

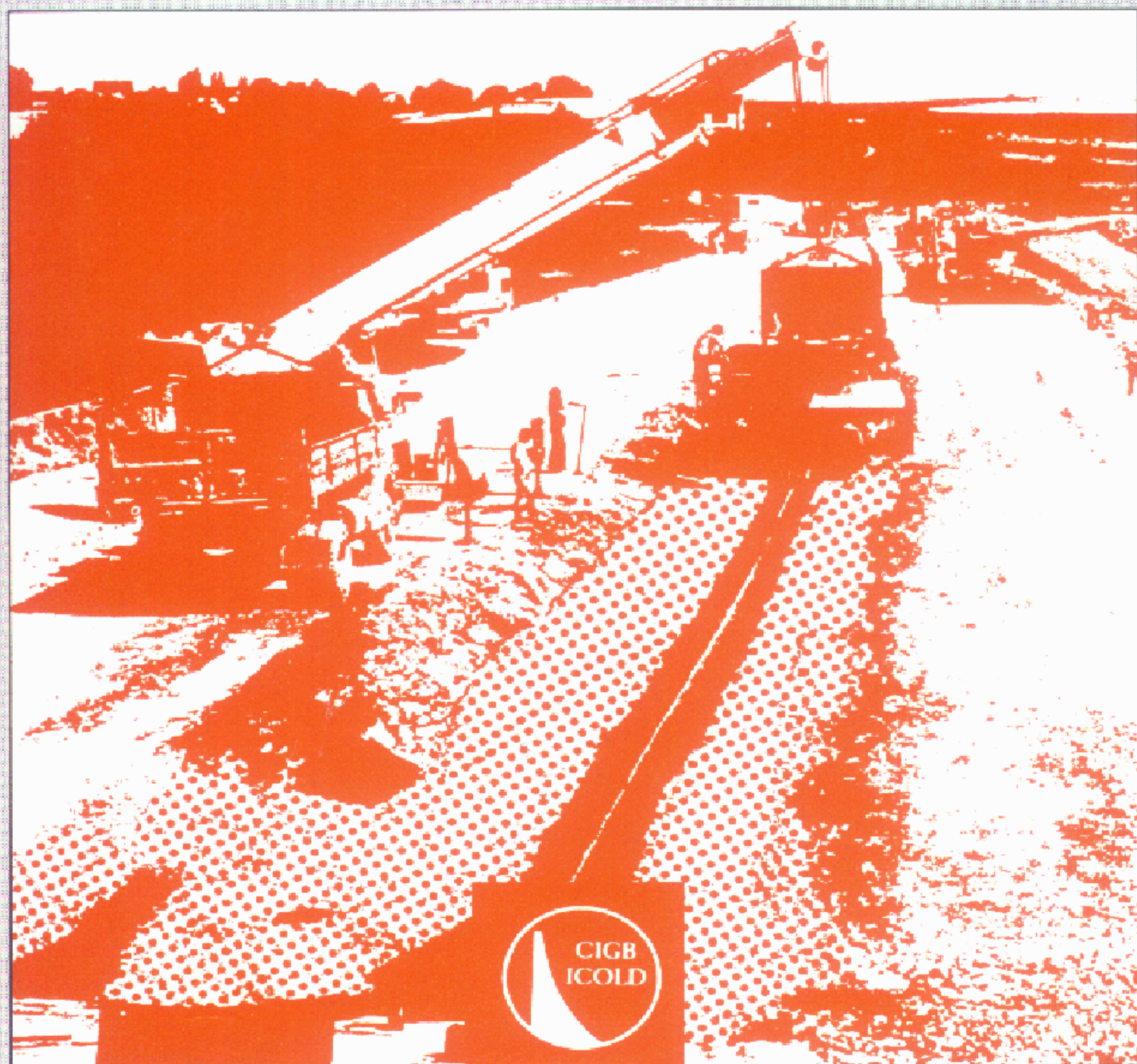
# BITUMINOUS CORES FOR FILL DAMS

*State of the art.*

# NOYAUX BITUMINEUX POUR BARRAGES EN REMBLAI

*Technique actuelle.*

**Bulletin 84**



**1992**



# **BITUMINOUS CORES FOR FILL DAMS**

---

*State of the art.*

# **NOYAUX BITUMINEUX POUR BARRAGES EN REMBLAI**

---

*Technique actuelle.*

---

Commission Internationale des Grands Barrages - 151, bd Haussmann, 75008 Paris  
Tél. : (33-1) 40 42 67 33 - Télex : 641320 ICOLD F - Fax : (33-1) 40 42 60 71

---

**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.

COMMITTEE ON MATERIALS FOR FILL DAMS  
COMITÉ DES MATÉRIAUX POUR BARRAGES EN REMBLAI (\*)  
(1989-1995)

Chairman/Président Canada/Canada	G. S. LAROCQUE
Members/Membres	
Australia/Australie	P. MACKENZIE
Austria/Autriche	P. TSCHERNUTTER
Colombia/Colombie	A. MARULANDA
Finland/Finlande	A. LESKELA
France/France	R. CORDA
Germany/Allemagne	H. STEFFEN
Great Britain/Grande-Bretagne	J. A. CHARLES
India/Inde	C. SUDHINDRA
Italy/Italie	R. JAPPELLI
Netherlands/Pays-Bas	J. WOESTENENK
New Zealand/Nlle-Zélande	M. D. GILLON
Portugal/Portugal	F. A. GUEDES DE MELLO
South Africa/Afrique du Sud	H. F. ELGES
Spain/Espagne	J. A. JIMENEZ SALAS
USA/États-Unis	D. E. KLEINER
USSR/URSS	V. G. RADCHENKO

---

(\*) Membership in May 1991.  
Composition en Mai 1991.

---

## SOMMAIRE

---

- AVANT-PROPOS
1. INTRODUCTION
  2. CARACTÉRISTIQUES DES NOYAUX EN BÉTON BITUMINEUX
  3. CRITÈRES DE CONCEPTION ET DE PROJET
  4. MÉTHODES DE CONSTRUCTION
  5. BARRAGES AVEC NOYAUX BITUMINEUX
  6. EXEMPLES D'OUVRAGES RÉALISÉS
  7. ESSAIS PRÉALABLES ET CONTRÔLE DE QUALITÉ SUR LE CHANTIER
  8. OBSERVATIONS ET EXPÉRIENCES
  9. RÉFÉRENCES

---

## CONTENTS

---

- FOREWORD
1. INTRODUCTION
  2. CHARACTERISTICS OF ASPHALTIC CONCRETE CORES
  3. DESIGN PRINCIPLES
  4. CONSTRUCTION METHODS
  5. DAMS EXECUTED WITH BITUMINOUS CORES
  6. PROJECT EXAMPLES
  7. SUITABILITY TESTS AND QUALITY CONTROL ON SITE
  8. EXPERIENCES
  9. REFERENCES

---

## TABLE DES MATIÈRES

---

AVANT-PROPOS .....	11
1. INTRODUCTION .....	12
2. CARACTÉRISTIQUES DES NOYAUX EN BÉTON BITUMINEUX .....	16
2.1. Caractéristiques de conception .....	16
2.2. Caractéristiques économiques .....	18
2.3. Caractéristiques concernant l'environnement .....	18
3. CRITÈRES DE CONCEPTION ET DE PROJET .....	20
3.1. Remarques préliminaires .....	20
3.2. Dimensions du noyau en béton bitumineux et des zones de transition ....	20
3.3. Position du noyau en béton bitumineux dans le barrage .....	22
3.4. Recommandations pour l'obtention d'une étanchéité optimale du béton bitumineux .....	22
3.5. État de contrainte tridimensionnel du noyau en béton bitumineux .....	22
3.6. Recommandations pour l'obtention d'une rigidité et d'une résistance au cisaillement optimales .....	26
3.7. Comparaison du comportement des noyaux en terre avec celui des noyaux en béton bitumineux vis-à-vis de la fracturation hydraulique .....	26
3.8. Conclusions pour la définition d'une composition optimale d'un noyau en béton bitumineux .....	30
3.9. Étude du cas d'un barrage de 150 m de hauteur .....	30
3.10. Recommandations sur les travaux de construction .....	34
3.11. Contrôle des percolations .....	34
3.12. Possibilités de réparation .....	36
4. MÉTHODES DE CONSTRUCTION .....	38
4.1. Objectifs .....	38
4.2. Évolution du matériel de mise en place du noyau .....	38
4.3. Technique actuelle .....	40
5. BARRAGES AVEC NOYAUX BITUMINEUX .....	46
5.1. Liste chronologique de barrages avec noyaux bitumineux de tous types ..	46
5.2. Noyaux en béton bitumineux dense .....	48
6. EXEMPLES D'OUVRAGES RÉALISÉS .....	62
6.1. Barrage de Grosse Dhünn, Allemagne .....	62
6.2. Barrage de Finstertal, Autriche .....	64

---

## TABLE OF CONTENTS

---

FOREWORD .....	11
1. INTRODUCTION .....	13
2. CHARACTERISTICS OF ASPHALTIC CONCRETE CORES .....	17
2.1. Design Characteristics .....	17
2.2. Economic Efficiency Characteristics .....	19
2.3. Ecological Characteristics .....	19
3. DESIGN PRINCIPLES .....	21
3.1. Preliminary Remarks .....	21
3.2. Dimensions of the Asphaltic Concrete Core and Transition Zones .....	21
3.3. Position of the Asphaltic Concrete Core in the Dam .....	23
3.4. Guidelines for Optimization of the Watertightness of Asphaltic Concrete .....	23
3.5. Three Dimensional Stress Situation of the Asphaltic Concrete Core .....	23
3.6. Guidelines for Optimization of the Elasticity and Shear Strength .....	27
3.7. Comparison of the Behaviour of Earth Cores with Asphaltic Concrete Cores in Respect to Hydraulic Fracturing .....	27
3.8. Conclusions for the Optimal Composition of Asphaltic Concrete Cores ..	31
3.9. Case Study of a 150 m High Dam .....	31
3.10. Construction Guidelines .....	35
3.11. Seepage Control .....	35
3.12. Possibilities for Repair .....	37
4. CONSTRUCTION METHODS .....	39
4.1. Objectives .....	39
4.2. Development of Core Placing Equipment .....	39
4.3. Current State-of-the-Art .....	41
5. DAMS EXECUTED WITH BITUMINOUS CORES .....	47
5.1. Chronological Compilation of Dams with all Types of Bituminous Cores .....	47
5.2. Dense Asphaltic Concrete Cores .....	49
6. PROJECT EXAMPLES .....	63
6.1. Grosse Dhünn, Germany .....	63
6.2. Finstertal Dam, Austria .....	65

---

6.3. Aménagement de fourniture d'eau potable de High Island, Hong Kong - Noyau bitumineux pour deux barrages de 100 m de hauteur .....	64
6.4. Noyau bitumineux du barrage de Breitenbach, Allemagne .....	66
6.5. Retenue de Sulby, Ile de Man, Grande-Bretagne .....	70
6.6. Barrage de Wupper, Allemagne .....	72
6.7. Barrage de Feistritzbach, Autriche .....	74
<b>7. ESSAIS PRÉALABLES ET CONTRÔLE DE QUALITÉ SUR LE CHANTIER</b> .....	<b>76</b>
7.1. Essais préalables du mélange bitumineux .....	76
7.2. Essais préalables du matériau de transition .....	76
7.3. Contrôle de qualité du béton bitumineux sur le chantier .....	78
7.4. Contrôle du matériau de transition pendant la période de construction ..	80
<b>8. OBSERVATIONS ET EXPÉRIENCES</b> .....	<b>82</b>
8.1. Contrôle des percolations .....	82
8.2. Comportement sous déformation .....	82
8.3. Détermination des contraintes-déformations des noyaux en béton bitumi- neux au moyen d'un calcul aux éléments finis .....	86
<b>9. RÉFÉRENCES</b> .....	<b>88</b>



6.3. High Island Water Scheme, Hong Kong - Bituminous Core for two 100 m High Dams .....	65
6.4. The Bituminous Core of Breitenbach Dam, Germany .....	67
6.5. Sulby Reservoir Scheme, Isle of Man, Great Britain .....	71
6.6. Wupper Dam, Germany .....	73
6.7. Feistritzbach Dam, Austria .....	75
7. SUITABILITY TESTS AND QUALITY CONTROL ON SITE .....	77
7.1. Suitability Tests for the Asphalt Mix .....	77
7.2. Suitability Tests for Transition Material .....	77
7.3. Quality Control of the Asphaltic Concrete on Site during the Construction Period .....	79
7.4. Transition Material Control Tests during the Construction Period .....	81
8. EXPERIENCES .....	83
8.1. Seepage Control .....	83
8.2. Deformation Behaviour .....	83
8.3. Stress/Strain Determination of Asphaltic Concrete Cores with the Aid of an FE-Calculation .....	87
9. REFERENCES .....	88

