous concrete core used as supplementary sealing for a gravity dam which must be repaired

On the upstream side of the gravity dam a reinforced concrete slab is built with slipforms, and the space between the slab and the dam is filled with an easily compactable bituminous concrete. The concrete slab is anchored to the concrete of the gravity dam and remains as a protective and confining casing. To date one concrete dam has been restored by this method, i.e. the Agger dam in Germany [refs. 13, 36].

This form of construction, i.e. dense bituminous concrete between masonry structures is referred to in the text as "DBCM".

2.5. Skeleton cores with supplementary filling by bitumen

This method was adopted for a small remote dam to reduce the installation costs of a bituminous core. Aggregates for the core were placed between shutters, and then a filter-stable transition material was placed and compacted. After removing the shutters a 180/200 penetration bitumen at a temperature of approx. 170°C was poured into the aggregate. Using this method one dam, the Grasjø dam in Norway with a height of 12.0 m., has been built to date [Refs. 26, 27].

This form of construction, i.e. a cyclopean bituminous core, is referred to in the text as "CBC".

2.6. Bituminous core used as a semi-permeable braking zone.

At Wehebach — a rockfill dam with a bituminous concrete facing — an additio-

neux, — on a réalisé un noyau bitumineux supplémentaire dans une tranchée d'environ 80 cm de largeur. La tranchée a été creusée dans la zone de transition au cours de la construction et remplie d'un sable bitumineux de perméabilité inférieure à $K = 10^{-5}$ m/s. Le sable a été introduit dans la tranchée avec une légère surépaisseur, afin que le damage produise un tassement aussi uniforme que possible de l'ensemble de la zone. L'application de ce procédé peu coûteux à des noyaux bitumineux denses ne paraît pas possible dans l'immédiat.

Ce mode de construction, — noyau de sable bitumineux perméable, — est appelé dans le texte "PBSC" (permeable bituminous sand core).

nal bituminous core was built into a trench some 80 cm wide. The trench was cut into each layer of the transition zone during construction and filled with sand bitumen with a permeability of less than $K_f = 10^{-5}$ m/s. The trench was overfilled with this bituminous material so that compaction secured a nearly equal compaction of the whole layer. The application of this low-cost placing method to dense bituminous cores does not seem to be possible up to the present.

This form of construction, i.e. a permeable bituminous sand core, is referred to in the text as "PBSC".

3. BARRAGES AVEC NOYAUX BITUMINEUX

Un total de 40 barrages avec noyaux bitumineux a été réalisé ou est en cours de construction. 36 de ces ouvrages ont un noyau bitumineux dense, trois ont été conçus avec le noyau comme zone de sécurité supplémentaire, et un comporte un noyau utilisé comme réparation d'un barrage-poids.

Le Tableau 1 donne la répartition des barrages par pays avec indication du barrage le plus ancien, du barrage le plus récent, et du barrage le plus haut. Le tableau est disposé de façon à faire apparaître le nombre de barrages avec noyaux bitumineux réalisés dans chaque pays.

En Allemagne, on a construit 14 barrages avec un noyau bitumineux compact comme seul élément d'étanchéité ; trois ont été réalisés avec un noyau bitumineux comme zone de sécurité complémentaire, et un a été construit en vue de réparer un barrage-poids. Huit de ces barrages ont une hauteur de plus de 30 m ; sept se situent entre 15 et 30 m, et trois ont moins de 15 m de hauteur. Quatre barrages ont été construits avec noyau de béton cyclopéen bitumineux (CMC), 12 avec noyau de béton bitumineux compacté, et deux par d'autres méthodes. Le barrage le plus ancien a été terminé en 1954, et le plus récent en 1977 ; 3 autres barrages sont encore en construction. Le barrage le plus haut, avec noyau bitumineux compact, est celui de la Kleine Kinzig, avec une hauteur de 67,5 m. Une superficie totale de 88 000 m² de noyaux bitumineux a été réalisée.

En France, on a construit 5 barrages avec noyau en béton bitumineux ; tous l'ont été par la technique du noyau en béton cyclopéen. La construction a eu lieu dans le cadre d'un aménagement unique au cours de l'année 1969. Trois de ces barrages ont moins de 15 m de hauteur, et deux sont compris entre 15 et 30 m. Tous les noyaux ont été conçus comme seul élément imperméable. Le

3. DAMS WITH BITUMINOUS CORES

A total of 40 dams with bituminous cores have now been constructed or are under construction. 36 of them have a dense bituminous core, three were designed with the core as an additional braking-zone, and one has a core used as a restoration for a gravity dam.

Table 1 shows the distribution of the dams by countries, and gives information about the earliest and the latest dam and the highest dam in each country. The table is arranged in order according to the number of dams with bituminous cores built in each country.

In Germany (F.R.) 14 dams have been built with a dense bituminous core as the only impermeable element, three have been built with a bituminous core as an additional braking-zone, and one has been built to restore a gravity dam. Eight of these dams have a height of about 30.0 m., seven are between 15.0 and 30.0 m., and three dams have a height of lower than 15.0 m. Four dams have been built with a cyclopean mortar core (CMC) 12 with a dense bituminous concrete core (DBCC) and two by other methods (DBCM and PBSC). The earliest dam was finished in 1954, and the latest is due in 1978/81, including three dams under construction. The highest dam in Germany with a dense bituminous core is the Kleine Kinzig with a height of 67.5 m. A total area of 88,000 m² of bituminous cores has been constructed.

In France five dams have been built with a cyclopean mortar core (CMC), and all construction took place within the scope of a single project in the year 1969. Two of these dams have a height between 15.0 m and 30.0 m., and three have a height lower than 15.0 m. All cores were designed as the sole impermeable element. The highest dam is Lastioules Sud with a height of 28.0 m. A total area of 16,000

TABLEAU I - TABLE I

Pays Country	Nombre d'ouvrages Number of projects				Renseignements sur des ouvrages particuliers Information on particular projects			Surface totale pour chaque pays des noyaux bitumineux mesurée en section longitudinale Total area per country of bitumi- nous core measured in longitudinal section m ²
	Total	Noyau en /Core with			Nbre d'ouvrages No. of dams	Barrage le plus élevé (hauteur en m) Highest dam (height in m)	Ouvrage le plus récent et le plus ancien 1st and latest projects	
		Béton bitumineux Bituminous concrete	Béton cyclopéen Cyclopean mortar	Autres matériaux bitumineux Other bituminous materials				
Germany F.R. R.F.A.	18	10	4	1	7	Kleine Kinzig 67.5	Henne 1954 Kleine Kinzig 1978/81	88.000
France	5	-	5	-	2	Lastioules Sud 28	Sepouse 1969 -	16.000
Austria Autriche	3	2	1	-	2	Finstertal 92	Rotgündensee 1957 Finstertal 1977/81	53.000
Norway Norvège	4	3	-	1	2	Katlavatn 35	Grasjo 1969 Langavatn 1979/81	4.900
Hong Kong	2	2	-	-	2	High Island East Dam 105	High Island 1977 -	85.000
Japan Japon	2	2	-	-	2	Buri 15	Kitazawa 1978 Buri 1979	5.000
Great Britain Grande-Bretagne	2	2	-	-	2	Megget 56	Megget 1978/81 Sulby Reservoir 1979/80	ca. 32.500
Ecuador Equateur	1	1	-	-	1	Poza Honda 28	Poza Honda 1970 -	3.000
Chile Chili	1	1	-	-	1	Laguna de los Cristalos 31	Laguna de los 1976 Cristalos	5.000
Ethiopia Ethiopie	1	1	-	-	1	Lagadadi 26	Lagadadi 1969 -	1.000
Portugal	1	-	-	1	1	Vale do Gaio 44	Vale do Gaio 1948 -	

barrage le plus haut est celui de Lastioules Sud, d'une hauteur de 28,0 m. On a réalisé une superficie totale de 16 000 m² de noyaux en béton cyclopéen.

En Norvège, quatre barrages ont été construits ou sont en cours de construction. Le barrage de Grasjø a été construit en 1969, d'une hauteur de 12 m. Les trois autres barrages ont une hauteur de 25 à 35 m ; la construction de ces ouvrages va débiter en 1979.

En Autriche, on a construit trois barrages avec noyau bitumineux. Deux ont moins de 30 m de hauteur, et un, celui du Finstertal, a une hauteur de 92 m. Un barrage a été construit par la méthode du noyau en béton cyclopéen, et les deux autres avec noyau étanche en béton bitumineux dense. Tous les noyaux constituent l'unique élément d'étanchéité. Le premier barrage a été construit en 1957, et celui du Finstertal est encore en construction. Après finition de ce dernier, on aura réalisé 53 000 m² de noyaux.

A Hongkong, deux barrages avec noyaux en béton bitumineux ont été construits en 1977. Celui de l'Est est, avec une hauteur de 105 m, le plus élevé que l'on ait réalisé jusqu'ici avec noyau bitumineux.

En Grande-Bretagne, deux barrages sont en cours de construction, d'une hauteur de 32 et 56 m.

Au Japon, deux barrages avec noyaux de béton bitumineux compact sont en cours de réalisation, d'une hauteur de 15 m chacun.

En Ethiopie, au Chili, en Equateur, en Grande-Bretagne et au Portugal, on a construit un barrage avec noyau bitumineux dans chaque pays.

En Equateur, le Barrage de Poza Honda est d'un type inhabituel, en ce sens que le noyau bitumineux a été placé, au pied du barrage, sur du tuf solide, dans une couche alluviale, et que l'étanchéité a été continuée, sur le parement du barrage, sous forme d'un revêtement bitumineux externe.

m² of cyclopean mortar cores (CMC) has been constructed.

In Norway four dams have been built or are under construction. The Grasjø dam was built in 1969 with a height of 12.0 m. The other three dams have a height of 25.0 m to 35.0 m ; the construction of them will start in 1979.

In Austria three dams have been built with bituminous cores : two dense bituminous concrete cores, and one a cyclopean mortar core. All cores were designed as the sole impermeable element. The first dam was built in 1957, and the latest is due in 1977/81. The highest dam is Finstertal still under construction, with a height of 92.0 m and the others are lower than 30.0 m. A total area of 53,000 m² of cores will have been constructed after the completion of the Finstertal dam.

In the Crown Colony of Hong Kong two dams have been built with bituminous concrete cores and both were finished in 1977. With a height of 105.0 m the East dam is to date the highest dam built with a bituminous core.

In Great Britain 2 dams are under construction with a height of 32.0 m and 56.0 m.

In Japan two dams with dense bituminous concrete cores are under construction, each having a height of 15.0 m.

In Chile, Ethiopia, Portugal, Great Britain and Ecuador respectively one dam has been built with a bituminous core.

The Poza Honda dam in Ecuador is unusual in its construction, in that a vertical bituminous concrete core was built, within a coffer dam as an impermeable membrane in the alluvial material founded on a solid tuff at the upstream toe of the dam and continued on the dam's upstream face as a bituminous concrete

29 de ces 40 barrages ont un noyau vertical, et quatre inclinés, ceci en vue d'assurer, dans les parties hautes, une meilleure adaptation aux tassements différentiels des massifs amont et aval. La pente de ces parties supérieures est d'environ 1/0,25 ; un barrage a une pente de 1/1 ; un autre encore a une pente de 1/0,8. Dans les huit autres barrages, la pente varie entre 1/0,4 et 1/0,58.

En classant les barrages avec noyaux bitumineux selon leur hauteur (voir Tableau II), on voit que dix barrages ont une hauteur supérieure à 50 m. Sept d'entre eux comportent un noyau bitumineux comme seul élément d'étanchéité supplémentaire. Le barrage le plus ancien, dépassant 50 m, avec noyau bitumineux comme unique élément imperméable, est celui de Wiehl, terminé en 1971, d'une hauteur de 54,0 m.

Le Tableau III donne une liste de barrages avec noyaux bitumineux classés par dates de construction, et donne de plus les renseignements suivants destinés à compléter le Tableau II :

- inclinaison du noyau,
- granulométries et épaisseurs des zones de transition,
- type de parafouille,
- mode de mise en place,
- matériau de soutènement.

L'épaisseur minimale est utilisée au barrage de Vale de Gaio, avec 10 cm et 20 cm, et au barrage de l'Agger avec 12 cm. A l'exception de ces deux cas particuliers, les épaisseurs des autres noyaux se situent entre 40 et 120 cm ; il ne paraît pas possible d'établir une corrélation entre l'épaisseur des noyaux et la hauteur des barrages, en particulier parce que, dans les barrages les plus anciens, on a parfois utilisé de fortes épaisseurs pour des hauteurs relativement faibles. Pour les barrages plus modernes, au-delà d'une certaine hauteur, il sem-

blait former un élément imperméable, formant un élément imperméable composé (voir Fig. 5).

29 of the 40 dams listed in Table I have a vertical core, including four with an incline of 1/0.25 in their upper sections to achieve – under the particular conditions in the upper zones – better adaptation to the differential settlements of the upstream and downstream fills. One core has an incline of 1/1, and another an incline of 1/0.8. In the other eight dams the cores have an incline of between 1/0.4 and 1/0.58.

By classifying dams with bituminous cores in order by height (see Table II) it can be seen that ten dams have a height of more than 50.0 m. Of these seven have a bituminous core as their sole impermeable element, and three as an additional braking-zone. The oldest dam with a height of more than 50.0 m with a bituminous core as its sole impermeable element is the Wiehl main dam with a height of 54.0 m finished in 1971.

Table III lists dams with bituminous cores in order according to their year of construction, and in addition to Table II information also shows :

- the inclination of the core.
- the gradings and thicknesses of the transition zones.
- the type of cut-off wall in the foundation.
- the method of placing.
- the embankment material.

The thicknesses of 10 cm and 20 cm for the Vale do Gaio dam and 12 cm for the Agger dam are exceptional. Thicknesses of other cores lie between 40 cm and 120 cm and relationship between the core thickness adopted and the height of the dam cannot generally be deduced, especially since, in older dams, large thicknesses have sometimes been used in low dams. Considering more modern dams, above a certain height there seems to be a relationship, i.e. the core thickness is often about 1 % of the dam's height. In some dams the core thickness

TABLEAU II – TABLE II

Groupes de hauteurs <i>Height categories</i>	No.	Nom du barrage <i>Name of dam</i>	Hauteur <i>Height</i> m	Epaisseur <i>Thickness</i> m	Noyau bitumineux sous forme d'élément étanche unique. Matériau utilisé. <i>Bituminous core as sole impermeable element.</i> <i>Material used.</i>	2 ^{ème} élément imperméable ou semi-imperméable. Matériau utilisé. <i>Second impermeable or semi-impermeable element.</i> <i>Material used.</i>
50 m	28	High Island East	105	120/80	DBCC	—
	32	Finstertal	92	70/60/50	DBCC	—
	27	High Island West	90	120/80	DBCC	—
	35	Kleine Kinzig	67.5	65/50	DBCC	—
	37	Dhünn (main dam) (barrage principal)	62.5	60	DBCC	—
	2	Henne	58	100	—	CMC
	34	Megget	57	80/60	DBCC	—
	6	Biggs	55	85	—	CMC
	20	Wiehl (main dam) (barrage principal)	54	60/50/40	DBCC	—
	31	Wehebach	53	100	—	PBSC
30 m to 50 m	1	Vale do Gaio	45	20/10	BMM	—
	9	Agger	40	12	DBCM	—
	5	Dhünn (upstream dam) (barrage amont)	35	70/60/50	DBCC	—
	26	Laguna de los Cristalos	31	60	DBCC	—
	36	Vesterdalstjern	32	50	DBCC	—
	40	Sulby Reservoir	32	75	DBCC	—
	38	Katlavatn	35	50	DBCC	—
15 m to 30 m	10	Eberlaste	28	60/50/40	DBCC	—
	13	Lastioules Sud	28	85	CMC	—
	19	Poza Honda	28	60	DBCC	—
	17	Lagadadi	26	60	DBCC	—
	25	Eixendorf	26	60/40	DBCC	—
	39	Langavatn	25	50	DBCC	—
	4	Rotguldensee	22	120	CMC	—
	7	Bremge	22	50	DBCC	—
	21	Wiehl Meiswinkel	22	50/40	DBCC	—
	8	Eichhagen	21	90/80/70	CMC	—
	14	Lastioules Nord	21	85	CMC	—
	23	Wiehl (main upstream dam) (barrage principal amont)	18	60/50/40	DBCC	—
	24	Eicherscheid	18	40	DBCC	—
	11	Mauthaus	16	40	DBCC	—
30	Kitazawa	15	60	DBCC	—	
33	Buri	15	50	DBCC	—	
Under 15 m en-dessous de 15 m	22	Wiehl Finkenrath	14	40	DBCC	—
	3	Wahnbach	13	60/100	CMC	—
	18	Grasjo	12	50	CBC	—
	29	Andrift	12	50	DBCC	—
	16	La Jarrige Sud	11.5	85	CMC	—
	12	Sepouse	11.5	85	CMC	—
	15	La Jarrige Nord	10	85	CMC	—

ble exister une relation, et l'épaisseur du noyau est souvent d'environ 1% de la hauteur du barrage. Dans certains barrages, on augmente l'épaisseur du noyau selon la pression de l'eau, l'accroissement se situant d'ordinaire dans une fourchette de 10 à 20 cm. On a trouvé que les anciens noyaux réalisés en béton cyclopéen, pour des barrages de hauteur assez faible, sont adaptés à la granulométrie des pierres enrobées formant squelette, et sont généralement plus épais qu'il ne serait strictement nécessaire. Pour des raisons techniques de construction, il faut une épaisseur minimum d'environ 80 cm lorsqu'on utilise des granulats de très grosses dimensions tandis que, lorsqu'on se sert de pierres mesurant moins de 200 mm, une épaisseur de 60 cm est possible ; lorsqu'on emploie du ballast jusqu'à une dimension de 75 mm, comme en Norvège, une épaisseur de 50 cm a été reconnue suffisante.

is increased according to the water pressure, the increase usually lying within the range 10 cm to 20 cm. It has been found that early cores constructed in cyclopean mortar for lower dams adjusted to the particle size of the vibrated stone-skeleton, and in general are thicker than is strictly necessary. For constructional reasons, a minimum thickness of about 80 cm seems necessary when rather coarse aggregates are used, whereas when stones smaller than 200 mm are used, a thickness of 60 cm is possible, and when coarse gravel up to 75 mm size was used in Norway, a thickness of 50 cm was found to be sufficient.

TABLEAU III - TABLE III

Barrages avec noyau en béton, classés par ancienneté.
Dams with bituminous core, classified by age.

No.	Année Year	Nom du barrage Name of dam	Pays Country	Hauteur Height m	Epaisseur Thickness cm	Pente Incl.	Type de noyau bitumineux Kind of bituminous core		Zone de transition Epaisseur (cm) Granulométrie (mm) Thickness (cm) Grading (mm)		Type de mur para- fouille Cut off wall type	Mode de pose Method of placing	Matériau de remblai Embank- ment material
							Element unique imperméable élément	Element secondaire élément	Amont Up- stream	Aval Down- stream			
1	1948	Vale Do Gaio	Portugal	45	20,10	1 : 0,8	BMM	CMC	20	20		2	R
2	1954	Henne	Germany F.R.	58	100	1 : 0,5							R
3	1957	Wahnbach (Upstream dam)	Germany	13	69,100	1 : 0	CMC						
4	1957	Roiguldensee (barrage amont)	Austria	22	120	1 : 1	CMC			2)	2		R
5	1962	Dhünn (upstream dam) (barrage amont)	Germany	35	70,60	1 : 0	DBCC				3		R
6	1962	Bigge	Germany F.R.	55	85	1 : 0,58		CMC	150	150	2)	2	R
7	1962	Bremge (upstream dam)	Germany	22	50	1 : 0	DBCC		150	150	2)	3	R
8	1964	Eichhagen (upstream dam)	Germany	21	90,80	1 : 0	CMC		200	200	2)	2	R
9	1966	Agger	F.R.	40	70	1 : 0,05	DBCC		150	150			Béton
10	1968	Eberlaste	Austria	28	60,50	1 : 0	DBCC		200	200	2)	3	Concr.
11	1969	Mauthaus	Germany F.R.	16	40	1 : 0	DBCC		120	120	2)		E
12	1969	Sepouse	France	11,5	85	1 : 0,4	CMC		150	150	2)		
13	1969	Lastiouilles Sud	France	28	85	1 : 0,4	CMC		200	200	2)	3	
14	1969	Lastiouilles Nord	France	21	85	1 : 0,4	CMC		120	120	2)		
15	1969	La Jarrige	France	10	85	1 : 0,4	CMC		150	150	2)		
16	1969	La Jarrige Nord	France	11,5	85	1 : 0,4	CMC						
17	1969	La Jarrige Sud	France	26	60	1 : 0	DBCC		180	180		3	R
18	1969	Lagadadi	Ethiopia	12	50	1 : 0	CBC		100	100			
19	1970	Grasjo Poza Honda	Norway Ecuador	60	60	1 : 0	DBCC for		10	100		3	R

20	1971	Wiehl (Main dam)	Germany	54	60.50	1 : 0	lower part DBCC	150	150	1)	3	R
21	1971	Wiehl Meis- Winkel	F.R.	22	40	1 : 0	DBCC	150	150	2)	3	R
22	1972	Wiehl	F.R.	14	14	1 : 0	DBCC	150	150	2)	3	R
23	1972	Finkenrath	Germany	18	50.40	1 : 0	DBCC	150	150	1)	3	R
24	1974	Wiehl (Main upstr. dam)	F.R.	18	40	1 : 0	DBCC	150	150	3)	3	E
25	1975	Eicherscheid	Germany	26	60.40	1 : 0	DBCC	200	200	2)	3	E
26	1976	Eixendorf	F.R.	31	60	1 : 0	DBCC	0/80	0/uo	2)	4	R
27	73/77	Laguna de los Cristalos	Chile	90	120.80	1 : 0*	DBCC* upper part incl.	140	140	1)	3	R
28	73/77	High Island West	Hong Kong	105	120.80	1 : 0*	DBCC* upper part incl.	150	150	2)	4	E
29	77/78	High Island East	Hong Kong	12	50	1 : 0	DBCC	150	150	2)	3	R
30	1978	Andrift	Germany	15	60	1 : 0	DBCC	100	100	2)	3	R
31	1978	Kitazawa	F.R.	53	100	1 : 0	DBCC	100	100	1)	3	R
32	77/81	Wehebach	Germany	92	70.60	1 : 0.4	DBCC	100	100	3)	3	E
33	1079	Finstertal	Austria	15	50	1 : 0	DBCC	200	200	1)	3	R
34	78/81	Buri	Japan	57	50	1 : 0	DBCC	300	200	3)	3	E
35	78/81	Megget	Great Britain	67.5	80.60	1 : 0	DBCC	125	125	3)	3	E
36	79/81	Kleine Kinzig	Germany	32	65.50	1 : 0*4	DBCC* upper part incl.	125	125	1)	3	R
37	79/81	Vestredalst- jern	F.R.	62.5	50	1 : 0	DBCC	125	125	2)	3	R
38	79/81	Dhünn (Main dam)	Germany	35	60	1 : 0.25	DBCC	125	125	1)	3	R
39	79/81	Katiavass	F.R.	25	50	1 : 0	DBCC	60	60	2)	3	R
40	79/80	Langavatn Sulby Reservoir	Norway	32	75	1 : 0	DBCC	125/60	125/60	2)	4	R
			Great Britain	32	75	1 : 0	DBCC	150	150	2)	4	R

1) = Cut off wall with gallery.
2) = Cut off wall without gallery.