---

## LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

---

- Fig. 1. — Essai biaxial sur un échantillon de béton bitumineux.  
Fig. 2. — Essai triaxial sur un échantillon de béton bitumineux.  
Fig. 3. — Pression statique mesurée dans le liant (bitume) du béton bitumineux.  
Fig. 4. — Mélanges bitumineux pour noyaux étanches.  
Fig. 5. — Étude du cas d'un barrage de 150 m de hauteur.  
Fig. 6. — Machine de mise en place de noyaux bitumineux, 3<sup>e</sup> génération, système Strabag.  
Fig. 7. — Coupe transversale de la machine de mise en place d'un noyau bitumineux.  
Fig. 8. — Barrage de Grosse Dhünn, Allemagne - Coupe transversale type.  
Fig. 9. — Barrage de Finstertal, Autriche - Coupe transversale type.  
Fig. 10. — Aménagement de fourniture d'eau potable de High Island, Hong Kong - Coupe transversale type des barrages.  
Fig. 11. — Barrage de Breitenbach, Allemagne - Coupe transversale type au stade final de construction.  
Fig. 12. — Barrage de Sulby, Ile de Man, Grande-Bretagne - Coupe transversale type.  
Fig. 13. — Barrage de Wupper, Allemagne - Coupe transversale type.  
Fig. 14. — Barrage de Feistritzbach, Autriche - Coupe transversale type.  
Fig. 15. — Barrage de Grosse Dhünn - Mesures des tassements.  
Fig. 16. — Barrage de Grosse Dhünn - Déformations horizontales.  
Tableau I. — Barrages avec noyaux bitumineux (ordre chronologique).  
Tableau II. — Barrages avec noyaux bitumineux (par groupes de hauteur).  
Tableaux I, II. — Addenda

---

## LIST OF FIGURES AND TABLES

---

- Fig. 1. — Biaxial test on a bituminous concrete sample.  
Fig. 2. — Triaxial test on a bituminous concrete sample.  
Fig. 3. — Static pressure measured in the asphaltic concrete binding agent (bitumen).  
Fig. 4. — Bituminous mixtures for impervious cores.  
Fig. 5. — Case study of a 150 m high dam.  
Fig. 6. — Core placing unit, 3rd generation, Strabag system.  
Fig. 7. — Cross section of the bituminous core placing unit.  
Fig. 8. — Grosse Dhünn dam, Germany - Typical cross section.  
Fig. 9. — Finstertal dam, Austria - Typical cross section.  
Fig. 10. — High Island water scheme, Hong Kong - Typical cross section of the dams.  
Fig. 11. — Breitenbach dam, Germany - Typical cross section at final completion.  
Fig. 12. — Sulby dam, Isle of Man, Great Britain - Typical cross section.  
Fig. 13. — Wupper dam, Germany - Typical cross section.  
Fig. 14. — Feistritzbach dam, Austria - Typical cross section.  
Fig. 15. — Grosse Dhünn dam - Settlement measurements.  
Fig. 16. — Grosse Dhünn dam - Horizontal strains.  
Table I. — Dams with bituminous cores (chronological order).  
Table II. — Dams with bituminous cores (by height categories).  
Tables I, II. — Addenda.



---

## AVANT-PROPOS

---

Le Bulletin 42 consacré aux noyaux bitumineux pour barrages en remblai, publié en 1982, traitait des critères de conception et de projet, des méthodes de construction et des essais utilisés à l'époque; il donnait quelques exemples de réalisation et d'observation du comportement.

Le nouveau Bulletin ne se substitue pas au Bulletin 42, mais le prolonge en présentant le développement de cette technique au cours des dix dernières années, l'expérience acquise et les progrès accomplis dans la conception, le projet, la construction et la connaissance du comportement des noyaux bitumineux. On dispose ainsi d'une synthèse complète des connaissances actuelles sur ce type d'étanchéité.

Tous ceux intéressés par la technique des noyaux bitumineux pour barrages en remblai y trouveront de précieuses informations.

Le Comité Allemand a bien voulu préparer ce Bulletin, mettant ainsi sa grande expérience au service de tous. Qu'il en soit vivement remercié.

G.-S. Larocque  
Président du Comité des Matériaux  
pour Barrages en Remblai

---

## FOREWORD

---

Bulletin 42 on bituminous cores for fill dams, published in 1982, dealt with design criteria, construction methods and tests at that time; some examples of application and performance monitoring were given.

This new Bulletin does not replace but continues Bulletin 42 in dealing with the development of this technique during the past decade, the experience gained and progress made in the design, the construction and the knowledge of bituminous core behaviour. It offers a comprehensive synthesis of present knowledge on this type of watertight component.

All those involved in the technique of bituminous cores for fill dams will find it full of useful information.

The German Committee has agreed to prepare this Bulletin, sharing its wide experience with the ICOLD readership. It deserves our best appreciation.

G.-S. Larocque  
Chairman, Committee on Materials  
for Fill Dams

---

## 1. INTRODUCTION

---

L'étanchement de barrages en terre et en enrochement au moyen de noyaux bitumineux a pris une très grande importance dans le monde entier et dans toutes les zones climatiques; cet élément d'étanchéité — mieux que la plupart des autres — satisfait, en effet, aux exigences de sécurité les plus strictes grâce à sa déformabilité, sa bonne résistance à l'érosion et au vieillissement, et surtout grâce au mode de construction sans joint.

Lors de sa réunion à San Francisco en juin 1988, le 16<sup>e</sup> Congrès de la Commission Internationale des Grands Barrages a traité de cette question.

Dans le cadre de la Question 61 « Barrages en remblai : organes d'étanchéité autres que les noyaux en terre », des experts d'un grand nombre de pays y ont échangé leurs expériences dans plus de 50 rapports pour aboutir à l'idée directrice suivante :

« Le barrage en enrochement, avec un masque en béton de ciment ou en béton bitumineux, ou avec un écran interne en béton bitumineux, est un type de barrage convenant aux futurs ouvrages de très grande hauteur. »

Au cours des 40 dernières années, on a construit plus de 60 barrages avec noyau bitumineux, dont certains ont 100 mètres et plus de hauteur. Par suite du développement considérable de cette technique, on a acquis de vastes expériences sur le projet, le mode de construction et les mesures de contrôle, ces expériences dépassant celles mentionnées dans l'édition 1982 du Bulletin 42.

Le nouveau Bulletin tient compte de l'évolution continue, pendant de longues années, de cette technique d'étanchéité pour barrages, dont les premières applications ont été faites principalement en Allemagne. Un certain nombre d'autres procédés légèrement modifiés se rattachent à cette technique de base.

Le Comité CIGB des Matériaux pour Barrages confia au Comité National Allemand la préparation du Bulletin 42 (1982), qui fut publié comme complément aux :

Bulletin 32 (1977), 32 a (1982) :

« Masques amont en béton bitumineux pour barrages en terre et en enrochement. »

Bulletin 39 (1981) :

« Raccordement du masque amont avec la fondation et les rives. »

La nouvelle édition présente la technique actuelle et renvoie à la première édition publiée en 1982 pour ce qui concerne le développement antérieur des divers procédés de construction et essais. On a repris la longue liste de références qui a été complétée.

Il s'est avéré que le concept de « zone de ralentissement » (voir chapitre 5, Tableau I, N° 2 Barrage de Henne et N° 6 Barrage de Bigge) n'était plus valable, un seul ouvrage de ce type ayant été réalisé au cours de ces dernières années, à savoir le barrage de Wehebach (voir chapitre 5, Tableau I, N° 33).



---

## 1. INTRODUCTION

---

The sealing of earth and rockfill dams by means of asphaltic concrete cores has attained major importance throughout the world and in all climatic zones of the earth as, due to their deformability, erosive strength, resistance to ageing, and their construction without joint, these sealings best meet the highest safety requirements.

These subjects were dealt with during the 16th Congress of the International Commission on Large Dams held in San Francisco in June 1988.

With reference to Question 61 “ Embankment Dams : Impervious Elements Other Than Clay Cores ”, experts from all over the world exchanged experiences in more than 50 contributions, drawing up the guiding principles :

“ The rockfill dam, asphalt or concrete faced or with an asphalt diaphragm, is an appropriate dam type for the very highest future dams. ”.

More than 60 dams with asphaltic concrete with heights of, in some instances, 100 meters and over, have been built in the past 40 years. As a result of the dynamic development of this technique, experience has been gained in design, construction methods and control measures, which now exceeds that covered in the 1982 edition of Bulletin 42.

The new Bulletin takes into consideration the many years of systematic development of this sealing technique for dams which mainly originated in Germany. Some slightly varying methods are based on this standard technique.

Bulletin 42 (1982) was commissioned by the ICOLD Committee on Materials for Dams, prepared by the German National Committee, and published as a supplement to :

Bulletin 32 (1977), 32 a (1982) :

“ Bituminous Concrete Facings for Earth and Rockfill Dams ”.

Bulletin 39 (1981) :

“ Upstream Facing Interface with Foundations and Abutments ”.

The updated version now available represents the state-of-the-art and refers to the original edition of 1982 in respect to the past development of various methods of placing and test projects. However the comprehensive reference data have been taken over and supplemented.

With the exception of the Wehebach Dam, the only project of this type executed in the more recent past (see Chapter 5, Table I, No. 33), it has been demonstrated that the concept of the retarding zone (see Chapter 5, Table I, No. 2 — Henne Dam and No. 6 — Bigge Dam) is apparently no longer relevant.

La méthode du béton cyclopéen s'est révélée inappropriée, du moins pour les barrages de grande hauteur. Dans cette méthode, de grosses pierres sont vibrées dans un mortier ou mastic bitumineux, ou bien un squelette de pierres est rempli de bitume chaud. Ces méthodes comportent un risque trop grand de percolations et ne sont acceptables que dans le cas de petits barrages où ce problème est moins important.

The so-called Cyclopean Method, where larger sized stones are vibrated into bituminous mortar or mastic or a skeleton of larger stones is filled up with hot bitumen, has proved unsuitable, at least for large-scale dams. These placing methods conceal too high a risk in respect to potential seepage paths. This type of solution is only feasible with smaller dams where this consideration is of less importance.

---

## 2. CARACTÉRISTIQUES DES NOYAUX EN BÉTON BITUMINEUX

---

Le comportement élasto-plastique du béton bitumineux est à la base de son emploi pour la construction de noyaux bitumineux dans les barrages. Ce matériau est d'une flexibilité suffisante pour s'adapter aux déformations du corps du barrage sans risque de fissuration, garantissant ainsi l'étanchéité du noyau.

La principale prescription à satisfaire dans la mise en place d'un noyau bitumineux est que l'étanchéité subsiste dans n'importe quel état de déformation du barrage.

La condition préalable pour atteindre ce but est que le mélange bitumineux soit facilement ouvrable, c'est-à-dire maniable et compactable.

Le noyau bitumineux à l'intérieur du remblai est supporté des deux côtés par des recharges en terre ou en enrochement. Par rapport aux masques bitumineux externes, les caractéristiques particulières suivantes en résultent.

### 2.1. CARACTÉRISTIQUES DE CONCEPTION

**2.1.1.** L'étanchéité d'un barrage doit assurer la sécurité et le bon fonctionnement de l'ensemble de l'ouvrage. Dans tous les cas où les matériaux d'étanchéité naturels ne sont pas disponibles à une distance économique du barrage, le noyau en béton bitumineux permet de choisir l'emplacement le plus favorable pour construire le barrage.

**2.1.2.** Pour tirer le maximum de profit des conditions géologiques et topographiques, et compte tenu des exigences constructives, le noyau bitumineux peut être vertical, incliné, arqué, ou former un angle dans le tiers supérieur pour éviter des fissures dues au tassement de saturation. Le noyau bitumineux peut aussi être réalisé sous forme d'un mur-parafouille, associé à un tapis imperméable en béton bitumineux; cet écran implanté sous la base du barrage constitue un organe de coupure dans des dépôts sédimentaires perméables profonds.

**2.1.3.** La flexibilité du béton bitumineux, résultant de ses propriétés élasto-plastiques, lui permet de s'adapter aux tassements différentiels sous charge, difficiles à estimer.

Selon les connaissances techniques actuelles, l'écran interne d'étanchéité aura une épaisseur constante du pied jusqu'à la partie supérieure.

**2.1.4.** La technique courante de mise en place permet une liaison homogène entre le noyau bitumineux et les zones de transition des recharges et assure ainsi une déformation identique du noyau et des zones de transition.

**2.1.5.** Dans le cas d'un noyau vertical, la zone de drainage aval, constituée de roche concassée et située entre le noyau et la recharge aval, permet un contrôle efficace des percolations.

---

## 2. CHARACTERISTICS OF ASPHALTIC CONCRETE CORES

---

The basis for application of bituminous cores in dams is an elastoplastic behaviour of the asphaltic concrete as building material. This characteristic helps to prevent cracks in the core subsequent to deformations of the embankment, thus ensuring the imperviousness of the core.