3) = Membrane en béton de ciment
4) = Cément concrete diaphragm.

R = Enrochement E = Terre
Rockfill Earth

1) = Mur parafouille avec galerie
2) = Mur parafouille sans galerie

3) = Membrane en béton de ciment
4) = Cément concrete diaphragm.

R = Enrochement E = Terre
Rockfill Earth

4. PRINCIPES POUR L'ETUDE ET LA CONSTRUCTION DE NOYAUX BITUMINEUX

En ce qui concerne l'étude de noyaux bitumineux, il faut se rappeler que le bitume pur se comporte, à long terme, comme un liquide, et va fluer hors du noyau, sauf si on l'en empêche par certaines précautions. Voici des moyens possibles pour réaliser un noyau bitumineux étanche et stable :

Emploi d'un mélange bitumineux avec granulats classés comme pour un béton, afin que les proportions de gravier et de sable donnent un squelette suffisant pour limiter la proportion de bitume. Les forces d'adhérence entre le bitume et les granulats empêchent le fluage du liant et on peut démontrer par le calcul, que pour un béton bitumineux bien calibré, le taux possible d'extrusion du liant est de 1 cm par million d'années [réf. 19]. L'expérience des barrages a montré qu'il ne se produit pas de mouvement décelable. On peut en trouver une preuve supplémentaire dans le matériau bitumineux utilisé au Moyen-Orient il y a 5 000 ans [réf. 17].

Une autre possibilité consiste à employer un squelette de pierres rempli de mortier ; dans ce cas, les forces d'adhérence entre le bitume et le squelette de pierres empêchent ou réduisent la pression hydrostatique. Le noyau le plus ancien réalisé, selon ce principe a plus de 20 ans d'âge, et a une hauteur d'environ 60 m. On n'a jusqu'à présent décelé aucune altération de l'étanchéité du noyau.

Pour tous les matériaux destinés à des noyaux bitumineux, y compris le béton bitumineux et le béton bitumineux cyclopéen, il faut éviter la pénétration dans les vides du barrage. A cette fin, il faut choisir des filtres convenablement calibrés entre le matériau bitumineux et les zones de transition, et entre les zones de transition et les massifs de recharge. Des essais de laboratoire, effectués en

4. PRINCIPLES FOR THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF BITUMINOUS CORES

With regard to the design of bituminous cores it must be remembered that pure bitumen behaves like a liquid in the long term, and will flow out of the core unless prevented by certain measures. Possible ways of making a stable impervious bituminous core are as follows : -

The use of a bituminous mix with aggregates graded like concrete so that the percentages of stone and sand give a combined skeleton with sufficient capacity to avoid being overfilled with bitumen. Adhesion forces between the bitumen and the aggregates prevent the binder flowing out, and it can be proved by calculations that for a well-graded bituminous concrete the possible rate at which the binder can extrude is 1 cm per million years [Ref.19]. Experience with dams has shown that there is no detectable movement, and additional proof can be found in the bituminous material used in the Middle East 5,000 years ago [Ref. 17].

Another possibility is to use a stone skeleton sealed with an overfilled mortar, where adhesion forces between the bitumen and the stone skeleton prevent or reduce the hydrostatic pressure. The oldest core built to this principle is more than 20 years old and has a height of about 60.0 m. Any changes in the core to date cannot be detected.

All materials for bituminous cores including bituminous concrete and cyclopean mortar must be prevented from penetrating into the voids of the dam. Therefore, properly graded filters between the bituminous material and the transition zones, and between the transition zones and the supporting shells, are necessary. Laboratory tests carried out to find the maximum penetration of bitu-

vue de déterminer la profondeur maximum de pénétration de mélanges bitumineux dans les vides d'un barrage en enrochement ou dans une zone de transition, ont montré qu'en choisissant pour l'agrégat une granulométrie maximale d'environ 1/6 à 1/8 de celle du matériau adjacent, on empêche toute migration inadmissible du matériau [réf. 31].

Si l'on observe les conditions ci-dessus, il ne doit se produire aucune extrusion de matériau bitumineux. L'expérience des noyaux en béton cyclopéen montre que, pour de petits barrages, le matériau versé dans l'agrégat préalablement compacté ne se perd pas, même si on remplit le squelette avec du bitume pur.

Au titre d'un programme de recherches fondamentales, on a testé des mélanges de béton bitumineux quant à leur indice des vides et leur étanchéité vis-à-vis de charges d'eau élevées [réf. 21]. Fig. 1 montre que, même pour de fortes charges, un béton bitumineux fortement compacté, contenant moins de 3 % de vides, est étanche.

Des différences dans la composition des mélanges entraînent des contraintes latérales différentes dans le noyau et dans les zones de transition stables, comme conséquence de leur poids propre. Ces contraintes latérales, ainsi que la déformabilité du noyau par rapport à celle du terrain encaissant, sont à prendre en compte lors de l'étude d'un barrage, et il est indispensable de déterminer la compatibilité du mélange proposé, dans un barrage élevé, par des essais triaxiaux. La déformabilité du noyau bitumineux est déterminée par un essai triaxial du type employé en mécanique des sols, mais étant donné les grandes dimensions des agrégats, il faut que l'échantillon soit suffisamment important. Un béton bitumineux bien confectionné n'est pas détruit par de fortes déformations de cisaillement, et on a constaté que des éprouvettes étaient restées étanches même après déformation par compression verticale de 14 % et une déformation latérale jus-

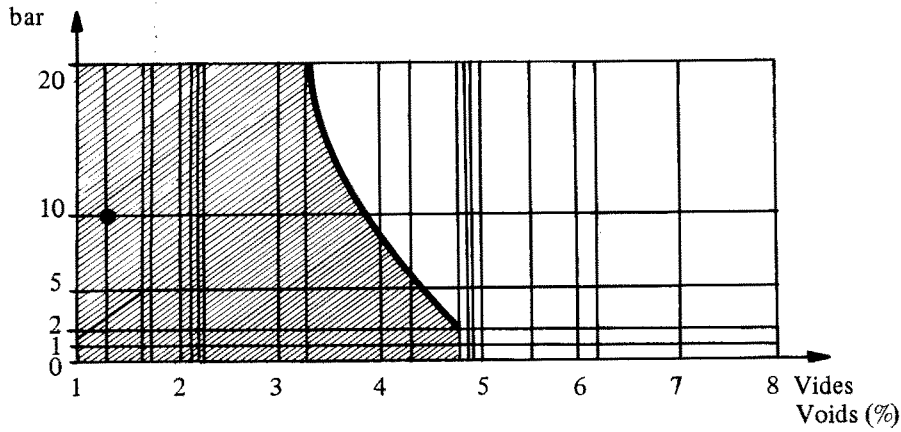
minous mixes into the open structure of a rockfill dam or into an open transition zone have proved that by choosing a maximum size of aggregate of about 1/6-1/8 of the size of the adjacent material no inadmissible migrations of material take place [Ref. 31].

By taking account of the conditions mentioned above no extrusion of bituminous material should occur. Experience with cyclopean bituminous cores has shown that for small dams material poured into the pre-packed aggregate is not lost, even when the skeleton is filled with pure bitumen.

As part of a basic research programme bituminous concrete mixtures were tested in respect of their void ratio and impermeability against water at high pressures [Ref. 21]. Fig. 1 shows that even for such high pressures a densely graded bituminous concrete with less than 3 % voids content is impermeable.

Differences in mix composition result in different lateral stresses in the core and in the filter-stable transition zones, caused by their own dead-weight. These lateral stresses, and the deformability of the core in relation to that of the embankment, must be considered when designing a dam, and it is necessary to prove the compatibility of the proposed mix in a high dam by triaxial tests. The deformability of the bituminous core is determined by a soil mechanics type of triaxial test, but due to the large size of the aggregates the sample shown must be big enough. A well made bituminous concrete will not fail under high shear deformations, and even after compression of 14 % and a lateral strain of 6 % test pieces have been found to remain watertight. This property is of importance where unequal settlements of a dam in a narrow V-valley can be expected. Following basic research work experienced contractors have now a lot of knowledge

Bituminous Concrete 0/12 mm for Facings
Béton Bitumineux 0/12 mm pour Masques



Bituminous Concrete 0/18 mm for Cores
Béton Bitumineux 0/18 mm pour Noyaux

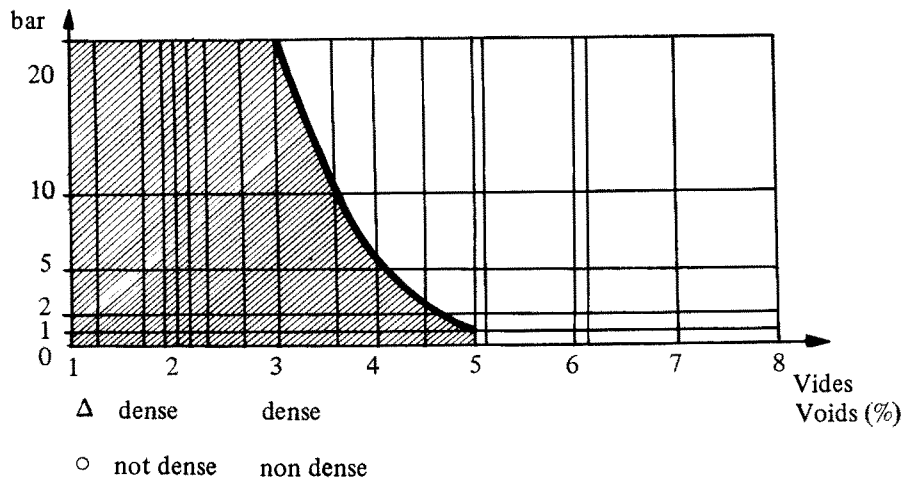


FIG. 1

Test d'imperméabilité. Interdépendance de la charge hydraulique et de l'indice des vides.
Impermeability Test = Interdependence of water pressure and void ratio

qu'à 6 %. Cette propriété est d'une grande importance lorsqu'on peut s'attendre à des différences de tassement, comme il s'en produit dans un barrage situé dans une vallée étroite en forme de V. A la suite des travaux de recherches fondamentales, les entreprises spécialisées possèdent maintenant de vastes connaissances concernant les mélanges reconnus ; ceci permet d'utiliser ces ma-

of proved mixes, which allows the use of these materials without further special tests in low and medium height dams. For high dams, any unbalanced lateral stresses in the core or transition zones should also be taken into account in the stability of the dam [Refs. 14, 20, 5, 7 + 9].

tériaux sans autres essais particuliers, pour des barrages de faible et moyenne hauteur. Pour les barrages élevés, toute contrainte latérale non équilibrée, dans le noyau ou les zones de transition, doit aussi être prise en compte dans le calcul de la stabilité de l'ouvrage. [réf. 14, 20, 5, 7 + 9].

Il est recommandé de calculer les déformations totales des barrages de grande hauteur avec noyaux bitumineux ; lorsqu'on applique des programmes basés sur l'énergie de déformation, il ne faut pas oublier que les propriétés, tant du matériau encaissant que du mélange bitumineux, peuvent varier dans une certaine proportion [réf. 6, 22 + 8].

Des calculs de déformations ont prouvé la sécurité de barrages avec noyaux bitumineux au cours d'un séisme possible, et, même dans un pays exposé à de fréquents tremblements de terre, comme le Japon, un noyau bitumineux est possible [réf. 42]. D'autres calculs ont montré qu'un noyau de béton bitumineux, dans un barrage, reste élastique dans des conditions de contrainte créées par un séisme de même intensité que celui d'El Centro, en Californie, en 1940. Dans d'autres essais, une tension de cisaillement appliquée 200 fois n'a pas eu d'influence défavorable sur la structure du noyau en béton bitumineux [réf. 8].

Même lorsqu'on étudie la résistance du béton bitumineux à l'érosion, il faut s'assurer que la pression de l'eau ne peut pas provoquer, dans le noyau, de contraintes de traction égales ou supérieures aux forces de compression qui s'exercent à l'intérieur du noyau. Ceci peut se produire lorsque le noyau vient à se suspendre aux matériaux du massif. On peut l'éviter en choisissant pour le matériau du noyau, une rigidité supérieure à celle des matériaux du massif. Lorsqu'on s'attend, dans le sous-sol du barrage, à des tassements importants ou irréguliers, nécessitant un noyau souple en béton bitumineux, il faut réaliser les conditions

It is recommended that the total deformations of high dams with bituminous cores should be calculated, and that when using strain energy programmes it should be remembered that the properties of both the embankment material and the bituminous mixture may vary within a certain range [Refs. 6, 22, 8].

Deformation calculations have demonstrated the security of dams with bituminous cores in conditions during a possible earthquake, and shown that even in a country subject to frequent earthquakes, such as Japan, a bituminous core dam is feasible [Ref. 42]. Other calculations have shown that a bituminous concrete core in a dam behaves elastically under stress conditions imposed by an earthquake of the same intensity as the El Centro earthquake in California in 1940. In other tests shear tension applied in 200 test repetitions had no adverse influence on the structure of the bituminous concrete core [Ref. 8].

Even by considering the resistance of bituminous concrete against erosion it is also to insure that the water pressure cannot cause tensile building strengths in the core equal or higher than the pressure within the core. This is not to exclude when the core is hanging on the supporting shells. A higher stability of the core material in comparison to that of the supporting shells will avoid this. By bigger or unequal settlements, expected in the subsoil, which needs a flexible bituminous concrete core the material for the supporting shell must be chosen in such a way that these conditions are fulfilled [Ref. 11].

ci-dessus en choisissant un matériau de remplissage approprié [réf. 11].

La zone de transition est destinée à assurer la fonction de filtre entre le massif de recharge, constitué en général de gros éléments, et le noyau de granulométrie plus fine, selon les conditions précédemment décrites. Cette zone de transition sert également à soustraire le noyau aux déformations locales irrégulières causées par de gros blocs. Grâce à son matériau d'assez fine granulométrie, elle doit en outre s'adapter aux tassements différentiels entre le noyau et le massif de recharge.

Dans les barrages construits jusqu'ici, les zones de transition ont une épaisseur variant entre un minimum de 1 m et une valeur de 2 m de part et d'autre. Lorsque la mise en place s'effectue mécaniquement, il faut choisir une largeur telle que le noyau bitumineux soit exécuté dans de bonnes conditions. On rencontre couramment des largeurs dépassant 1,50 m.

Il faut s'efforcer de limiter la grosseur maximale des granulats, dans ces zones, à 150 mm, bien que l'on ait réalisé des barrages avec matériau de transition bien calibré, avec une granulométrie maximale de 200 mm. La structure granulométrique doit être choisie de manière à assurer une stabilité suffisante pour permettre à la machine exécutant le noyau bitumineux de fonctionner correctement, et il est souhaitable que les zones de transition amont et aval possèdent des stabilités égales. La zone de transition aval doit rester extrêmement perméable et permettre un libre drainage après mise en place. A l'amont, le matériau de transition peut renfermer une plus forte proportion de constituants à grain fin, pouvant favoriser l'auto-réparation en cas d'infiltrations locales à travers le noyau en béton bitumineux. La zone de transition côté amont doit en outre être conçue de manière à permettre d'y introduire des tuyaux en vue d'une imperméabilisation ultérieure, par injection de bentonite ou d'argile, s'il se produisait des fuites quelconques.

To fulfill the conditions of filter stability for rockfill dams with large stones and earthfill dams, it is necessary to design special transition zones between the embankment and the bituminous core. Such transition zones also keep the bituminous core clear of unequal local deformations caused by the larger stones in the embankment. Also the finely graded transition zones help to reconcile differential settlements between the supporting shells and the core.

The thickness of the transition zones in dams built to date varies from 1.0 m to 2.0 m on each side. The thickness should be chosen such that when using machine placing, good working conditions are given for the bituminous core finisher. A width of more than 1.50 m is usual.

One should try to limit the max. size of the aggregates in these zones to 150 mm, although dams with well graded transition material have been built with a max. aggregate size of 200 mm. The grading should be such that it has sufficient stability to secure accurate working of the bituminous core finisher, and equal stabilities of both the upstream and downstream transition zones is desirable. The downstream transition material must remain highly permeable and free-draining after placing. On the upstream side the transition material may contain a higher percentage of loam, which can help to induce self-healing of local leakages in the bituminous concrete core. The upstream transition zone should also be designed in such a way that it is possible to introduce pipes into it to allow supplementary sealing at a later date by injecting bentonite or clay if any leakages occur.

**5. QUELQUES COUPES-TYPES
DE BARRAGES
AVEC NOYAUX BITUMINEUX**

Le barrage de la Henne et le barrage de Bigge, ainsi que le barrage de Wehebach actuellement en cours de construction, sont des ouvrages comportant un noyau bitumineux avec zone de transition. Fig. 2 montre la coupe du barrage de Bigge. Les noyaux obliques, en béton cyclopéen, de ces ouvrages ont été étudiés de façon à fournir une sécurité supplémentaire pour le cas où le masque amont en béton bitumineux serait détruit par des forces extérieures. Les noyaux bitumineux des barrages de Bigge et de la Henne sont surmontés, dans les deux cas, d'un mur en béton. Il était essentiel, pour ces deux barrages, d'assurer la protection contre les faits de guerre, mais dans le barrage de Wehebach, le noyau est prévu pour fournir une sécurité supplémentaire dans le cas de séisme (catégorie IV). Dans ces trois exemples, les noyaux n'ont pas été étudiés au titre d'élément d'étanchéité [réf. 15].

**5. SOME TYPICAL
CROSS SECTIONS OF DAMS
WITH BITUMINOUS CORES**

Dams which incorporate a bituminous core as a braking zone are the Henne Dam and the Bigge Dam and the Wehebach Dam is at present under construction. (Fig. 2 shows the cross section of the Bigge Dam). Their inclined cyclopean mortar cores were designed to provide additional security in case the bituminous concrete facing was destroyed by external forces, and the dense bituminous cores in the Bigge Dam and the Henne Dam have each a concrete wall on top. In the Bigge and the Henne dams security against the influences of war was essential, but in the Wehebach dam the core is being provided to give additional security in the case of earthquake (class IV). In all three examples the cores were not designed as impermeable elements [Ref. 15].

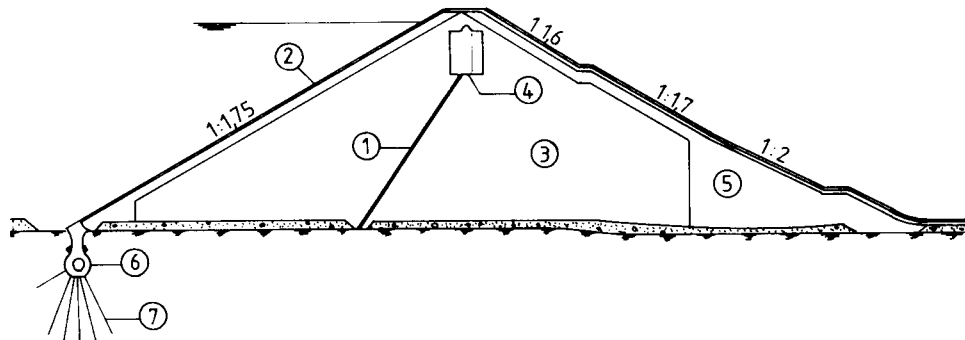


FIG. 2

BARRAGE DE BIGGE – *BIGGE DAM*
Coupe principale – *Cross section*

Noyau bitumineux (étanchéité secondaire) CMC	(1)	<i>Bituminous core as braking zone</i>
Masque amont en béton bitumineux	(2)	<i>Bituminous concrete facing</i>
Recharge	(3)	<i>Supporting shell</i>
Mur en béton	(4)	<i>Concrete wall</i>
Couche filtrante grossière	(5)	<i>Coarse filter layer</i>
Galerie	(6)	<i>Gallery</i>
Voile d'injection	(7)	<i>Grout curtain</i>

Dans l'ouvrage provisoire du barrage de la Dhünn, on a pour la première fois, en 1962, utilisé un noyau en béton bitumineux dense. Alors que dans le cas de noyaux en béton cyclopéen on avait prévu, du fait de leur squelette de pierres, des déformations identiques pour le noyau et le remblai, on ne connaissait pas le comportement d'un noyau de béton bitumineux à la déformation. En vue d'obtenir des renseignements à ce sujet, on a pratiqué dans le remblai un puits d'observation et de mesure avec des ramifications vers le noyau, comme le montre Fig. 3. (Pour les résultats, voir 7-2). Dans le cas du barrage de la Dhünn, la liaison entre le noyau compact de béton bitumineux et le terrain de fondation a été réalisée au moyen d'un mur-parafouille surmontant le voile d'injection [réf. 4, 33].

Un autre barrage avec noyau central en béton bitumineux dense est celui d'Eberlaste représenté par la figure 4. Dans ce cas, le mur-parafouille est constitué d'un diaphragme de ciment et bentonite, d'une profondeur de 21 à 52 m, en raison de tassements irréguliers supposés dans le terrain de fondation [réf. 29].

Le barrage de Poza Honda (Equateur), représenté par la Fig. 5, possède un élément étanche composite. Le noyau en béton bitumineux dense est placé dans les alluvions de couverture et à la partie supérieure du noyau, un masque en béton bitumineux se continue pour former l'élément étanche de la partie supérieure du barrage [réf. 18, 25].

Le barrage de Finstertal, représenté par la Fig. 6. [réf. 40], offre un exemple d'une bonne adaptation à un site en forme de S, par utilisation de l'arête supérieure des fondations rocheuses comme culées et, en outre, en vue de diminuer la superficie du noyau.

La Fig. 7 montre la coupe du barrage principal de la Dhünn. Dans ce cas, la partie supérieure du noyau bitumineux est inclinée : les noyaux bitumineux des barrages no. 27, 28 et 35 du Tableau III ont

The first dense bituminous concrete core was built in the upstream Dhünn Dam in 1962. Whereas with cyclopean mortar cores, — due to their stone skeletons similar deformations of both core and embankment had been presumed, the deformation behaviour of a bituminous concrete core was not known. To get information on this point an observation and measuring shaft was built in the embankment with connections to the core as shown in Fig. 3 (Results see 7.2). In the case of the upstream Dhünn Dam the connection between the dense bituminous concrete core and subsoil was made with a cut-off wall, underlain by a cement grout curtain [Refs. 4, 33].

Another dam with a central dense bituminous concrete core is the Eberlaste Dam shown in Fig. 4. In this case the cut-off wall was formed as a cement bentonite diaphragm of 21.0 m — 52.0 m depth for reasons of supposed unequal settlements in the subsoil [Ref. 29].

The Poza Honda Dam in Ecuador shown in Fig. 5 has compound impermeable element. The dense bituminous concrete core is situated in the alluvial overburden and on top of the core a bituminous concrete facing continues as the impermeable element for the upper part of the dam [Ref. 18, 25].

An example of a good adaption to an S-shaped site using the summit ridge of the rock foundation as abutments and to reduce the surface area of the core is the Finstertal Dam shown in Fig. 6 [Ref. 40].