The main specification to be complied with in the placing of a bituminous core is the maintenance of water impermeability under all conceivable deformation conditions.

The prerequisite for achieving this aim is the workability, i.e. the placeability and compactability of the bituminous mix.

The asphaltic concrete core in the interior of the dam fill is supported by earth or rock structures on both sides. In comparison to external facings, this results in specific characteristics which can be classified as follows.

### 2.1. DESIGN CHARACTERISTICS

**2.1.1.** The sealing of a dam must ensure the safety and functionability of the whole structure. Bituminous cores permit the most favourable dam location to be chosen even in cases where natural sealing materials are not available within an economically viable distance.

**2.1.2.** For the optimal exploitation of the geological and topographical conditions and structural requirements, the bituminous core wall can be designed as vertical, inclined, arched, or angled in the upper third section to prevent cracks in cases of saturation settlement. Combined with an asphaltic concrete blanket, the asphaltic concrete core can also be executed as a cut-off wall beneath the dam base area in order to seal deep-lying permeable deposits.

**2.1.3.** As a result of its elastoplastic properties, the advantageous deformability of the asphaltic concrete covers uncertainties in differential settlement estimates by subsequent deformability under load.

According to more recent knowledge, the core wall should be placed in a constant thickness from the base to the top.

**2.1.4.** The current placing technique achieves a homogeneous interlocking of the asphaltic concrete core with the transition zones to the embankment and ensures a similar deformation of the core and the transition zones.

**2.1.5.** With a continuous, vertical positioning of the core, the downstream drainage layer permits full controllability of seepage water by means of the crushed rock drainage layer between embankment and core.

**2.1.6.** Le noyau bitumineux offre une très grande protection vis-à-vis des détériorations pouvant résulter d'actes de violence ou de séismes. La partie la plus sensible est protégée par les recharges.

**2.1.7.** Les noyaux bitumineux résistent à l'érosion. Leur déformabilité plastique les protège de la fissuration et assure leur étanchéité dans les divers cas de déformations du corps du barrage qui sont difficiles à calculer avec précision au stade du projet.

## **2.2. CARACTÉRISTIQUES ÉCONOMIQUES**

**2.2.1.** Un barrage avec un noyau bitumineux peut être mis en eau et utilisé avant l'achèvement des travaux, ce qui permet de stocker dans la retenue les eaux provenant des précipitations saisonnières éventuelles.

**2.2.2.** En cas de faibles percolations à travers l'écran d'étanchéité, l'absorption de fines provenant de la zone de transition amont, ainsi qu'un fluage, favorisent la bonne capacité d'auto-réparation du noyau en béton bitumineux.

**2.2.3.** La mise en place du noyau bitumineux est pour l'essentiel indépendante des conditions climatiques. La capacité calorifique élevée du matériau bitumineux chaud rend possible la mise en place même par mauvais temps, et, si nécessaire, de simples mesures de protection suffiront pour prolonger la période des travaux.

Les périodes de mise en place pourront ainsi être considérablement prolongées, en particulier sur des chantiers en haute montagne ou dans des régions très pluvieuses. En outre, le choix d'un noyau bitumineux permet une mise en place continue de la terre et de l'enrochement dans les recharges du barrage, pendant et après une période pluvieuse. Ces travaux ne sont pas sensibles à l'eau, mais dépendent du niveau d'avancement du noyau; dans le cas d'un noyau d'argile, sa construction est très sensible à la pluie et doit être interrompue pendant les précipitations, les travaux ne pouvant reprendre qu'après une certaine période de séchage.

**2.2.4.** Par suite de sa position centrale dans le barrage, l'écran interne, contrairement au masque amont, a une longueur minimale, l'écran vertical présentant la surface d'étanchéité la plus petite concevable pour un barrage.

## **2.3. CARACTÉRISTIQUES CONCERNANT L'ENVIRONNEMENT**

**2.3.1.** Les parements des barrages avec écran interne d'étanchéité peuvent être conçus en harmonie avec le milieu rocheux naturel, ou se prêter à des ensemencements ou à des aménagements paysagers.

**2.3.2.** Les matériaux bitumineux sont insolubles dans l'eau et ne sont nuisibles ni pour l'eau potable, ni pour l'environnement.



**2.1.6.** Bituminous cores provide the highest protection against mechanical defects caused by acts of violence or earthquakes which it is possible to attain for a dam structure. The most sensitive sector is protected by the embankment.

**2.1.7.** Asphaltic concrete cores are non-erosive. Freedom from cracks, and thus water impermeability, is ensured by the plastic deformability which conforms to all deformations of the dam body which cannot be accurately determined in advance during the design and calculation stages.

## **2.2. ECONOMIC EFFICIENCY CHARACTERISTICS**

**2.2.1.** Asphaltic concrete cores permit impounding during construction, so that potential seasonal rainwater can already be collected prior to full completion of the works.

**2.2.2.** Should minor seepages in the core wall occur, the asphaltic concrete has a good possibility for self-healing due to subsequent creep and the migration of fine particles from the upstream face transition zone into fissures or other small deficiencies of the core.

**2.2.3.** Placing of the asphaltic concrete core is mainly independent of climatic influences. The high thermal capacity of the hot bituminous mix enables placing to be continued under unfavourable weather conditions and, if necessary, the possible installation period can be increased still further by simple protection measures.

This characteristic extends the available placing periods, particularly for sites in mountainous terrain and areas with a high rainfall. Furthermore, the choice of an asphaltic concrete core allows continuous earth and rockfill operations for the dam shells during and after a rainy period. These works are not sensitive to water but they are dependent on the progress of the core placing operation, which in the case of a clay core is highly sensitive to rain and has not only to be interrupted during rainfall but can only be continued after a certain drying out period.

**2.2.4.** Due to its central location in the dam, the core wall has the shortest possible length in contrast to upstream facings and, in the case of a vertical core, the smallest sealing area possible for a dam structure.

## **2.3. ECOLOGICAL CHARACTERISTICS**

**2.3.1.** Internal core walls permit design of the dam surface to conform with the natural rock formation, or as suitable for seeding and landscaping.

**2.3.2.** Bituminous construction materials are insoluble in water, environmentally compatible, and have been proven to be non-harmful to drinking water sources.

---

### 3. CRITÈRES DE CONCEPTION ET DE PROJET

---

#### 3.1. REMARQUES PRÉLIMINAIRES

Les critères de conception et de projet mentionnés ci-après s'appliquent aux noyaux bitumineux mis en place conformément à la technique actuelle de construction. Ces procédés de construction sont décrits en détail dans le chapitre 4, le noyau bitumineux étant construit en même temps que le remblai du barrage.

#### 3.2. DIMENSIONS DU NOYAU EN BÉTON BITUMINEUX ET DES ZONES DE TRANSITION

Dans le cas de barrages d'une hauteur de plus de 30 m, l'épaisseur du noyau bitumineux est en général comprise entre 60 cm et 100 cm, cette épaisseur dépendant de la hauteur du barrage. Par suite des multiples contraintes exercées sur le noyau, il est recommandé de ne pas réduire l'épaisseur du noyau en allant vers le haut, ce qu'on a fait plusieurs fois jusqu'à présent.

La granulométrie des éléments minéraux pour le béton bitumineux satisfait à la courbe de Fuller, mais avec un enrichissement en fines. Les dimensions des composants du mélange, c'est-à-dire filler, sable et gravillon/gravier, varient entre 0 et 16 mm. Afin d'augmenter l'ouvrabilité et la compactibilité, on ajoute généralement du sable naturel, de forme arrondie, dont la granulométrie satisfait à la courbe de Fuller précitée. La teneur en bitume étant d'environ 6 % en poids, le mélange est facile à mettre en place et permet un compactage jusqu'à un volume de vides inférieur à 3 %. Avec une telle teneur en vides, qui est calculée comme la différence entre le poids spécifique de l'échantillon d'essai et la densité du mélange bitumineux dont est constitué l'échantillon, le béton bitumineux est étanche, même sous des charges d'eau élevées.

Les deux zones de transition, de 1 à 2 m d'épaisseur chacune, sont mises en place à l'amont et à l'aval du noyau bitumineux. Elles sont constituées d'un matériau rocheux dur, de bonne granulométrie, dont la dimension maximale des éléments ne dépasse pas 100 mm.

Pour faciliter l'auto-colmatage de zones de fuites éventuelles dans le noyau, on peut ajouter une quantité suffisante de fines dans les zones de transition amont. En plus de l'auto-réparation éventuelle, le débit d'une fuite résultant d'un défaut peut être considérablement réduit de cette façon.

La zone de transition aval sert de drain-cheminée pour l'évacuation contrôlée des eaux de percolation à travers le noyau. La subdivision du filtre doit permettre de recueillir séparément les eaux de percolation provenant des versants et, le cas échéant, de la vallée. Dans le cas de grandes longueurs, on fera une séparation au moins tous les 100 m. Les eaux de percolation sont évacuées séparément depuis les zones de mesure individuelles jusqu'à la galerie de visite, s'il y en a une. Étant donné que la mesure des eaux de percolation représente une partie importante du contrôle

---

## 3. DESIGN PRINCIPLES

---

### 3.1. PRELIMINARY REMARKS

The design principles described in the following apply to asphaltic concrete cores which are installed in accordance with a construction method complying with the current state-of-the-art and these methods are described in greater detail in Chapter 4. The asphaltic concrete core is constructed at simultaneous levels with the dam fill.

### 3.2. DIMENSIONS OF THE ASPHALTIC CONCRETE CORE AND TRANSITION ZONES

Where dams are over 30 m in height, the core thickness should be between 60 and 100 cm, depending on the dam height. An upward gradation of the core thickness, as is so often practised, cannot be recommended owing to the multiple stressing to which the impervious element is subjected.

The mineral grain composition for the asphaltic concrete complies with Fuller's best mix curve with an improved fine grain component. Thereby the grain sizes from filler, sand and chippings/gravel lie between 0 – 16 mm. In order to increase the workability and compactability, natural round sand is usually added, the gradation of which must comply with the above mentioned Fuller-curve. With a bitumen content of 6 % approx. (by weight), the mix is easy to place and compact to a voids percentage of below 3 % (by volume). With this voids content, which is calculated as being the difference between the specific gravity of the test specimen and the specific density of the bituminous mix of which the specimen is composed, the asphaltic concrete is impervious even under high water pressure.

The 1 to 2 m wide transition zones are installed on the upstream and downstream sides of the asphaltic concrete core and comprise graded hard rock material with a maximum grain size of 100 mm.

In order to implement the self-healing of possible leakage points in the core, the upstream transition zones can receive an appropriate fine grain admix. In addition to a possible self-healing, this effects a considerable reduction in the volume of water inflow at a defect.

The downstream transition zone works as a chimney drain for the controlled drainage of seepage through the core. The filter is thereby divided at least in such a way that seepage water from the two abutment areas, and if necessary from the valley, can be collected separately. Where there are greater lengths, a division should be made at least every 100 m. Seepage water is then led separately from individual measuring sectors into the inspection gallery, if one is available. As the measurement of seepage water is a major part of dam monitoring, exclusion of the danger of

du barrage, l'élimination du risque de détériorations dans le réseau des conduites de collecte et d'évacuation des eaux de percolation est un avantage certain pour la sécurité de l'ouvrage. S'il n'y a pas de galerie de visite, il y a lieu d'étudier et d'exécuter avec grand soin le drainage des eaux de percolation à travers la recharge aval.

Le compactage intensif des zones de transition et du noyau bitumineux à l'état chaud et plastique permet une bonne liaison entre ces deux éléments d'ouvrage. Il en résulte qu'il n'y aura pas de tassement différentiel entre le noyau bitumineux et les zones de transition.

### **3.3. POSITION DU NOYAU EN BÉTON BITUMINEUX DANS LE BARRAGE**

Le noyau sera placé, en général, au centre du corps du barrage, à cause du bon comportement en déformation dans cette zone. Pour agrandir la section statiquement effective du barrage, si cela s'avère nécessaire, le noyau peut être déplacé un peu vers l'amont.

Dans les barrages jusqu'à 60 m de hauteur, le noyau est, en général, vertical sur toute sa hauteur. Dans le cas de barrages plus hauts, le noyau est légèrement incliné vers l'aval dans sa partie supérieure. De cette façon, il y a moins de risque de séparation entre le massif de remblai amont et le noyau dans la zone de crête.

### **3.4. RECOMMANDATIONS POUR L'OBTENTION D'UNE ÉTANCHÉITÉ OPTIMALE DU BÉTON BITUMINEUX**

Dans les ouvrages hydrauliques, le béton bitumineux est considéré comme étanche, tant que son volume de vides ne dépasse pas 3 % [46]. Cette valeur limite doit être garantie non seulement après la mise en place, mais aussi sous n'importe quelles conditions de contrainte et de déformation pendant l'exploitation du barrage. Sous cet angle, il faut examiner les conditions d'exploitation donnant, dans le noyau bitumineux, une différence maximale entre la contrainte verticale  $\sigma_1$  et la contrainte horizontale  $\sigma_3$ .