Fig. 7 shows the cross section of the main Dhünn dam. Here, the upper part of the bituminous core is inclined, and the bituminous cores in dams 27, 28 and 35 of Table III are constructed in the same

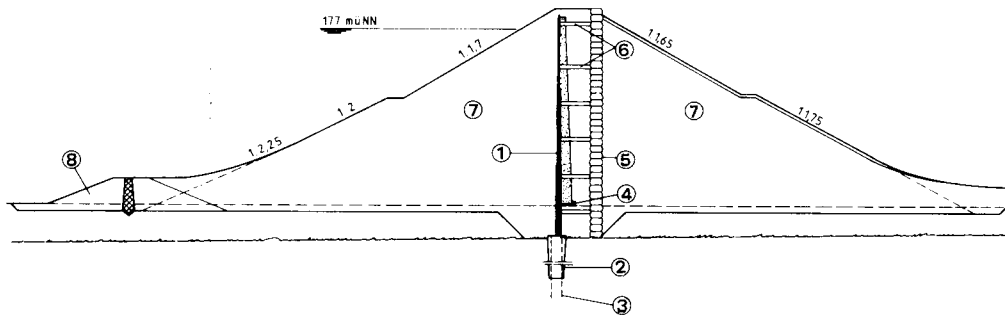


FIG. 3

BARRAGE DU DHUNN – DHUNN DAM
Coupe caractéristique – *Typical section*

- | | | |
|-----------------------------------|-----|--|
| Noyau bitumineux DBCC | (1) | <i>Bituminous core DBCC</i> |
| Mur parafouille | (2) | <i>Cut off wall</i> |
| Ecran d'étanchéité | (3) | <i>Cement injection</i> |
| Tuyau collecteur | (4) | <i>Collection channel</i> |
| Puits d'observation et de mesures | (5) | <i>Observation and measuring shaft</i> |
| Tubes d'observation | (6) | <i>Observation pipes</i> |
| Remblai en enrochement | (7) | <i>Rock fill</i> |
| Batardeau | (8) | <i>Cofferdam</i> |

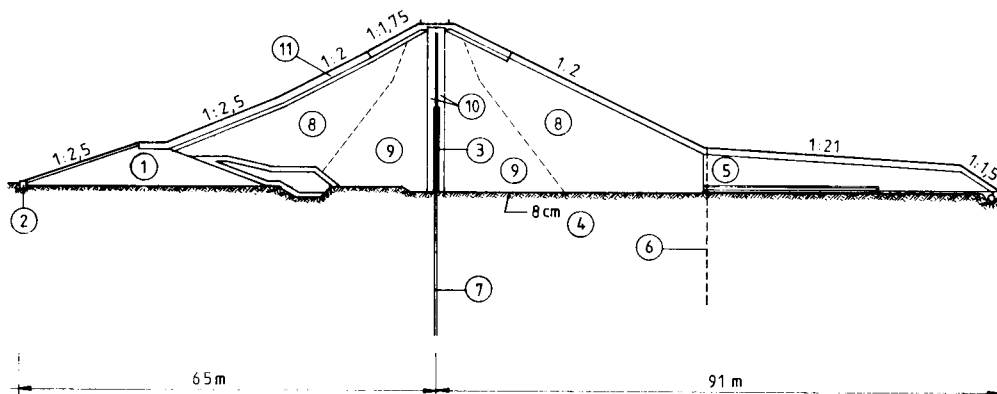


FIG. 4

BARRAGE DE EBERLASTE – EBERLASTE DAM
Coupe – *Cross section*

- | | | |
|-----------------------------|--------|--|
| Batardeau | (1) | <i>Cofferdam</i> |
| Rideau de palplanches | (2) | <i>Sheet piling</i> |
| Noyau bitumineux DBCC | (3) | <i>Bituminous concrete core DBCC</i> |
| Tapis imperméable en bitume | (4) | <i>Bituminous impervious blanket</i> |
| Butée aval | (5) | <i>Pressure bank</i> |
| Puits de décharge | (6) | <i>Relief well</i> |
| Paroi continue | (7) | <i>Cut off wall (21.5 – 52 m)</i> |
| Débris sans triage | (8) | <i>Unclassified talus</i> |
| Débris de diamètre 0-200 mm | (9) | <i>Classified talus max. diameter 200 mm</i> |
| Zone de transition | (10) | <i>Transition zone</i> |
| Riprap | (11) | <i>Riprap</i> |

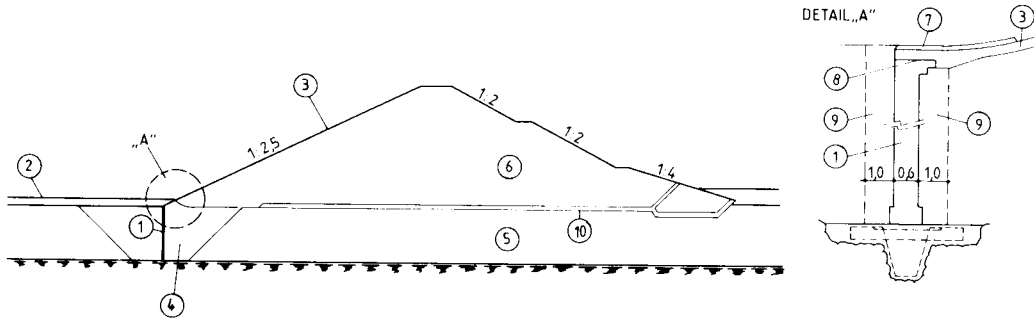


FIG. 5

BARRAGE DE POZA HONDA – POZA HONDA DAM
 Coupe principale – *Cross section*

- | | | |
|--|--------|---|
| Noyau bitumineux DBCC | (1) | <i>Bituminous concrete core DBCC</i> |
| Couche argileuse de couverture | (2) | <i>Loamy overburden</i> |
| Masque amont en béton bitumineux | (3) | <i>Bituminous concrete facing</i> |
| Remplissage de tuf altéré | (4) | <i>Refilled with weathered tuff</i> |
| Couverture d'alluvions | (5) | <i>Alluvial overburden</i> |
| Recharge | (6) | <i>Supporting shell</i> |
| Couche protectrice en béton bitumineux | (7) | <i>Bituminous concrete protection layer</i> |
| Couche étanche de mastic avec joint en feuille de cuivre | (8) | <i>Mastic seal coat with copperfoil joint</i> |
| Zone de transition | (9) | <i>Transition zone</i> |
| Couche drainante et filtrante | (10) | <i>Drainage and filter layer</i> |

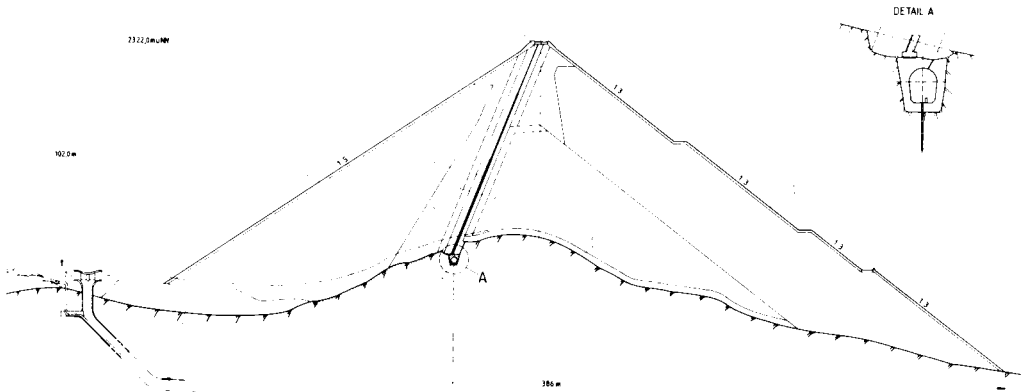


FIG. 6

BARRAGE DE FINSTERTAL – FINSTERTAL DAM
 Coupe principale – *Cross section*

- | | | |
|------------------------|--------|------------------------------------|
| Noyau bitumineux DBCC | (1) | <i>Bituminous core DBCC</i> |
| Zones de transition | (2) | <i>Transition zones</i> |
| Zone de drainage | (3) | <i>Drainage zone</i> |
| Recharge : enrochement | (4a) | <i>Supporting shell ; rockfill</i> |
| Recharge : enrochement | (4b) | <i>Supporting shell ; rockfill</i> |
| Recharge : moraine | (4c) | <i>Supporting shell ; moraine</i> |
| Riprap | (5) | <i>Riprap</i> |
| Mur parafouille | (6) | <i>Cut off wall</i> |

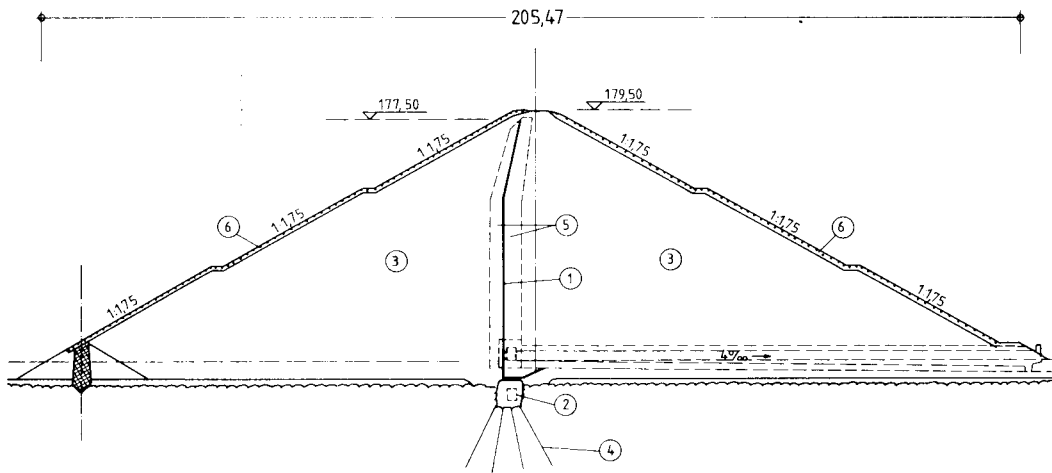


FIG. 7

GRAND BARRAGE DE LA DHUNN – MAIN DAM OF DHUNNTALSPERRE
Coupe principale – Cross section

- | | | |
|-----------------------|-----|----------------------|
| Noyau bitumineux DBCC | (1) | Bituminous Core DBCC |
| Galerie de visite | (2) | Inspection gallery |
| Recharges | (3) | Supporting shells |
| Ecran d'étanchéité | (4) | Grouting |
| Zones de transition | (5) | Transition zones |
| Riprap | (6) | Riprap |

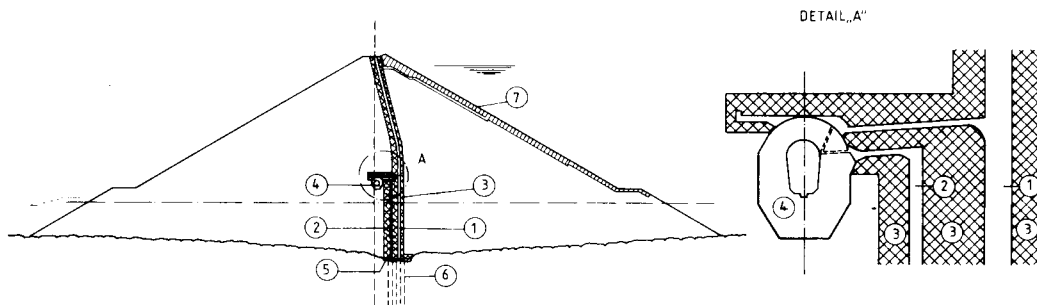


FIG. 8

BARRAGE DE HIGH ISLAND – HIGH ISLAND MAIN DAM

- | | | |
|--|-----|--------------------------------------|
| Noyau principal en béton bitumineux DBCC | (1) | Main bituminous concrete core DBCC |
| Second noyau en béton bitumineux DBCC | (2) | Second bituminous concrete core DBCC |
| Zone transition | (3) | Transition zone |
| Galerie de visite | (4) | Inspection gallery |
| Mur parafouille | (5) | Cut off wall |
| Ecran d'étanchéité | (6) | Grouting |
| Riprap | (7) | Riprap |

également été réalisés de la même manière. De plus, une étanchéité supplémentaire est placée juste au-dessus du mur-parafouille, afin de séparer les eaux d'infiltration à travers le noyau, les eaux d'infiltration à travers le rideau d'injection, les eaux de percolation à travers les versants de la vallée.