Seul ce déviateur de contrainte ( $\sigma_1 - \sigma_3$ ), associé à la contrainte de cisaillement se produisant en même temps, pourrait conduire à une dilatation et, de ce fait, à un accroissement des vides. Dans le chapitre suivant, on montrera qu'il n'y aura aucune dilatation du noyau, même si les contraintes  $\sigma_1$ ,  $\sigma_3$  et la contrainte de cisaillement se produisent en même temps, lorsque les travaux de remblai ont été effectués conformément aux règles de l'art.

### **3.5. ÉTAT DE CONTRAINTE TRIDIMENSIONNEL DU NOYAU EN BÉTON BITUMINEUX**

La déformation volumique du béton bitumineux se détermine en laboratoire en considérant la déformation verticale  $\varepsilon_1$  et la déformation horizontale  $\varepsilon_3$ . Dans les

damage to the seepage water pipe-line is a positive advantage for structural stability. Should there be no inspection gallery, drainage of the seepage water through the downstream embankment must be carefully planned and executed.

The intensive compaction of the transition zones and the hot plastic asphaltic concrete core result in a close interlocking of both construction elements. The asphaltic concrete core can therefore not deform differentially from the transition zones.

### **3.3. POSITION OF THE ASPHALTIC CONCRETE CORE IN THE DAM**

In general, the core should be placed centrally in the dam because of the advantageous deformation behaviour in this zone. However, in order to increase the statically effective cross section of the dam, if this is required, the core can also be arranged somewhat nearer to the upstream side.

In dams with a height of up to 60 m, the core is usually carried out as vertical throughout. With higher dams it is slightly inclined towards the downstream side in the upper sector. The latter reduces the danger of the upstream embankment becoming detached from the core in the crest area.

### **3.4. GUIDELINES FOR OPTIMIZATION OF THE WATERTIGHTNESS OF ASPHALTIC CONCRETE**

With respect to hydraulic structures, asphaltic concrete is taken as watertight as long as its voids content does not exceed 3 % (by volume) [46]. However, this threshold value must be maintained not only after installation but also under all possible stress/strain and deformation states during operation of the dam. Operating conditions resulting in a maximal difference between the vertical stress  $\sigma_1$  and the horizontal stress  $\sigma_3$  in the asphaltic concrete core must therefore be investigated taking these aspects into consideration.

Only this deviator stress ( $\sigma_1 - \sigma_3$ ) with simultaneously occurring shear stress could lead to dilation and thereby to an increase in the voids content. In the following chapter it will be substantiated that even the simultaneous occurrence of  $\sigma_1$ ,  $\sigma_3$  and shear stress do not lead to dilation when the dam fill is executed in a professional manner.

### **3.5. THREE DIMENSIONAL STRESS SITUATION OF THE ASPHALTIC CONCRETE CORE**

The volumetric strain of the asphaltic concrete is determined in the laboratory taking the vertical deformation  $\varepsilon_1$  and the horizontal deformation  $\varepsilon_3$  into

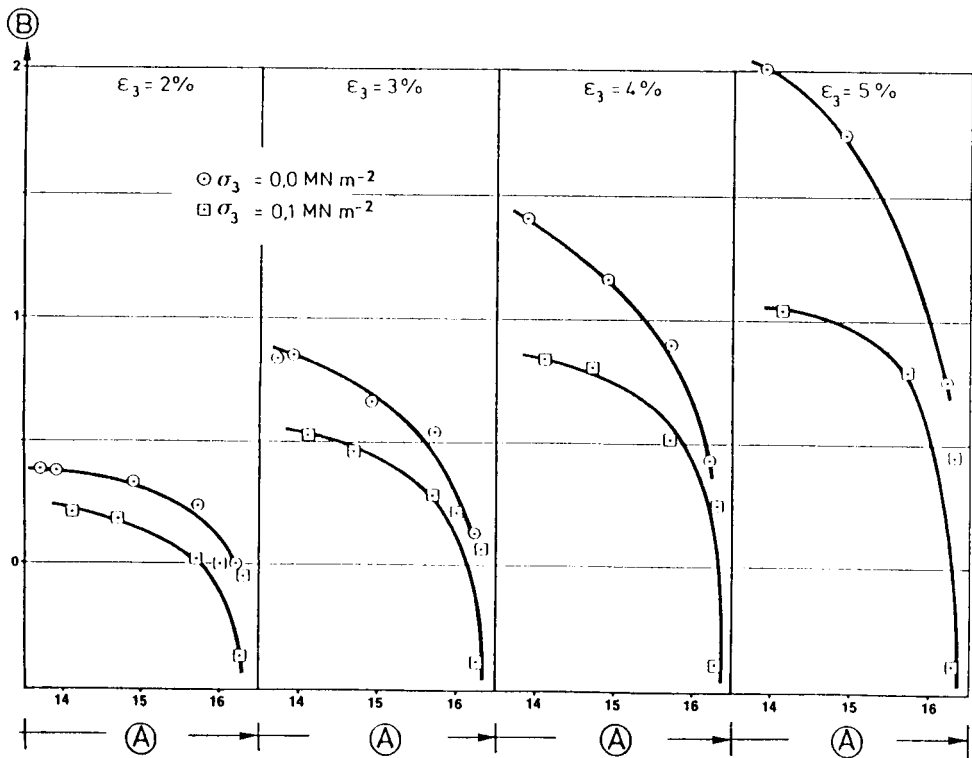
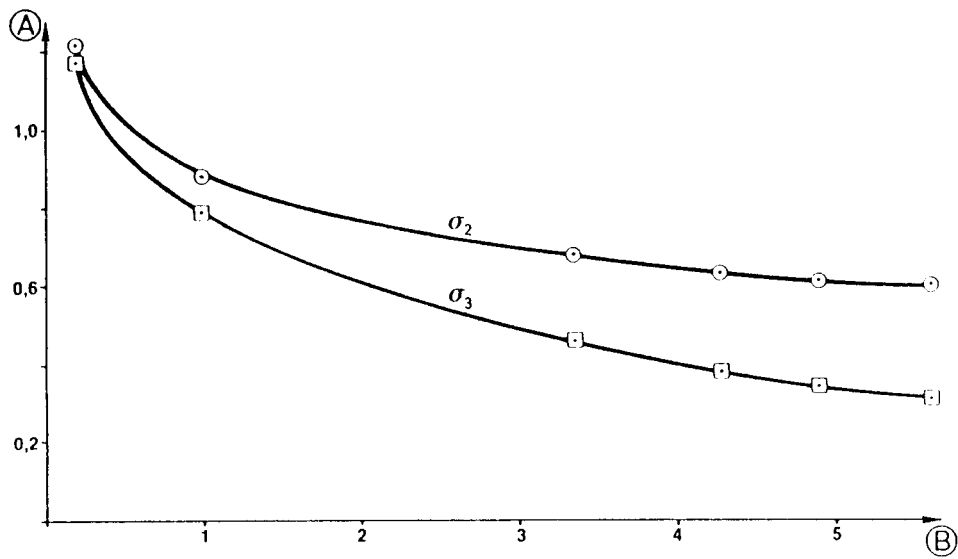




Fig. 1

Biaxial Pressure Test with " Closed System " Under a Vertical Load of  $\sigma_1 = 1.5 \text{ MN/m}^2$   
with Horizontal Pressures  $\sigma_2$  and  $\sigma_3$  Developing at Different Horizontal Strains  $\epsilon_3$   
(Bitumen Content of the Specimen = 6.1 % by weight).

*Essai biaxial de pression « système fermé » sous une contrainte verticale  $\sigma_1 = 1.5 \text{ MN/m}^2$ ,  
avec des contraintes horizontales  $\sigma_2$  et  $\sigma_3$ , correspondant à des déformations horizontales  $\epsilon_3$ ,  
(Teneur en bitume de l'éprouvette = 6,1 % en poids).*

(A) Stress  $\sigma$  [ $\text{MN/m}^2$ ].

(A) Contrainte  $\sigma$  [ $\text{MN/m}^2$ ].

(B) Strain  $\epsilon_3$  [%].

(B) Déformation  $\epsilon_3$  [%].

Fig. 2

Triaxial Test with  $\sigma_1 = 1.5 \text{ MN/m}^2$  and  $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$  or  $0.1 \text{ MN/m}^2$ .  
Volume Changes Developed in Dependency with Voids Content of the Mineral Mix.

*Essai triaxial avec  $\sigma_1 = 1,5 \text{ MN/m}^2$  et  $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$  ou  $0,1 \text{ MN/m}^2$ .  
Changement de volume en fonction du volume de vides du mélange minéral.*

(A) Voids content of the mineral mix  $H_{M, \text{ bit}}$   
[% vol.].

(A) Pourcentage de vides du mélange minéral  
 $H_{M, \text{ bit}}$  [% vol.].

(B) Volume change  $\frac{\Delta V}{V}$  [%].

(B) Variation de volume  $\frac{\Delta V}{V}$  [%].

essais triaxiaux classiques utilisés à cet effet, les pressions latérales  $\sigma_2$  et  $\sigma_3$  sont axi-symétriques, et ainsi  $\sigma_2 = \sigma_3$ . Cependant, dans les noyaux bitumineux situés dans des barrages en enrochement, la dilatation transversale dans la direction axiale est entravée, c'est-à-dire  $\epsilon_2 = 0$ . La Fig. 1 montre que dans l'essai biaxial le rapport des contraintes horizontales  $\sigma_2/\sigma_3$  varie de 1,12 à 1,82 quand la déformation horizontale  $\epsilon_3$  augmente de 1 % à 5 %. Il en résulte que, principalement dans le cas de déformations horizontales importantes qui peuvent entraîner un accroissement de volume, les hypothèses de calcul déterminées à partir d'essais triaxiaux donnent des variations de volume trop importantes comparées à la réalité.

Néanmoins, les essais triaxiaux reflètent l'influence exercée par le déviateur de contrainte  $\sigma_1 - \sigma_3$  et les vides du mélange sur la variation éventuelle de volume. La Fig. 2 montre clairement que les éprouvettes ne changent pratiquement pas de volume, même pour une déformation horizontale  $\epsilon_3$  de 5 % et un déviateur de contrainte  $\sigma_1 - \sigma_3$  de 1,4 MN/m<sup>2</sup>, tant que le volume des vides du mélange minéral (teneur en air et liant) est de 16 %. Cette valeur correspond à une teneur en liant de 6 % en poids. Pour une expansion transversale  $\epsilon_3 < 2$  %, il était impossible de mesurer les variations de volume, même pour  $\sigma_3 = 0$  ( $\sigma_1 = 1,5$  MN/m<sup>2</sup>).

Tous ces essais confirment que la teneur en liant ne devra pas, en général, être inférieure à 6 % en poids, afin que l'étanchéité du béton bitumineux soit garantie sous n'importe quelles contraintes.

### **3.6. RECOMMANDATIONS POUR L'OBTENTION D'UNE RIGIDITÉ ET D'UNE RÉSISTANCE AU CISAILLEMENT OPTIMALES**

La rigidité du noyau en béton bitumineux dépend d'un grand nombre de conditions. Par suite de la déformation horizontale importante dans la phase « molle » au cours de la mise en place, de l'état de contrainte biaxial détaillé ci-dessus, et de l'influence de la teneur en liant et de la composition minérale, il est pratiquement impossible de simuler dans un essai triaxial le comportement en contrainte-déformation du noyau bitumineux. Néanmoins, les essais triaxiaux facilitent l'identification de mélanges bitumineux trop mous, qui sont inutilisables parce qu'ils nécessitent, pour la stabilité, une pression latérale plus forte que celle existant dans le remblai. Cependant, suivant les résultats d'expériences, une pression latérale de 0,1 MN/m<sup>2</sup> suffit à assurer la stabilité. En ce qui concerne cette stabilité, il faudra trouver un dosage en bitume qui assure une résistance au cisaillement maximale sans diminuer l'étanchéité.

### **3.7. COMPARAISON DU COMPORTEMENT DES NOYAUX EN TERRE AVEC CELUI DES NOYAUX EN BÉTON BITUMINEUX VIS-À-VIS DE LA FRACTURATION HYDRAULIQUE**

Lors du Congrès de la CIGB à Rio de Janeiro, en 1982, on a discuté des dégâts causés dans les noyaux en terre par suite de leur fracturation hydraulique. Cet effet ne peut se produire que lorsque la pression de l'eau interstitielle dans le noyau dépasse la contrainte verticale totale  $\sigma_1$ . Si le noyau en terre est mince et est constitué

consideration. In the conventional triaxial tests used for this purpose, the lateral pressures  $\sigma_2$  and  $\sigma_3$  are rotationally symmetrical and consequently also  $\sigma_2 = \sigma_3$ . However, when the asphaltic concrete core is installed in a rockfill dam, transverse expansion is prevented in the axial direction of the dam, i.e.  $\epsilon_2 = 0$ . As shown in Fig. 1, in the bi-axial investigation the relationship of the horizontal stresses  $\sigma_2/\sigma_3$  increases from 1.12 with a horizontal strain  $\epsilon_3 = 1\%$  to 1.82 with  $\epsilon_3 = 5\%$ . It therefore follows that, particularly with major horizontal strains which could only lead to a possible increase in volume, the design assumptions from triaxial investigations result in volume changes which are too high in comparison with the reality.