La Fig. 8 montre une coupe du barrage de High Island à Hongkong. Il a fallu ici rendre imperméable la partie inférieure du barrage dans les deux directions et on a choisi pour cela deux noyaux parallèles de béton bitumineux. Les noyaux sont reliés, au moyen de couches en béton bitumineux, au-dessus du niveau maximum des eaux de la mer, à une galerie destinée à recueillir les infiltrations éventuelles de la retenue à travers le noyau. Au-dessous de ce niveau, les infiltrations sont collectées dans les matériaux se trouvant entre les noyaux [réf. 30].

way. Also, an additional sealing is provided just above the cut-off wall to separate any water contributed to this position by eventual leakages through the core from groundwater caused by leakages through the grout curtain, or from seepage through the valley flanks.

Fig. 8 shows a cross section of the High Island Dam in Hong Kong. Here it was necessary to render the lower part of the dam impermeable in both directions, and for this two parallel bituminous concrete cores were chosen. The cores are connected with bituminous concrete layers above the highest seawater level, to a gallery used to collect possible seepages from the reservoir through the core. Below this level seepages are collected in the material between the cores [Ref. 30].

6. ESSAIS

D'après l'expérience générale, l'étanchéité d'un noyau en béton bitumineux est assurée si le béton contient moins de 3 % de vides. Ce point est à vérifier, même pour de très petits barrages, en effectuant des essais appropriés. Le test Marshall est recommandé comme mesure de l'aptitude au compactage, et le nombre de chocs doit être représentatif du tassement possible provoqué in situ par les appareils de mise en place. Le nombre de chocs se situe normalement entre 30 et 50.

Les proportions fixées pour le mélange sur la base d'essais préalables, doivent être contrôlées sur place au moins une fois par jour, et la porosité doit être suivie de façon constante par des essais de laboratoire. Il est possible aussi, de contrôler les matériaux en place au moyen de carottages. Si l'on procède ainsi, le nombre de ces prélèvements de carottes doit être aussi réduit que possible, afin de minimiser les perturbations de la structure du noyau de béton bitumineux. Les trous doivent être soigneusement rebouchés à l'aide d'un mastic bitumineux résistant.

Il y a lieu, en principe, d'effectuer des essais de stabilité et de déformabilité si l'on n'a pas l'expérience préalable du comportement de la formule proposée pour le béton bitumineux en fonction de la hauteur du barrage, du type des massifs de recharge et de la qualité des granulats. Pour des barrages assez hauts, il est recommandé de soumettre, dans tous les cas, le noyau et les matériaux de recharges, à des essais triaxiaux. La stabilité et la déformabilité du noyau de béton bitumineux doivent être adaptées selon les besoins, et il est important d'effectuer une surveillance constante des travaux proprement dits de mise en place. Il est particulièrement indispensable de maintenir sur chaque couche une surface propre, et d'appliquer avec soin chaque couche sur la couche précédente. Il faut veiller en outre à réaliser un compactage suffisant et régulier.

6. TESTING

The impermeability of a bituminous concrete core is ensured if the bituminous concrete has less than 3 % air voids. This should be proven even in very small dams by making appropriate tests. The Marshall test is recommended as a measurement of compactability, and the number of blows should be representative of the possible compaction in situ by placing equipment. Normally the number of blows is between 30 and 50.

The fixed proportions of the mix decided from preliminary tests must be controlled on the site at least daily, and the void content controlled constantly by laboratory testing. It is also possible to control the placed material by taking samples from drilled holes. If this is done the number of such holes should be as low as possible to minimize disturbance of the structure in the bituminous concrete core. The holes must be filled accurately with a coarse bituminous mastic.

On principle, stability and deformability tests should be carried out if there is no previous experience available of the behaviour of the proposed mix of bituminous concrete in relation to the height of the dam, the kind of supporting shells and the quality of the aggregates. For higher dams it is recommended that in every case the core and supporting shells material should also be given triaxial tests. The stability and deformability of the bituminous concrete core must be adapted as necessary and it is important to ensure constant control of the placing work itself. It is particularly important to maintain a clean surface on each layer, and that the placing of each layer on the layer below should be accurately done. Also, sufficient and uniform compaction must be ensured.

En vue d'éviter les répercussions de problèmes de mise en route, susceptibles éventuellement de déprécier la qualité de la partie inférieure du noyau, il paraît judicieux de réaliser sur le site un noyau pilote, en vue d'adapter la méthode de mise en place aux conditions locales. Dans le cas du noyau pilote, les carottages horizontaux doivent être pratiqués dans les interfaces entre couches individuelles.

In order to prevent consequences of starting problems which eventually could cause a poorer quality in the lowest part of the core it seems to be reasonable to build a pilot core on the site in order to adapt the placing method to local conditions. In the case of the pilot core horizontal holes should be drilled into the junctions between individual layers.

7. OBSERVATIONS

1. La plupart des exploitants indiquent que les noyaux bitumineux sont aussi étanches qu'ils l'avaient escompté, mais on a rapporté deux cas de noyaux ayant présenté des fuites assez importantes, et un cas comportant une fuite initiale importante. L'un se trouve sur la digue amont de la Dhünn [réf. 34], où une infiltration importante s'est produite lors de la première mise en eau du réservoir (Fig. 9a), l'eau arrivant en partie des versants de la vallée et en partie au travers du noyau. Le volume d'eau non influencé par les versants de la vallée était d'environ 16 l/s (Fig. 9b). L'emplacement des fuites a été déterminé par des essais de coloration, et on a ensuite injecté une suspension argileuse, au moyen de tuyaux perforés, dans la zone de transition amont des parties concernées. Par suite de la résistance du matériau du noyau à l'érosion, et de l'aptitude du béton bitumineux à

7. EXPERIENCES

1. Most owners report that bituminous cores are as impermeable as they had expected, but two cores that developed higher leakages, and one that had an initial high leakage have been mentioned. One is the Dhünn upstream dam [Ref. 34] where a remarkable seepage occurred when the reservoir was first filled (Fig. 9a) with water coming partly from the valley flanks and partly through the core. The amount of water not influenced by the valley flanks was about 16 l/s (Fig. 9b). The location of the leaks was determined by discolouration tests, and a loamy slurry then injected by perforated pipes into the upstream transition zone in the sections in question. Due to the resistance of the core material to erosion and ability of the bituminous concrete to resist penetration by silt and clay, the seepage caused a form of sealing to take place by transporting loam to the leakages. This self-

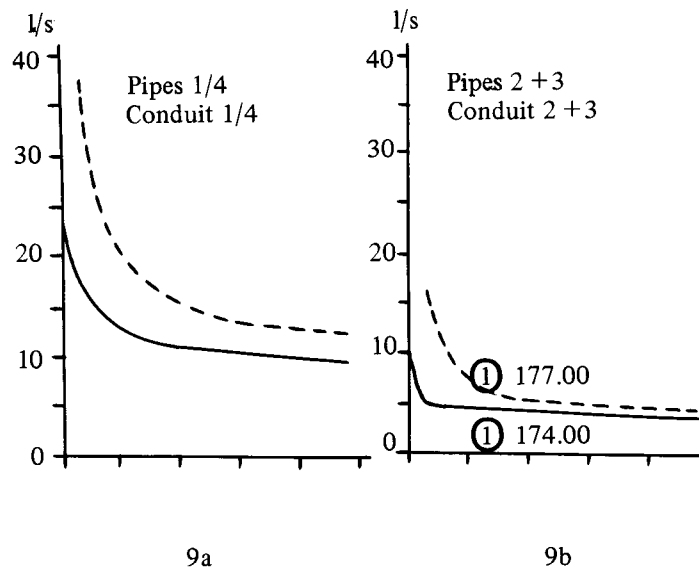


FIG. 9

Infiltrations dans le barrage amont de la Dhünn
Seepage in the Dhünn upstream dam

résister à la pénétration du limon et de l'argile, les suintements ont provoqué une sorte d'étanchement, en véhiculant de l'argile jusqu'à l'endroit des pertes. Cette auto-réparation a ramené les pertes d'eau à 5 l/s en peu de temps, le débit continuant à décroître très lentement dans les années suivantes. Dans le barrage de la Dhünn, actuellement en cours de construction, on envisage de séparer les eaux d'infiltration à travers le noyau des eaux provenant des versants, en interceptant l'eau souterraine comme l'indique Fig. 7.

Des infiltrations de 4,2 l/s ont été signalées sur le barrage de Lastioules Sud, et de 75 l/s sur le barrage de Lastioules Nord [réf. 12]. Les pertes d'eau, pour le barrage de Lastioules Nord, ont commencé à diminuer 20 jours après la mise en eau du réservoir. En 1970, on a essayé de l'imperméabiliser au moyen de bentonite, et vers la fin de l'année, le volume des pertes d'eau était d'environ 33 l/s, avec une certaine relation entre le niveau de la retenue et le taux d'infiltrations. Les résultats différents obtenus par imperméabilisation des barrages de la Dhünn et de Lastioules Nord peuvent être dus aux compositions différentes des matériaux des noyaux. Un béton bitumineux est étanche à l'absorption de matériaux fins, tandis qu'un noyau en béton cyclopéen ne l'est pas. Il est possible aussi que dans ce dernier cas, les fuites soient occasionnées par des pierres insuffisamment reliées par du mortier, permettant ainsi des passages directs plus nombreux et plus importants aux infiltrations.

2. Observations relatives aux déformations de noyaux

On possède des mesures de déformations de noyaux bitumineux pour deux barrages : le barrage amont de la Dhünn et le barrage d'Eberlaste (n° 5 et 10). Pour le barrage amont de la Dhünn, on a réalisé sur la face aval du noyau bitumineux, un puits d'observation et de

healing reduced water losses to 5 l/s within a short time and they continued to reduce very slowly in the following years. In the Dhünn Dam now under construction separation of seepage through the core from water which is coming from the flanks is planned by intercepting the groundwater as shown in Fig. 7.

Seepages of 4.2 l/s from the Lastioules Sud Dam and of 75 l/s from the Lastioules Nord Dam have been reported. [Ref. 12]. 20 days after filling the reservoir the water losses through the Lastioules Nord Dam began to reduce. In 1970 an attempt was made to seal it with bentonite, and by the end of the year the rate of water loss was about 33 l/s with a certain dependence between water level and seepage rate. The seepage rate is now about 42 l/s and shows a small tendency to increase. Other means of reducing the seepage have been considered, but as the losses do not endanger the dam no further measurements have been taken up to now. They will have to be considered if any substantial improvement is to be made. The difference in the success achieved by grouting the Dhünn Dam and the Lastioules Nord Dam may be due to the different compositions of the core materials. A bituminous concrete is filterstable against absorption of fine materials whereas a skeleton core is not, and it is also possible that in the latter case leakage is caused by stones without sufficient mortar between them, allowing more direct leakage paths of larger size.