Irrespective of this fact, triaxial investigations reflect the influence of the deviator stress  $\sigma_1 - \sigma_3$  and the voids content of the mineral mix on the possible volumetric change. At the same time Fig. 2 shows clearly that samples hardly change in volume even at a horizontal strain of  $\epsilon_3 = 5\%$  and a deviator stress of  $\sigma_1 - \sigma_3 = 1.4 \text{ MN/m}^2$ , when the voids content of the relevant mineral mix (air and binder content) shows 16% (by volume). This value corresponded to a binder content of 6% (by weight). Volumetric changes at a transverse expansion  $\epsilon_3 < 2\%$  were not measurable even at  $\sigma_3 = 0$  ( $\sigma_1 = 1.5 \text{ MN/m}^2$ ).

The tests described confirm empiric experience in accordance with which the binder content should, in general, be not less than 6% (by weight) in order to assure the imperviousness of the asphaltic concrete under all conceivable loads.

### **3.6. GUIDELINES FOR OPTIMIZATION OF THE ELASTICITY AND SHEAR STRENGTH**

The elasticity of the asphaltic concrete core is dependent on many conditions. Significant horizontal deformation in the "soft phase" during placing, the biaxial stress state described in greater detail under 3.5, and dependence on the binder content and composition of the mineral mix make it almost impossible to simulate the stress-strain behaviour of the asphaltic concrete core in the triaxial investigation. Nevertheless, triaxial tests do permit the recognition of too soft asphalt mixes which, for equilibrium, require a lateral pressure higher than that present in the dam fill, which thereby excludes them as unsuitable. However, on the basis of experience, even a lateral pressure of  $0.1 \text{ MN/m}^2$  is sufficient to produce stability. In respect to this stability, an asphalt design showing a maximum shear resistance with no reduction of impermeability should be aimed for.

### **3.7. COMPARISON OF THE BEHAVIOUR OF EARTH CORES WITH ASPHALTIC CONCRETE CORES IN RESPECT TO HYDRAULIC FRACTURING**

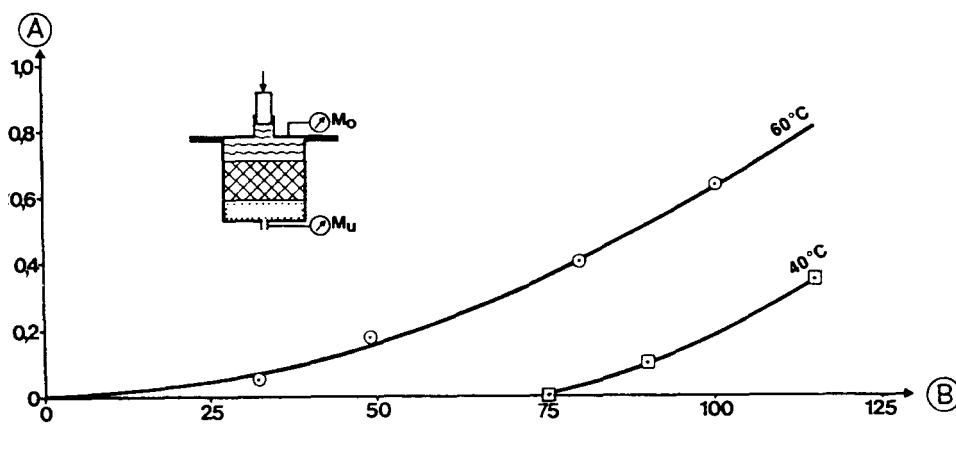
During the 1982 ICOLD Congress in Rio de Janeiro, defects in earth cores caused by fracture of the core as a result of impounded water pressure were discussed. This effect of hydraulic fracture can only occur when the pore water pressure in the core is greater than the total vertical stress  $\sigma_1$ . With a narrow core

d'un matériau cohésif, son module de rigidité par rapport au module de déformation du remblai — enrochement ou gravier — est très faible. Il peut en résulter que le noyau en terre est suspendu à la zone plus rigide du massif en remblai, ce qui a pour conséquence la réduction de la contrainte verticale  $\sigma_v$  dans le noyau [6]. Cet « effet de suspension » peut être contrecarré en adoptant un noyau suffisamment épais associé à une zone de transition, ce qui corrige les différences de rigidité entre le noyau et le massif en remblai. L'emploi d'un matériau plus rigide pour le noyau en terre n'est pas une solution appropriée pour éviter l'effet de suspension, car un tel matériau est simultanément moins flexible et moins étanche.

Dans le cas particulier d'une vallée étroite aux versants raides, la composition du mélange bitumineux pour le noyau doit être étudiée de façon qu'il n'y ait pas d'effet d'arc dans la direction longitudinale.

Lorsqu'on examine si la fracturation hydraulique est également possible dans les noyaux bitumineux, il faut tenir compte des propriétés techniques différentes des noyaux en terre et des noyaux en béton bitumineux. L'eau dans les pores du noyau en terre se comporte comme un fluide de faible viscosité. Il y a un écoulement d'eau à travers le noyau en terre et une pression hydrostatique se développe dans les vides. Pour une teneur en eau  $w = 10\%$  au moment de la mise en place, le volume des vides du noyau en terre atteint 20-30 %.

En ce qui concerne les noyaux en béton bitumineux, la viscosité du bitume dans ces noyaux n'est plus mesurable à une température de 10 °C. Donc, à l'opposé des noyaux en terre, une percolation et le développement d'une pression interstitielle ne sont pas possibles dans le béton bitumineux. Les résultats des essais indiqués dans la Fig. 3, dans lesquels fut mesurée la pression statique interne dans le bitume du béton bitumineux, confirment ce fait. Une réaction du bitume à la pression d'eau ne fut observée, pour une température de 40 °C, qu'à partir d'une pression d'eau de 7,5 MN/m<sup>2</sup>. Les pressions de réaction mesurées sont négligeables, compte tenu de l'épaisseur de couche très faible de 15 cm, comparativement à la situation réelle en phase de construction.



comprising cohesive material, the modulus of elasticity in comparison with gravel or rockfill embankments is very low. In accordance with [6], this can result in a suspension of the core on the more rigid zone of the embankment, which leads to a reduction of the vertical stress  $\sigma_v$  in the core. This “ hanging effect ” can be counteracted by a sufficiently thick core combined with a transition zone which compensates for variations in rigidity between core and embankment. However, as stiffer core material is simultaneously more inflexible and suffers a loss of impermeability, it is not feasible to aim for more rigidity in order to avoid the “ hanging effect ” in the case of earth cores.

In the special case of a narrow valley with steep flanks, the composition of the bituminous mix for the core must be designed in such a way that no arching effect can occur in the longitudinal direction.

The differing technical characteristics of earth and asphaltic concrete cores must be taken into consideration when dealing with the question of whether the hydraulic fracture possible in the case of earth cores is also to be feared for asphaltic concrete cores. Water behaviour in the voids of an earth core is similar to that of a low viscosity fluid. There is a water flow through the earth core, and a continuous hydrostatic pressure develops in the voids. With a placement water content of  $w = 10 \%$ , the voids content of the earth core amounts to 20-30 % by volume.

In comparison, at 10 °C the viscosity of the bitumen in the asphaltic concrete of the core is no longer measurable. Therefore, in contrast to earth cores, seepage and the corresponding pressure build-up is not possible in asphaltic concrete. As shown in Fig. 3, this is also demonstrated in test results where the static pressure in the bitumen within the asphaltic concrete was measured. A reaction of the bitumen to water pressure could only be determined from a temperature of 40 °C and a pressure of 7.5 MN/m<sup>2</sup>. Considering the very low layer thickness of 15 cm in comparison with actual execution on site, the reaction pressures measured are thereby insignificant.

Fig. 3

Static Pressure Measured in the Asphaltic Concrete Binding Agent (Bitumen) with Same Equipment as Used to Obtain the Results Shown in Fig. 1 and 2.

*Pression statique mesurée dans le liant (bitume) du béton bitumineux au moyen du même appareillage que celui utilisé dans les essais indiqués dans les Fig. 1 et 2.*

(A) Manometer below [bar].

(A) Manomètre inférieur [bar].

(B) Manometer above [bar].

(B) Manomètre supérieur [bar].

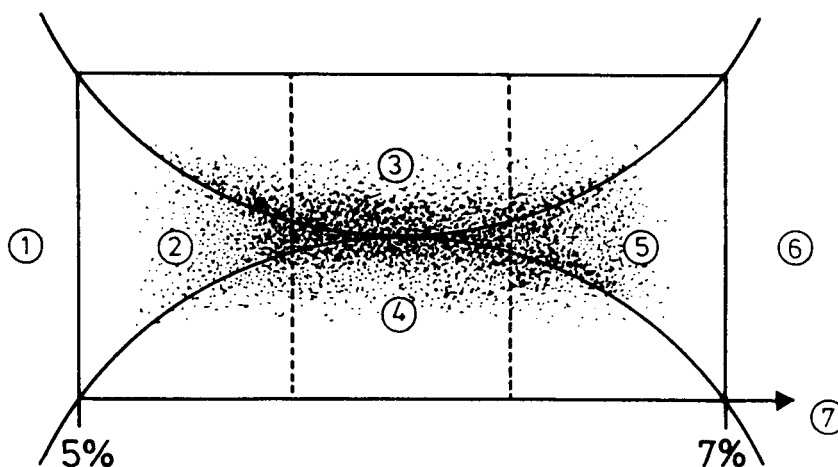
Étant donné que, dans le cas du béton bitumineux, les conditions préalables nécessaires pour une fracturation hydraulique n'existent pas, un tel effet peut être exclu. Les résultats de ces essais et considérations sont également conformes au comportement des masques d'étanchéité en béton bitumineux, dans lesquels on n'a pas constaté jusqu'à maintenant de fracturation hydraulique, bien qu'il y ait, dans la couche de béton bitumineux d'une épaisseur de quelques centimètres seulement, des contraintes effectives beaucoup plus faibles par rapport à la pression hydrostatique extérieure.

### 3.8. CONCLUSIONS POUR LA DÉFINITION D'UNE COMPOSITION OPTIMALE D'UN NOYAU BITUMINEUX

Un noyau bitumineux doit satisfaire aux exigences suivantes :

- Étanchéité sous la pression de l'eau de la retenue.
- Résistance à la fissuration dans le cas de déformations limitées.
- Une certaine résistance au cisaillement.
- Ouvrabilité.

Comme indiqué dans la Fig. 4, le spécialiste doit chercher à définir des spécifications optimales relatives à l'ouvrabilité et à l'étanchéité, mais il faudra toujours donner priorité à l'étanchéité du béton bitumineux.



### 3.9. ÉTUDE DU CAS D'UN BARRAGE DE 150 M DE HAUTEUR

Les résultats des mesures concernant deux barrages en enrochement avec noyau bitumineux, tels qu'ils ont été analysés par un modèle mathématique aux éléments finis dans le cadre d'une étude « en retour », sont présentés dans la publication [44].

As, in comparison with earth cores, the main prerequisites are non-existent in the case of asphaltic concrete, a similar effect to hydraulic fracture can be excluded in this instance. The result of these investigations and considerations also concurs with the behaviour of asphaltic concrete facings where there has been no indication of a hydraulic fracture as yet, although there are considerably lower effective stresses in the asphaltic concrete layer of a few centimeters in comparison to the external water pressure.

### 3.8. CONCLUSIONS FOR THE OPTIMAL COMPOSITION OF ASPHALTIC CONCRETE CORES

The following characteristics must be specified for an asphaltic concrete core :

- Impermeability to impounded water pressure.
- Fracture stability in the case of limited deformations.
- A certain amount of shear strength.
- And workability.

With regard to workability and impermeability, these specifications must be optimised by a specialist as shown in Fig. 4, whereby the impermeability requirement for the asphaltic concrete should always have priority.

Fig. 4

Bituminous Mixtures for Impervious Cores.

*Mélanges bitumineux pour noyaux étanches.*

- |                         |                            |
|-------------------------|----------------------------|
| (1) Rigid.              | (1) Rigide.                |
| (2) Mineral components. | (2) Constituants minéraux. |
| (3) Density.            | (3) Densité.               |
| (4) Placeability.       | (4) Maniabilité.           |
| (5) Viscous components. | (5) Constituants visqueux. |
| (6) Soft.               | (6) Mou.                   |
| (7) Bitumen.            | (7) Bitume.                |

### 3.9. CASE STUDY OF A 150 M HIGH DAM

The measurement results from two rockfill dams with asphaltic concrete cores, as obtained in a computer model using the FE calculation within the framework of a back-analysis, are presented in [44]. After having achieved a good harmonisation

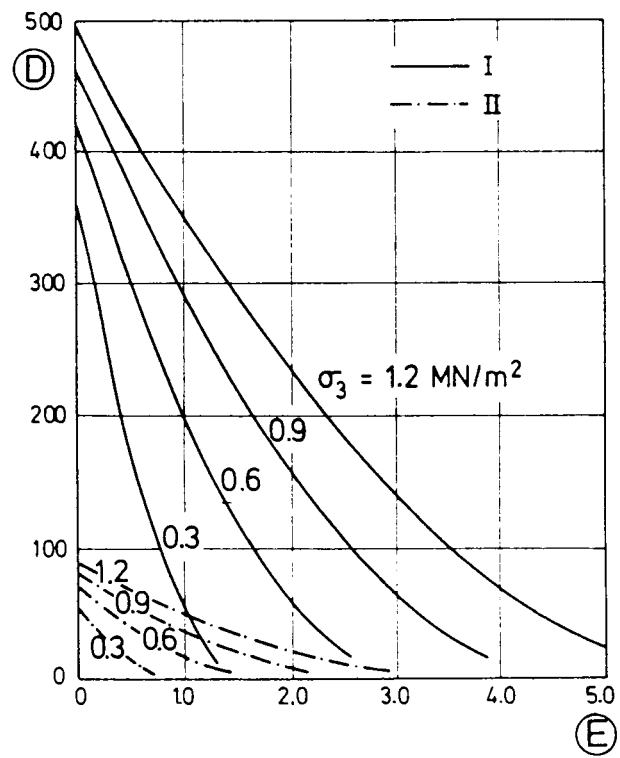
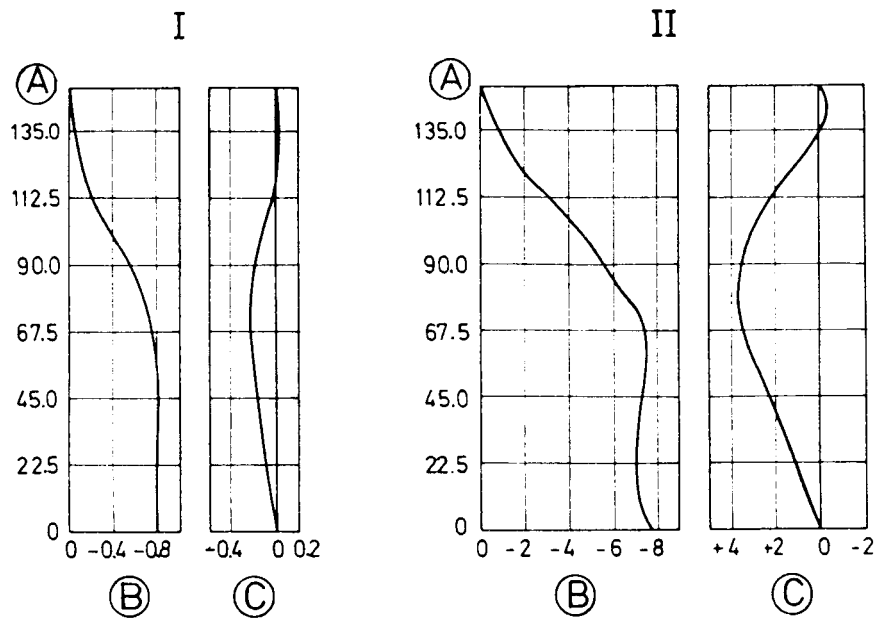




Fig. 5

Case Study of a 150 m High Dam.  
(-) Compressive Strain (+) Expansive Strain.

*Étude du cas d'un barrage de 150 m de hauteur.  
(-) Contraction (+) Expansion.*

(A) Height  $H$  [m].

(B) Strain  $\varepsilon_y$  [%] (vertical).

(C) Strain  $\varepsilon_x$  [%] (horizontal).

(D) Modulus  $E$  [MN/m<sup>2</sup>].

(E) Deviator  $\sigma_1 - \sigma_3$  [MN/m<sup>2</sup>].

*(A) Hauteur  $H$  [m].*

*(B) Déformation  $\varepsilon_y$  [%] (verticale).*

*(C) Déformation  $\varepsilon_x$  [%] (horizontale).*

*(D) Module  $E$  [MN/m<sup>2</sup>].*

*(E) Déviateur  $\sigma_1 - \sigma_3$  [MN/m<sup>2</sup>].*

Après avoir obtenu une bonne concordance entre calculs et mesures, les analyses permettent les conclusions suivantes de validité générale :

- le noyau mince n'a aucune influence sur la déformation du barrage,
- la déformation du massif de remblai est imposée au noyau,
- le noyau bitumineux incliné subit une déformation de cisaillement plus forte que le noyau vertical,
- la dilatation latérale du noyau en béton bitumineux peut être réduite au minimum au moyen d'un compactage intensif du remblai du barrage.

Ces conclusions sont confirmées par les résultats d'un calcul aux éléments finis relatif à la charge exercée sur un noyau en béton bitumineux dans un barrage en enrochement de 150 m de hauteur, dont le module de déformation du remblai varie (Fig. 5). Le cas I représente un remblai bien compacté, le cas II un remblai mal compacté. Le béton bitumineux peut absorber les dilatations se produisant, dans le barrage de 150 m de hauteur, dans le cas I, sans qu'il y ait des détériorations.

Cette étude de cas montre que l'emploi de matériau de remblai difficile à compacter n'est pas possible dans le cas de barrages en enrochement de grande hauteur, et l'expérience acquise dans la construction de barrages le confirme aussi.

### **3.10. RECOMMANDATIONS SUR LES TRAVAUX DE CONSTRUCTION**

#### **3.10.1. Contrôle de la précision de mise en place des couches du noyau**

Pour des raisons de sécurité et d'économie, les coupes longitudinales et transversales du barrage peuvent apparaître compliquées d'un point de vue topographique. Cela nécessite de faire appel à des techniques topographiques éprouvées lors de la construction de tels noyaux. Cependant, dans le cas particulier d'un barrage d'axe longitudinal rectiligne et avec noyau vertical sur toute sa hauteur, l'implantation de l'axe du noyau est simple.

#### **3.10.2. Mise en place**

Il faut absolument éviter toute contamination de la surface du noyau. Cela est obtenu le mieux en prévoyant des passages provisoires à travers le noyau et en programmant les travaux de construction de façon que le noyau étanche et les zones de transition constituent toujours le point le plus haut dans la coupe transversale du barrage.

#### **3.10.3. Mise en place à la main**

Le long des appuis du barrage, il faut effectuer la mise en place à la main. Dans cette zone, un compactage insuffisant et un éventuel refroidissement du matériau sont les causes principales de risques de défauts, comparativement à la mise en place par engins mécaniques.

### **3.11. CONTRÔLE DES PERCOLATIONS**

Les eaux de percolation à travers le noyau vertical passent par la zone de transition aval auto-drainante (drain-cheminée), pour atteindre la galerie de visite.

of calculation and measurement, the analyses permit the following conclusions as being generally valid :

- the narrow core has no influence on the deformation of the dam;
- the embankment's deformation is imposed on the core;
- the inclined internal core is subject to a greater shear deformation than the vertical core, and
- lateral strain of the asphaltic concrete can be reduced to a minimum by intensive compaction of the dam fill.

This is also demonstrated in Fig. 5 by the results of an FE calculation for the load on an asphaltic concrete core in a 150 m high rockfill dam where the modulus of elasticity of the embankment has been varied. Case I simulates a well compacted, and Case II a poorly compacted fill, whereby in Case I the asphaltic concrete can harmlessly absorb the strains occurring in the 150 m high asphaltic concrete.

This case study shows that the use of fill material with poor compactability for high rockfill dams is not feasible, and this has also been confirmed in practice.

### **3.10. CONSTRUCTION GUIDELINES**

#### **3.10.1. Control of the Exact Positioning of the Core Layers**

Requirements for safety and economic efficiency result in the dam structure having complicated cross and longitudinal sections from a surveying aspect. This in turn places high demands on survey engineering in the execution of such cores. However, in the special case of dams with straight longitudinal axes and completely vertical cores, the setting out of the core axis is fairly simple.

#### **3.10.2. Placing Operation**

Contamination of the core surface must be avoided under all circumstances. This is best achieved by temporary core crossings and by scheduling construction operations in such a way that the core with the transition zones always represents the highest point of the dam cross section.

#### **3.10.3. Manual Placing**

Manual placing is necessary in the perimeter areas of the dam flanks. Here defects are mainly possible as a result of inadequate compaction and a possible cooling of the mix when compared to mechanical placing.

### **3.11. SEEPAGE CONTROL**

Seepage through leaks in the vertical core reaches the inspection gallery through the self-draining downstream transition zone (chimney drain). A concrete threshold

Un seuil en béton sur le côté aval de la galerie de visite empêche les eaux de s'écouler dans le sous-sol. Dans le toit de la galerie de visite, il y aura dans chaque bloc (parfois tous les deux blocs) une prise d'eau par laquelle les eaux de percolation sont dirigées vers l'intérieur de la galerie de visite, où elles seront recueillies et mesurées.

Pour déterminer le niveau d'une fuite, on peut prévoir, sur la face aval du noyau bitumineux, une ou plusieurs gouttières en béton bitumineux (voir chapitre 6.7., barrage de Feistritzbach).

Si la nappe phréatique ou les eaux d'aval montent plus haut que les prises d'eau de percolation sur la face aval du noyau, la pénétration de ces eaux dans la galerie de visite est empêchée au moyen d'un noyau parallèle mis en place sur la galerie de visite et en aval de ces prises d'eau (voir chapitre 6.6., barrage de Wupper).

Même dans les cas où il y a, à l'aval du noyau, un niveau d'eau permanent au-dessus du joint de fondation du noyau, le contrôle de l'étanchéité du noyau principal peut être assuré au moyen d'un noyau parallèle en béton bitumineux (voir chapitre 6.3., barrage de High Island).

### **3.12. POSSIBILITÉS DE RÉPARATION**

La granulométrie de la zone de transition amont devra permettre l'exécution de forages d'injection en cas d'un défaut dans le noyau. La zone défectueuse peut être étanchée au moyen de tubes à manchettes. Un forage dans le noyau en béton bitumineux et l'étanchement direct du béton ne sera recommandable que dans des cas isolés. Les deux possibilités d'un étanchement postérieur de fuites sont très coûteuses.

on the downstream face of the inspection gallery prevents the water from flowing into the subsoil. An intake, through which seepage is led to the interior of the inspection gallery where it can then be collected and measured, is located in the inspection gallery ceiling in each or every other block.

*One or more asphaltic concrete collection rims can be arranged on the downstream face of the core in order to determine the elevation of leakage points (see Chapter 6.7 - Feistritzbach Dam).*

Where there is a possibility of ground or backwater rising higher than the seepage water control intake on the downstream face of the core, penetration of this water into the inspection gallery is prevented by the positioning of a parallel core on the inspection gallery downstream of the seepage intakes (see Chapter 6.6 - Wupper Dam).

Even in cases where, downstream of the core, there is a permanent water level above the core's foundation joint, control of the core's impermeability can be ensured by a parallel asphaltic concrete core downstream of the main core (see Chapter 6.3 - High Island dam).

### **3.12. POSSIBILITIES FOR REPAIR**

The grain composition of the upstream transition zone should be so designed as to allow a sinking of boreholes for grouting in case the core should be damaged. The defective area can be sealed with the use of sleeve pipes. Boring within the actual core wall and direct sealing of the asphaltic concrete is only purposeful in exceptional cases. Both possibilities for the subsequent sealing of leakages are very costly.

---

## 4. MÉTHODES DE CONSTRUCTION

---

### 4.1. OBJECTIFS

La position du noyau bitumineux et de ses deux zones de transition au milieu du massif de remblai exige que toutes les zones du remblai soient mises en place plus ou moins simultanément. On peut cependant tolérer un avancement du noyau et des zones de transition d'environ 1 m par rapport aux massifs des recharges.

Le procédé de mise en place du béton bitumineux et des matériaux de transition doit satisfaire aux exigences suivantes pour chaque couche :

- Mise en place précise du béton bitumineux et des matériaux de transition par rapport à la position latérale et à la hauteur constante de chaque couche.
- Égalisation et compactage des deux matériaux, ou bien des trois matériaux en cas d'emploi de matériaux de transition différents à l'amont et à l'aval, de façon à obtenir une qualité constante.
- Liaison parfaite entre le béton bitumineux et les deux zones de transition au cours des travaux simultanés de mise en place et de compactage.
- Harmonisation de la capacité de mise en place pour le noyau et les zones de transition avec celle des autres zones du remblai.