2. Experiences concerning deformations of cores

Measurements of the deformations of bituminous cores are available for two dams, the Dhünn upstream dam and the Eberlaste (Nos. 5 and 10). In the Dhünn upstream dam, on the downstream side of the bituminous core, an observation and measuring shaft was built to measure

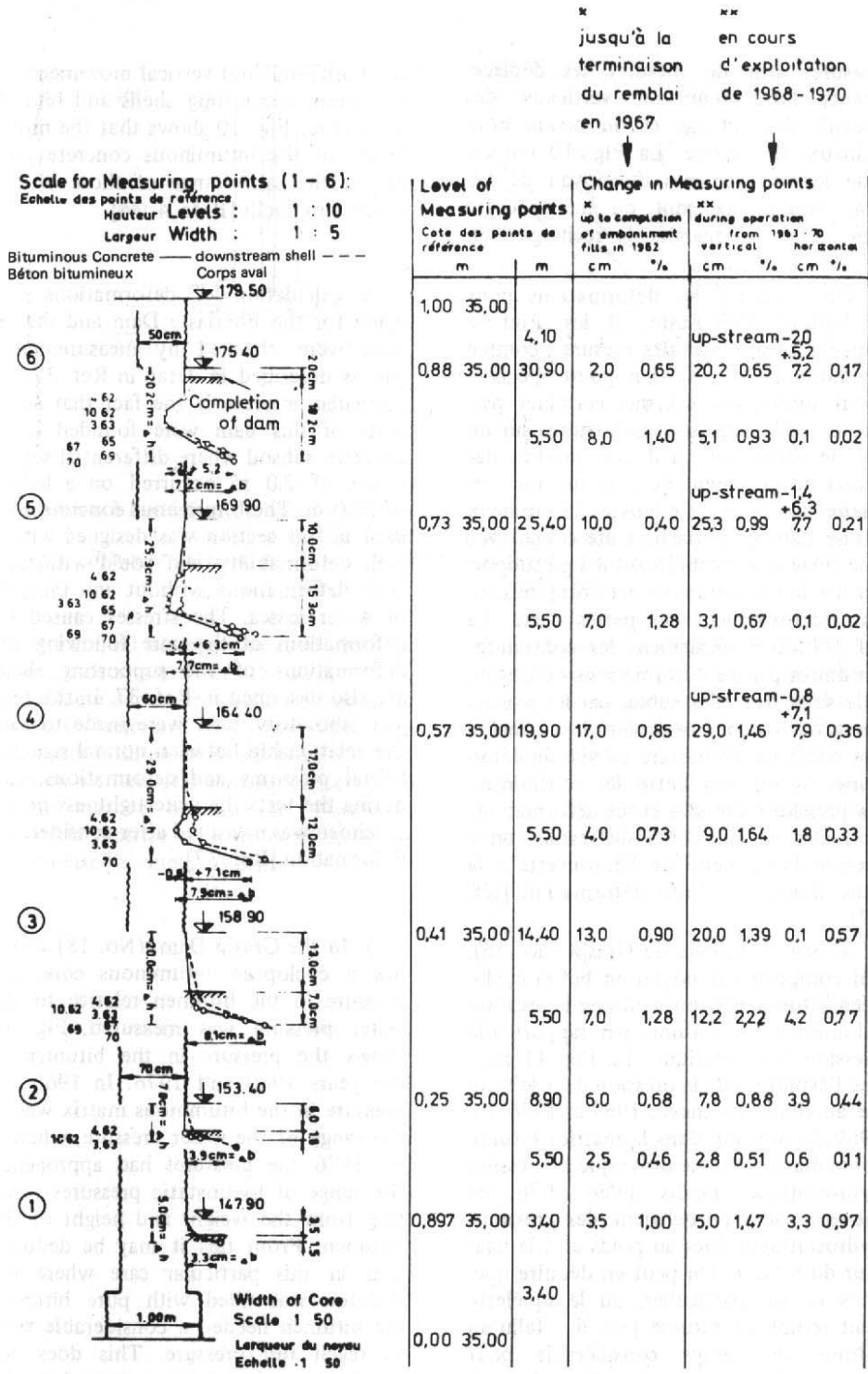


FIG. 10
 Résultats des mesures au barrage Dhünnalsperre
 Measuring results on the Dhünn Dam

mesure, afin de mesurer les déplacements horizontaux et verticaux des massifs de recharge et du noyau bitumineux du barrage. La Fig. 10 montre que les mouvements du noyau de béton bitumineux sont du même ordre que ceux des massifs de recharge [réf. 4, 34].

On a calculé les déformations pour le barrage d'Eberlaste, et les résultats ont été vérifiés par des mesures, comme l'indique la réf. 37. Un point spécialement intéressant est que certaines parties de ce barrage sont construites sur un sol de fondation où il s'est produit des écarts de tassement de 2 m sur une longueur de 30 m. Le noyau bitumineux utilisé dans cette partie a été conçu avec une forte déformabilité, et il a pu supporter des déformations de cet ordre sans aucun accroissement des pertes d'eau. La réf. 37 décrit également les contraintes produites par les déformations du noyau, à la suite de celles subies par les massifs de recharge. Dans ce projet, on a effectué des essais de laboratoire en vue de déterminer la relation entre les contraintes, les pressions latérales et les déformations normales et, au cours des essais, on a mesuré l'étanchéité de l'éprouvette à la suite d'une très forte déformation [réf. 37].

3. Sur le barrage de Grasjøl (no. 18), qui comporte un noyau en béton cyclo péen bitumineux, on a mesuré la pression à l'intérieur du bitume, par rapport à la pression hydrostatique. La Fig. 11 indique l'évolution de la pression dans le bitume au cours des années 1969 et 1976. En 1969, la pression dans la matrice bitumineuse était du même ordre que la pression hydrostatique, tandis qu'en 1976, les pressions se rapprochaient des pressions hydrostatiques dues au poids et à la hauteur du bitume. On peut en déduire que, dans ce cas particulier, où le squelette était rempli de bitume pur, il a fallu au bitume un temps considérable pour atteindre la pleine pression. Ceci n'est pas en contradiction avec les calculs relatifs à

the horizontal and vertical movements of the dams' supporting shells and bituminous core. Fig. 10 shows that the movements of the bituminous concrete core are in the same range of those of the supporting shells [Refs. 4, 34].

A calculation of deformations was made for the Eberlaste Dam and the results were checked by measurements, and as described in detail in Ref. 37. Of particular interest is the fact that some parts of this dam were founded on a sensitive subsoil where differential settlements of 2.0 m occurred on a length of 30.0 m. The bituminous concrete core used in this section was designed with a high deformability and could withstand such deformations without any increase of water losses. The stresses caused by deformations of the core following the deformations of the supporting shells are also described in Ref. 37. In this project laboratory tests were made to find the relationship between normal stresses, lateral pressures and deformations, and during the tests the watertightness of the specimen was measured after considerable deformation [Ref. 37].

3. In the Grasjøl Dam, (No. 18) which has a cyclopean bituminous core, the pressure in the bitumen relative to the water pressure was measured. Fig. 11 shows the pressure in the bitumen in the years 1969 and 1976. In 1969 the pressure in the bituminous matrix was in the range of the water pressure, whereas by 1976 the pressures had approached the range of hydrostatic pressures resulting from the weight and height of the bitumen. From this it may be deduced that in this particular case where the skeleton was filled with pure bitumen the bitumen needed a considerable time to reach full pressure. This does not contradict calculations concerning the flowing out of bitumen from bituminous

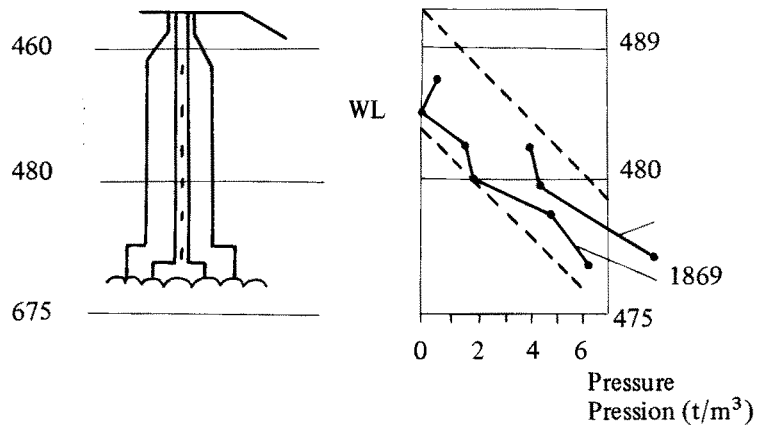


FIG. 11

Pression à l'intérieur du bitume pour une forte et faible charge des eaux, dans le noyau en béton cyclopéen bitumineux du barrage de Græsø
Bitumen internal pressure at high and low water pressure in the cyclopean bituminous core of Græsø Dam

l'extrusion du bitume hors du noyau bitumineux décrits à la réf. 18, où les calculs se basaient sur une épaisseur de bitume de quelques microns et où il aurait fallu quelques millions d'années pour que l'extrusion ait lieu. Dans un squelette rempli d'une matrice bitumineuse, l'épaisseur de cette matrice se situe entre quelques millimètres et quelques centimètres.

concrete as described in Ref. 18, which were based on a thickness of bitumen of a few microns, and where it would have needed a few million years for extrusion to take place. In a skeleton filled with bituminous matrix the thickness of the matrix will lie between a few millimetres and a few centimetres.

8. CONCLUSIONS

Les observations faites sur des noyaux bitumineux montrent qu'en présence d'un noyau bien adapté et de massifs de recharge corrects, on peut admettre un comportement homogène du barrage quant aux déformations.

Les essais de laboratoire et l'expérience acquise avec les barrages construits jusqu'ici montrent également que les noyaux bitumineux peuvent être considérés comme étanches et qu'ils garantissent un haut degré de sécurité. Il est possible de réaliser, sans grandes difficultés, une imperméabilisation supplémentaire des noyaux, dans le cas notamment de noyaux en béton bitumineux.

Par suite de la faible surface exposée lors de la mise en place, et de la quantité importante de produits chauds à utiliser, les conditions atmosphériques n'ont qu'une influence réduite sur la fabrication des noyaux bitumineux, de sorte qu'on peut réaliser ces noyaux dans des régions à haute altitude et à fortes précipitations annuelles.

Pour étudier les matériaux bitumineux et construire les noyaux bitumineux, il faut des connaissances techniques étendues et un soin très poussé. Comme un contrôle continu de qualité n'est possible que moyennant de très gros efforts, il est extrêmement important que l'on puisse, à ce point de vue, faire confiance à un fabricant quel qu'il soit.

8. CONCLUSIONS

Experience with bituminous cores shows that with a well adjusted core and supporting shells homogeneous behaviour of the dam in respect to deformations can be assumed.

Laboratory tests and experience with dams built to date also shows that bituminous cores may be considered as impermeable, and provide a high degree of security. Additional sealing of cores is possible with little trouble, especially in the case of bituminous concrete cores.

Due to the small working area exposed during placing and the large amount of hot material in use weather conditions have only a small effect on the building of bituminous cores, so that they can even be built in areas with a high altitude and a high yearly rainfall.

To design bituminous materials and construct bituminous cores extensive technical knowledge and a high standard of care are necessary. As continuous quality control is only possible with considerable effort it is very important that any company constructing bituminous cores can be relied on in this respect.