Comme mentionné dans l'Introduction, plusieurs méthodes ont été essayées afin de satisfaire à ces exigences. Cependant, il s'est vite avéré qu'il fallait donner la priorité à la mise en place, par engins mécaniques, du béton bitumineux et des matériaux de transition pour obtenir une qualité et un comportement constants. Le Tableau 1 du chapitre 5 montre cette évolution.

### 4.2. ÉVOLUTION DU MATÉRIEL DE MISE EN PLACE DU NOYAU

Pour atteindre les objectifs susmentionnés, il faut disposer de quatre éléments mécaniques fondamentaux :

1. Matériel roulant.
2. Trémies d'approvisionnement pour le béton bitumineux et les matériaux de transition.
3. Dispositifs d'égalisation pour le béton bitumineux et les matériaux de transition.
4. Dispositifs de compactage pour le béton bitumineux et les matériaux de transition.

Les premières expériences furent acquises avec un coffrage tiré par un bulldozer, le mélange bitumineux chaud étant alimenté au moyen d'une grue. Le compactage était effectué au moyen de plaques vibrantes, de petits rouleaux assurant le compactage final.

On a pu améliorer la précision de mise en place et le rendement en réunissant les quatre éléments constitutifs en une seule machine qui devint alors la première machine de mise en place des noyaux bitumineux (1<sup>re</sup> génération). Le matériau de transition était ajouté latéralement au moyen d'une chargeuse sur roues.

---

## 4. CONSTRUCTION METHODS

---

### 4.1. OBJECTIVES

Due to the location of the asphaltic concrete core and its two transition zones in the centre of the embankment, all parts of the embankment must be built-up more or less simultaneously; however, a slight advance of the core and transition zones by a height variation of up to 1 m approx. in comparison to the embankment shoulders is admissible.

The placing method for the asphaltic concrete and the transition material must fulfil the following requirements for each layer :

- Accurate placing of the asphaltic concrete and transition materials in respect to the lateral position and constant height of each layer.
- Levelling and compaction of both materials and, when using different transition materials on the downstream and upstream sides, all three materials to have a constant quality.
- Close interlocking of the asphaltic concrete with both transition zones during the simultaneous placing and compaction operation.
- Harmonisation of the placing capacity for the core and the transition zones with the other zones of the embankment.

As already mentioned in the Introduction, many methods had been tried in order to meet these specifications, particularly initially. However, it soon became clear that, especially in view of the constant quality and performance to be attained, preference must be given to the mechanical placing of asphaltic concrete and transition materials. Table I of Chapter 5 reflects this development.

### 4.2. DEVELOPMENT OF CORE PLACING EQUIPMENT

Four basic mechanical components are required for the realisation of the above mentioned objectives :

1. Chassis.
2. Hopper units for the asphaltic concrete and transition materials.
3. Levelling devices for the asphaltic concrete and transition materials.
4. Compaction units for the asphaltic concrete and transition materials.

Initial experience was gained using a towing box pulled by a bulldozer, with a crane supplying the hot mix. Compaction was carried out subsequently by means of vibratory plates, with small rollers for final compaction.

Placing precision and performance could be increased by combining the four basic components in a single unit, thus producing the first core placing machine (1st generation). The transition material was added laterally using a wheel loader.

Sans modifier les principes fondamentaux, on a mis au point, peu de temps après, un nouveau type de machine (2<sup>e</sup> génération) utilisé pour la construction de plus de la moitié des noyaux bitumineux énumérés dans le Tableau II du chapitre 5. Le matériau des zones de transition est mis en place avant le matériau d'étanchéité, en le déversant sur un tunnel de recouvrement, en forme de toit, placé à l'avant de la machine, d'où il est distribué à droite et à gauche et nivelé au moyen d'une lame suivant à l'arrière. Derrière cette lame de nivellement, il y a une trémie pour le matériau étanche qui est déversé dans l'espace libre formé par le tunnel de recouvrement. La largeur du tunnel correspond à la largeur finale du noyau. Le coffrage du tunnel de recouvrement se termine derrière la trémie déversant le béton bitumineux; il en résulte une bonne liaison entre le matériau bitumineux qui est encore plastique et le matériau des zones de transition.

Ensuite, le matériau des zones de transition et le noyau bitumineux sont compactés ensemble par un groupe de plaques vibrantes installées à l'arrière de la machine.

Après la mise en place des matériaux, les chenilles de la machine circulent sur les zones de transition non compactées.

Parallèlement à la machine susmentionnée, une autre variante légèrement différente a été mise au point en Allemagne. La différence principale est que le béton bitumineux et les zones de transition situées des deux côtés presque au même niveau sont mis en place en deux opérations séparées, l'une immédiatement après l'autre. Une machine spéciale, munie d'une lame vibrante et d'un engin de compactage supplémentaire, fonctionne entre des plaques de coffrage et réalise le noyau étanche suivant la largeur prescrite et une épaisseur de couche de 20 à 25 cm; les bords de chaque couche de béton bitumineux restent exposés après la mise en place. Le matériau de chaque zone de transition est mis en place immédiatement après au moyen d'un engin épandeur, jusqu'à une hauteur de quelque 3 à 5 cm au-dessous du bord supérieur de la couche du noyau étanche. De cette façon, la surface du noyau étanche reste propre et le risque de formation d'une couche de séparation est éliminé.

Le matériau des zones de transition est compacté en même temps, sur les deux côtés du noyau, au moyen d'un double rouleau vibrant. Un deuxième rouleau vibrant, à l'arrière, assure le compactage final de la couche du béton bitumineux encore chaud et sa bonne liaison avec les zones de transition.

### 4.3. TECHNIQUE ACTUELLE

En raison de l'emploi, à maintes reprises, de la machine de mise en place et de finition décrite dans le chapitre précédent, on a acquis une grande expérience sur les différentes formes géométriques du noyau et également sur les divers matériels de construction et conditions de mise en place. Mettant à profit toutes ces expériences, on a mis au point une nouvelle machine de mise en place qui représente la technique actuelle (3<sup>e</sup> génération) (Fig. 6 et 7).

L'avant de la machine est équipé d'un dispositif de chauffage à l'infra-rouge, protégé, de hauteur réglable. La machine se déplace sur des chenilles actionnées par deux moteurs hydrauliques de réglage continu, ou sur des roues. Contrairement à la machine décrite précédemment, les chenilles se déplacent sur la surface nivelée



The equipment model (2nd generation) with which more than half the asphaltic concrete cores given in the Table II in Chapter 5 were placed was developed shortly afterwards. The transition material is placed before the sealing material by being tipped onto a roof-shaped nose mounted at the front end of the core placing machine. From there it is laterally distributed to the left and right and levelled by a screed following behind. A hopper for the sealing materials is located behind the screed. From this hopper the asphaltic concrete then reaches the free space formed by the above mentioned nose. The width of the nose corresponds to the required core width. The nose formwork ends behind the feed shaft for the asphaltic concrete to allow the still plastic asphalt to interlock with the transition zone material.

Both transition zone material and the asphaltic core are then compacted by a group of vibratory plates at the rear end of the core placing unit.

Following the material placing sequence, the crawlers of the core placing unit move on the non-compacted transition zones.

In Germany, a somewhat divergent variant was also developed parallel to the equipment described above. The main difference is that placing of the asphaltic concrete layers and of the transition zones on both sides at almost the same height is carried out in two separate operations, one following immediately after the other. A special finisher with a tamper bar and an additional fixed compactor, which also operates between the formwork plates, installs the asphalt core in the specified width and in a 20 to 25 cm thick layer in such a way that the edges of each asphalt layer after placing are free and exposed. Material for the transition zones is then immediately installed by spreader on either side of the free-standing core up to a height of around 3 to 5 cm below the surface of the respective asphalt core layer. This prevents contamination of the core layer's surface and the danger of a dividing interface forming.

The transition zone material is compacted on both sides of the core simultaneously with the use of a double vibratory roller. Final compaction and the interlocking of the still hot asphaltic concrete with the transition zones is effected by a vibratory roller following on the asphalt core layer.

#### **4.3. CURRENT STATE-OF-THE-ART**

With the repeated deployment of the placing and finishing equipment described in the previous paragraph, experience could be gained both with the various geometrical shapes of the cores and also with differing construction materials and placing conditions. A new core placing machine representing the current state-of-the-art has been developed on the basis of this knowledge (3rd generation) (Fig. 6 and 7).

There is a height adjustable, covered infrared heating device on the front of the machine. The core placing unit runs on steerable crawlers driven by infinitely variable hydraulic motors, or on wheels. In contrast to the previously described machines, the crawler units now run on the levelled and compacted surface of the

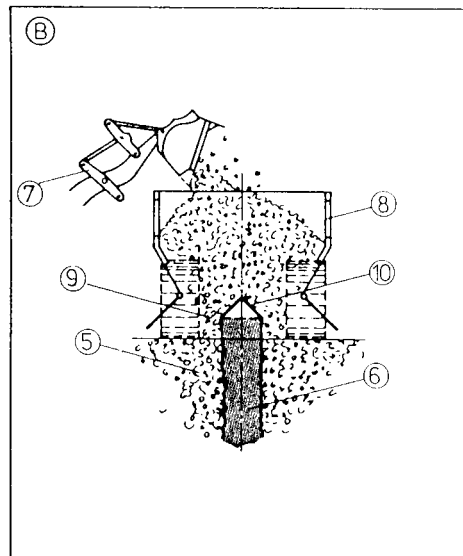
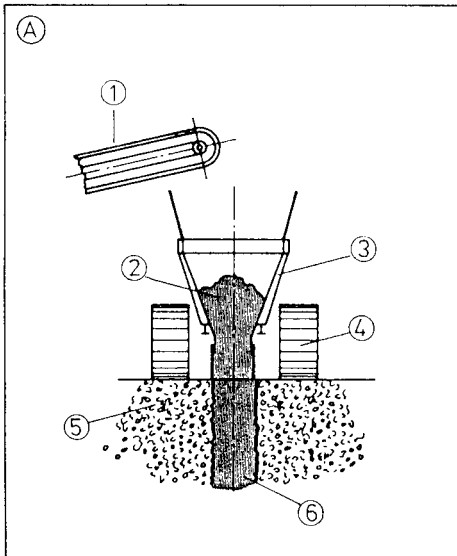
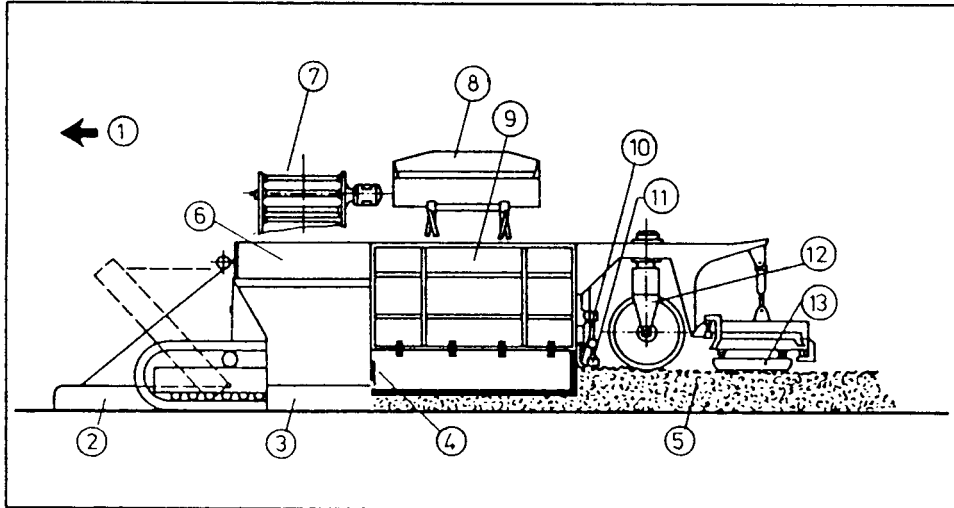


Fig. 6

Core Placing Unit, 3rd Generation, Strabag System.

*Machine de mise en place de noyaux bitumineux, 3<sup>e</sup> génération, Système Strabag.*

- |   |  |
|---|--|
| (1) Placing direction.  | (1) Direction de la mise en place.                                   |
| (2) Heating channel.  | (2) Dispositif de chauffage.   |
| (3) Steel plate formwork.   | (3) Tôles parallèles pour coffrage du noyau.                         |
| (4) Adjustable leveller for asphaltic concrete placing thickness. | (4) Lame de réglage de l'épaisseur du béton bitumineux.              |
| (5) Transition zone material.                                     | (5) Matériau des zones de transition.                                |
| (6) Bituminous mix hopper.  | (6) Trémie du mélange bitumineux.                                    |
| (7) Chain drag conveyor belt for the bituminous mix.              | (7) Transporteur à chaîne pour le mélange bitumineux.                |
| (8) Loading equipment for transition material.                    | (8) Matériel de chargement pour le matériau des zones de transition. |
| (9) Hopper for transition material.                               | (9) Trémie du matériau des zones de transition.                      |
| (10) Levelling bar for transition material.                       | (10) Barre d'égalisation du matériau des zones de transition.        |
| (11) Precompaction unit for asphaltic concrete.                   | (11) Dispositif de précompactage du béton bitumineux.                |
| (12) Rubber tyred wheels.   | (12) Roues à pneus.  |
| (13) 3 vibratory plates (middle plate heated).                    | (13) 3 plaques vibrantes (plaque centrale chauffée).                 |

Fig. 7

Cross Section of the Bituminous Core Placing Unit.