9. REFERENCES

- [1] Asbeck. – “*Bitumen in Hydraulic Engineering*” (1964) “*Le bitume dans les travaux hydrauliques – Vol. 1*” Elsevier, Londres-New-York – DUNOD – Paris 1962.
 - [2] Asbeck W.F. – “*Bitumen in Wasserbau*”, Band 2. “*Le bitume dans les travaux hydrauliques – Vol. 2*” – DUNOD – Paris 1969.
 - [3] Bertacchi P. et Puccio M. – “*Bituminous Concrete Facings for Earth and Rockfill Dams*” Bulletin 32, octobre 1977, Commission Internationale des Grands Barrages.
 - [4] Breth H. – Measurements on a Rockfill Dam with Bituminous Concrete Diaphragm. *8^{ème} Congrès International des Grands Barrages*, Edimbourg Q 29/R 17 (1964).
 - [5] Breth H. – Der derzeitige Stand des Staudammbaues. *Die Wasserwirtschaft*, 62 (1972), Heft 1/2, pp. 20-33.
 - [6] Breth et Hardt G. – Hohe Steinschüttdämme mit Asphaltbeton Innendichtung. *Der Bauingenieur* 51 (1976), N° 9, pp. 317-321.
 - [7] Breth H. et Günther K. – “Die Dichtungselemente des Erddammes Eberlaste STRABAG – *Schriftenreihe* 8. Folge, fasc. 2, p. 247.
 - [8] Breth H. et Schwab H. – Stresses on Asphaltic Concrete Cores in High Dams during Actual Construction and during Earthquakes. STRABAG – *Schriftenreihe* 9. Folge, fasc. 1, p. 121. Publication originale en allemand : *Die Wasserwirtschaft* 63 (1973), N° 5/6, pp. 194-197.
 - [9] Breth H. et Schwab H. – Die Beanspruchung der Asphaltbetondichtung in hohen Dämmen während der Schüttung und bei Erdbeben. *Die Wasserwirtschaft* 63 (1973), N° 5/6, pp. 194-197.
 - [10] Comité Français des Grands Barrages. – Noyaux d’étanchéité internes, *11^e Congrès International des Grands Barrages*, Madrid, 1973 – Q 42/R 28.
 - [11] Czapla H., Katzenbach R. et Breth H. – Anforderungen an den Asphaltbeton für die Innendichtung von Staudämmen. *Wasserwirtschaft* 69 (1979), N° 2, pp. 44-49.
 - [12] Rapport d’Electricité de France.
 - [13] Feiner A. – Bituminöse Kerndichtungen STRABAG – *Schriftenreihe* 9. Folge, Heft 1.
 - [14] Feiner A. – Die Entwicklung der bituminösen Innendichtungen STRABAG – *Schriftenreihe* 7. Folge, Heft 1.
 - [15] Feiner A. et Schuster R. – Erd – und Steinschüttdämme – Asphalt dichtungen von Staudämmen und Becken STRABAG – *Schriftenreihe* 1957, 3. Folge, H. 2, S. 172-177.
 - [16] Forbes R.H. – *Studies in Ancient Technology*, volume 1 (1963) Brill, Leiden.
 - [17] Forbes R.J. – Untersuchungen über die ältesten Anwendungen von Bitumen in Mesopotamien *Bitumen* 1935, N° 1, pp. 9-15. *Bitumen* 1935, N° 2, pp. 41-44 – *Bitumen* 1935, N° 3, pp. 63-68.
 - [18] Gilg B. – Erdbaumechanische Probleme bei der Projektierung und beim Bau des Staudammes Mattmark *Schweizerische Bauzeitung* 83 (1965), N° 11, pp. 169-177.
 - [19] Haas H. – Technische Eigenschaften von Asphaltbeton für Wasserbauzwecke *Die Bautechnik* 36 (1959), N° 9, pp. 339-346.
 - [20] Haas H. – Prüfung der mechanischen Eigenschaften von Asphalt im Wasserbau STRABAG – *Schriftenreihe* 3. Folge, Heft 2, S. 207.
-

- [21] Haas H. et Bikar R. – Untersuchung über den Einfluss der Dichte auf die Wasserdurchlässigkeit von Asphaltbetonen STRABAG – *Schriftenreihe* 9. Folge, Heft 2, S. 205.
- [22] Hardt G. – Spannungen und Verformungen in hohen Dämmen im Bauzustand *Mitteilungen der Versuchsanstalt für Bodenmechanik und Grundbau der Technischen Hochschule Darmstadt*, fasc. 18/1976.
- [23] Hermann H. & Richter H. – Die Wiehltalsperre *Die Wasserwirtschaft* 1969, fasc. 3.
- [24] Hoffman H.G. & Kühn H. – Die Asphaltbeton-Kerndichtung und ihre Einbauverfahren TEERBAU – *Veröffentlichungen* 1974, N° 21.
- [25] Horn A. – Entwurf des Staudammes Poza Honda, Ecuador *Mitteilungen aus dem Institut für Verkehrswesen, Grundbau und Bodenmechanik der Technischen Hochschule, Aachen*, 1969, fasc. 40.
- [26] Kjaernsli B. – En ny Type Steinfyllingsdam *Norges Geotekniske Institut Publ.* N° 84/1970.
- [27] Kjaernsli B. & Sande A. – New Waterproofing Technique for Norwegian Dam *Norges Geotekniske Institut Publ.* N° 98/1973.
- [28] Koenig W. – Die Biggetalsperre *Fachblatt für Gastechnik und Gaswirtschaft sowie für Wasser and Abwasser*, 103 (1962), fasc. 26.
- [29] Kropatscheck H. & Rienössl K. – Vertical Asphaltic Concrete Core of Earth-Fill Dam Eberlaste of the Zemm Hydro-Electric Scheme *Dixième Congrès des Grands Barrages*, Montréal 1970.
- [30] Lehnert J. & Geiseler W.D. – High Island Water Scheme/Hongkong – Bituminöse Kerndichtung für zwei 100 m hohe Dämme *Die Wasserwirtschaft*, 66 (1976), N° 9, pp. 240-246.
- [31] Löhr A. – Untersuchungen und Verfahren bei der Planung und Ausführung von hohen Dämmen STRABAG – *Schriftenreihe* 7. Folge, fasc. 1, p. 9.
- [32] Osselmann C.R. – Der Bau der Dhünntalsperre *Wasser und Boden*, 16 (1964) *Sonderdruck* (Heft 2).
- [33] Osselmann C.R. – Der Bau der Dhünntalsperre *Wasser und Boden*, 1964, N° 2.
- [34] Osselmann C.R. – Messergebnisse am Staudamm der Dhünntalsperre *Die Wasserwirtschaft*, 60 (1970), fasc. 6.
- [35] Posch E. & Wintersteiger H. – Die Steindamm-Talsperre am Rotgüldensee *Osterreichische Ingenieur-Zeitschrift*, 2, fasc. 2.
- [36] Richer. – Die Verstärkungs- und Sanierungsmassnahmen an der Aggertalsperre *Die Wasserwirtschaft* 58 (1968), N° 7.
- [37] Rienössl K. – Embankment Dams with Asphaltic Concrete Cores – Experience and Recent Test Results *11^e Congrès International des Grands Barrages*, Madrid, 1973, Q 42/R 45.
- [38] Rienössl K. – Schüttdämme mit Asphaltbetonkerndichtung *Die Talsperren Österreichs*, 1974, fasc. 21.
- [39] Rothacker O. – The Bigge Dam STRABAG – *Schriftenreihe*, 7. Folge, N° 1.
- [40] Schober W. – Considerations and Investigations for the Design of a Rockfill Dam with a 92.0 m high Bituminous Mix Core *11^e Congrès International des Grands Barrages*, Madrid, 1973, Q 42/R 34.
- [41] Steffen R. – The Experience with Impervious Asphaltic Elements and the Conclusions for their Design *12^e Congrès des Grands Barrages*, Mexico, 1976.

- [42] Tsutomu I. – Stability of Asphalt Core Dam during Earthquakes TAISEI Corporation, Japon.
- [43] Yushi Shimamura. – Regarding Property of Matter of Asphalt Concrete of Central Water Impervious Wall Type Fill Dam Japan IERE Council – March 1981 – R-8016.

IMPRIMERIE LOUIS-JEAN
Publications scientifiques et littéraires
05002 GAP - Tél. : (92) 51.35.23
Dépôt légal : 352 - Juillet 1982

ISSN 0534-8293

CORRIGEDUM - ERRATUM

Bulletin 42

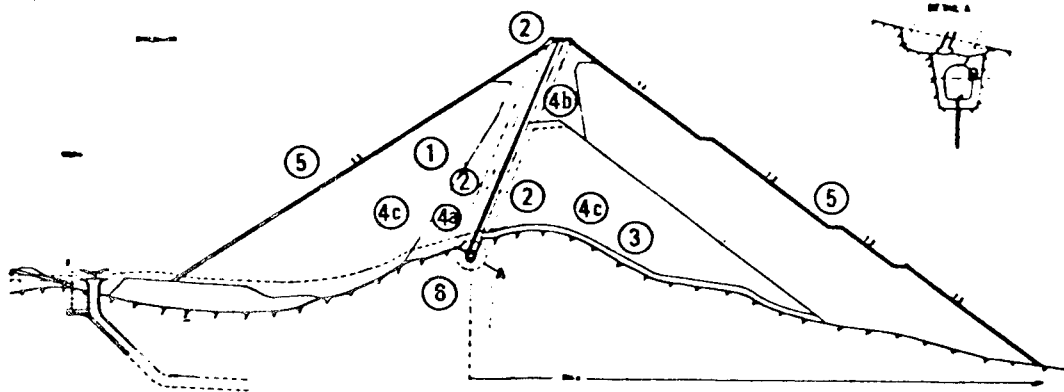


FIG. 6

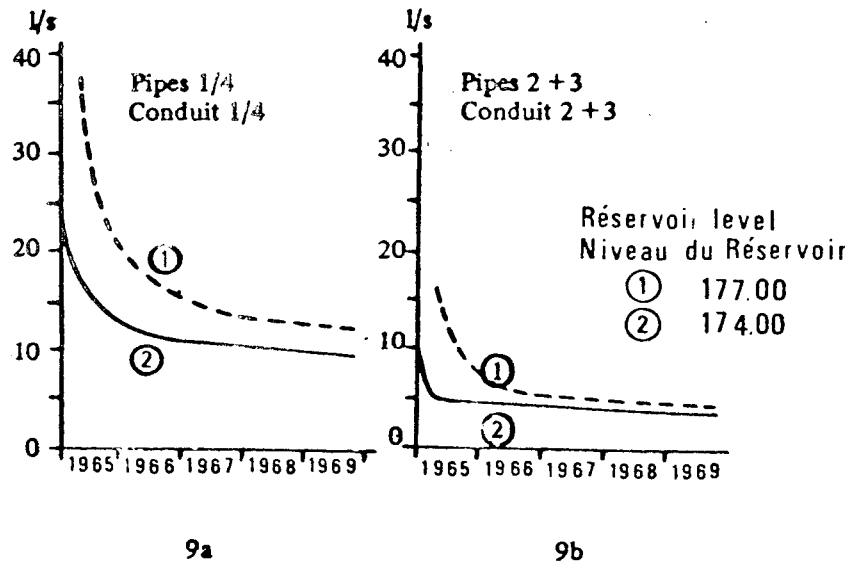


FIG. 9

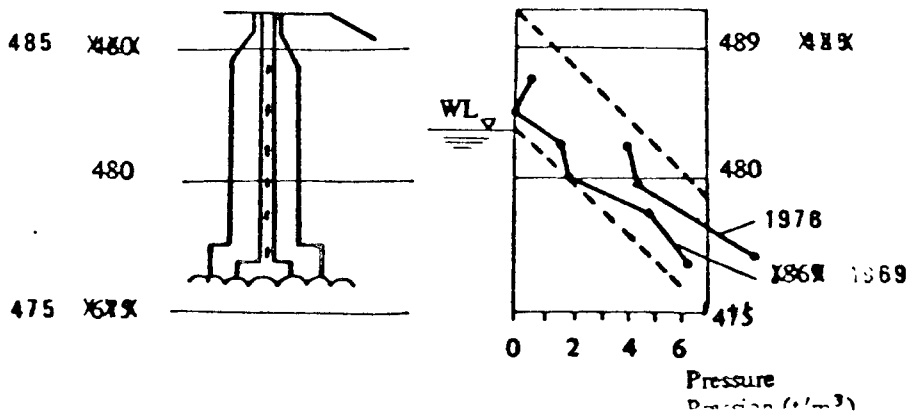
at the top of page 37

FIG. 10

Résultats des mesures au barrage Dhünntalsperre
Measuring results on the Dhünn Dam

■ jusqu'à la
terminaison
du remblai
en 1968
2

□ en cours
d'exploitation
de 1968-1970
3



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>