(A) At the Bituminous Mix Hopper. — (B) At the Transition Material Hopper.

*Coupe transversale de la machine de mise en place d'un noyau bitumineux.*

(A) *Au droit de la trémie du mélange bitumineux.* — (B) *Au droit de la trémie du matériau de transition.*

- |   |  |
|---|--|
| (1) Chain drag conveyor belt or other suitable loading method for the bituminous mix. | (1) Transporteur à chaîne ou autre type de chargeuse approprié pour le mélange bitumineux. |
| (2) Bituminous mix.   | (2) Mélange bitumineux.  |
| (3) Bituminous mix hopper.  | (3) Trémie du mélange bitumineux.  |
| (4) Crawler unit.   | (4) Engin sur chenilles.   |
| (5) Transition zone material, previous layer.   | (5) Matériau pour la zone de transition, couche antérieure.                                |
| (6) Bituminous core.  | (6) Noyau bitumineux.  |
| (7) Loading equipment for transition zone material.                                   | (7) Matériel de chargement pour le matériau des zones de transition.                       |
| (8) Hopper for transition material.   | (8) Trémie du matériau des zones de transition.  |
| (9) Transition zone material.   | (9) Matériau des zones de transition.  |
| (10) Core covering plate.   | (10) Tôle de recouvrement du noyau.  |

et compactée de la couche antérieure des matériaux de transition. Entre les chenilles, se trouve la trémie d'approvisionnement du mélange bitumineux, le coffrage glissant du noyau débutant immédiatement sous la trémie. Le poste de commande pivotant du conducteur de la machine est situé à côté. Le marquage de l'axe assure que les couches du noyau étanche sont mises en place exactement l'une sur l'autre.

La trémie du mélange bitumineux est suivie de la trémie d'approvisionnement du matériau des zones de transition et est supportée en arrière par deux roues directrices à pneus. Ces roues passent sur le matériau des zones de transition récemment mis en place et accomplissent un léger précompactage et pression sur le noyau.

Le mélange bitumineux sort de la trémie pour remplir le coffrage et est nivelé à l'épaisseur de mise en place. Une barre de compactage hydraulique, réglable en fréquence et amplitude, assure le précompactage du noyau bitumineux. Le matériau des zones de transition sort de la trémie et se place à droite et à gauche du noyau mis en place. La surface du noyau est protégée par une plaque métallique. Deux plaques métalliques réglables fixées à l'extérieur de la machine facilitent le dimensionnement en largeur des zones de transition et égalisent les surfaces. Une tôle de séparation à l'intérieur de la trémie permet de placer, à l'amont et à l'aval du noyau, divers types de matériaux de transition.

A l'extrémité de la trémie du matériau de transition, il y a une vanne à glissières à commande hydraulique. Un dispositif de contrôle électronique qui sonde le noyau vérifie que la hauteur du matériau des zones de transition est bien réglée par rapport au noyau mis en place. Le coffrage glissant se termine juste derrière la trémie et devant les roues à pneus.

Dans le dernier tiers, se trouve un groupe de plaques vibrantes, composé d'une plaque centrale vibrante chauffée pour le noyau bitumineux et, de chaque côté, d'une plaque vibrante pour le matériau des zones de transition. Le compactage final est effectué comme d'habitude au moyen de rouleaux vibrants doubles, pour le noyau et les zones de transition.

previous layer of transition material. The hopper for the asphalt mix is situated between them, and the steel plate formwork of the core starts just underneath the hopper. The operator's swivelling control platform is located directly adjacent. The equipment axis layout ensures that each core layer is placed exactly on the other.

The hopper for the transition zone material is situated directly behind the mix hopper and supported at the back by two steerable rubber tyred wheels. These run on the newly placed transition zone material and effect a light initial compaction and pressure on the core.

The bituminous mix falls from the material hopper between the formwork and is levelled to placing thickness. A precompaction of the asphaltic core is effected by the hydraulically powered tamping bar with adjustable frequency and amplitude, which follows. Material from the transition material hopper flows to the right and left of the installed core. The surface of the core is protected by means of a steel plate. Two adjustable tamper plates fixed to the outside of the equipment permit dimensioning of the transition zones in width. A simple dividing wall in the bucket enables differing transition materials to be placed on the upstream and downstream faces of the core.

There is a hydraulically operated slide gate at the end of the material box. An electronic control unit which probes the core ensures that the transition zone material is levelled with the correct height relationship to the installed core. The trailing steel plates of the formwork end close behind the hopper in front of the rubber tyred wheels.

A group of vibratory plates comprising a heated vibratory plate in the centre for the asphaltic core and a vibratory plate for the material of each of the transition zones follows in the last third section. As before, final compaction is executed with light, double vibratory rollers for both core and transition zones.

---

## 5. BARRAGES AVEC NOYAUX BITUMINEUX

---

### 5.1. LISTE CHRONOLOGIQUE DE BARRAGES AVEC NOYAUX BITUMINEUX DE TOUS TYPES

Un total de 62 barrages avec noyaux bitumineux a été réalisé ou est en cours de réalisation, dont 42 barrages avec un noyau en béton bitumineux dense. Trois noyaux bitumineux appartiennent à la catégorie semi-perméable et servent de zones de « ralentissement » à l'intérieur de barrages en remblai munis de masques d'étanchéité.

Dans 13 d'entre eux, on a utilisé du bitume fluide, du mortier cyclopéen, etc., au lieu du béton bitumineux. Deux noyaux bitumineux ont été réalisés comme écrans d'étanchéité dans le sous-sol au pied amont de barrages en remblai. La liaison avec les masques en béton bitumineux est assurée au moyen de joints spéciaux.

Le nombre total susmentionné comprend aussi deux noyaux très particuliers. Le premier a été réalisé en tant que nouvel élément d'étanchéité pour un vieux barrage-poids en béton de ciment. Dans cet ouvrage, le béton bitumineux a été mis en place sur le parement amont du barrage derrière une paroi en béton armé ancrée à l'ancien barrage. Dans l'autre cas, le noyau sert d'élément étanche pour la partie supérieure d'un barrage en remblai et est raccordé au noyau argileux de la partie inférieure au moyen d'un tapis bitumineux (voir chapitre 6.4.).

Le Tableau I donne la liste chronologique des 62 barrages réalisés avec noyaux bitumineux. Les abréviations suivantes ont été adoptées :

#### Type de noyau

DACC	dense asphaltic concrete core (noyau en béton bitumineux dense)
BMC	bituminous mastic core (noyau en mastic bitumineux)
CMC	cyclopean mortar core (noyau en mortier cyclopéen)
CBC	cyclopean bitumen core (noyau en béton bitumineux cyclopéen)
PBSC	permeable bituminous sand core (noyau en sable bitumineux perméable)
FACC	flowable asphaltic concrete core (noyau en béton bitumineux fluide)

#### Matériau du remblai

R	enrochement
E	terre

#### Type de mur-parafouille

a	pied en béton bitumineux
b	mur-parafouille en béton, sans galerie
c	mur-parafouille en béton, avec galerie

---

## 5. DAMS EXECUTED WITH BITUMINOUS CORES

---

### 5.1. CHRONOLOGICAL COMPILATION OF DAMS WITH ALL TYPES OF BITUMINOUS CORES

A total of 62 dams with bituminous cores have now been constructed or are under construction. This figure includes 42 dams with dense asphaltic concrete cores. Three bituminous cores are designed as semi-pervious and they serve as retarding zones in the interior of fill dams with upstream facings.

Thirteen cores are not built of asphaltic concrete but comprise flowable asphalt, cyclopean mortar, etc. Two asphaltic concrete cores have been constructed as subbase cut-off elements at the upstream toe of fill dams. They are connected to the asphaltic concrete facings of the dams by special joint structures.

The above mentioned total number also includes two very special cores. One of these has been used as a new impervious element for an aged cement concrete gravity wall. Asphaltic concrete has been placed at the upstream face of the wall behind a reinforced concrete apron anchored to the old wall. The other seals the upper section of a fill dam which was built in a second stage and is connected to the clay core of the lower part of the dam by means of a bituminous blanket (see Chapter 6.4).

Table I shows a chronological compilation of all 62 dams with bituminous cores. The following abbreviations have been used :

#### Type of Core

DACC	Dense Asphaltic Concrete Core
BMC	Bituminous Mastic Core
CMC	Cyclopean Mortar Core
CBC	Cyclopean Bitumen Core
PBSC	Permeable Bituminous Sand Core
FACC	Flowable Asphaltic Concrete Core

#### Embankment Material

R	Rockfill
E	Earthfill

#### Type of Cut-off Wall

a	Asphaltic Concrete Toe
b	Concrete Cut-off Wall Without Gallery
c	Concrete Cut-off Wall with Gallery

- d paroi moulée en béton
- e paroi moulée en argile-ciment

**Mode de construction du noyau**

- I mise en place du matériau de mastic bitumineux à la main
- II insertion de pierres dans le mortier bitumineux par vibration
- III mise en place du béton bitumineux à la main
- IV mise en place du béton bitumineux par engin mécanique (2<sup>e</sup> génération)
- V mise en place du béton bitumineux et du matériau de transition au moyen d'un engin spécial (3<sup>e</sup> génération)
- \* partie supérieure du noyau (environ 1/3 de la hauteur) légèrement inclinée vers l'aval
- UD barrage amont (barrage extérieur)

**5.2. NOYAUX EN BÉTON BITUMINEUX DENSE**

Tandis que le Tableau I comprend tous les types de noyaux bitumineux et a pour but principal d'indiquer l'évolution dans ce domaine, le Tableau II ne contient que les barrages avec noyaux en béton bitumineux, conçus et mis en place par engins mécaniques selon les procédés et règles de la technique actuelle.

Les barrages ayant moins de 15 m de hauteur ne figurent pas dans le Tableau à cause de leur trop faible hauteur. Les 35 barrages concernés ont été classés en deux groupes d'après leur hauteur : hauteur comprise entre 15 et 30 m, et hauteur supérieure à 30 m.

Tous les barrages de moins de 50 m de hauteur, à l'exception d'un seul, ont des noyaux verticaux. Deux des barrages les plus hauts (Finstertal et Storvatn) sont munis d'un noyau incliné sur toute la hauteur, et les autres barrages d'une hauteur de plus de 60 m ont un noyau vertical dans les 2/3 inférieurs de la hauteur et une partie inclinée dans le tiers supérieur (\*).

L'épaisseur des noyaux varie entre 40 et 60 cm pour la première catégorie (15 à 30 m de hauteur), et entre 50 et 120 cm pour la deuxième catégorie (hauteur supérieure à 30 m).



- d Concrete Diaphragm Wall
- e Clay-Cement Diaphragm Wall

**Method of Core Placing**

- I Handplaced Bituminous Mastic Material
- II Stones Vibrated into Bituminous Mortar
- III Handplaced Asphaltic Concrete
- IV Machine-placed Asphaltic Concrete (2nd generation machines)
- V Asphaltic Concrete and Transition Material Placed by 3rd Generation Core Placing Machines
- \* Upper part (approximately 1/3 of the height) of the core slightly inclined towards the downstream side.
- UD Upstream Dam (Outer Dam)

**5.2. DENSE ASPHALTIC CONCRETE CORES**

While Table I includes all kinds of bituminous cores and serves more or less as a historical review, Table II comprises only those dams with asphaltic concrete cores designed and mechanically-placed in accordance with the rules and methods of today's state-of-the-art.

All dams with heights of less than 15 m have been disregarded as being too small. The 35 dams concerned have been classified by height in two groups, i.e. 15 m to 30 m and over 30 m.

The cores for all dams but one with heights of less than 50 m are vertical. Two of the higher dams (Finstertal and Storvatn) have a fully inclined core, and the other dams with heights of over 60 m have a vertical core in the lower two thirds of the total height and an inclined section in the upper third (\*).

The core thicknesses vary between 40 and 60 cm for the first category (h = 15 to 30 m) and 50 to 120 cm for the second category (height > 30 m).

Table I / Tableau I  
Dams with Bituminous Cores (chronological order).  
Barrages avec noyaux bitumineux (ordre chronologique).

No.	Year Année	Name of Dam Nom du Barrage	Country Pays	Height Hauteur (m)	Thickness Épaisseur (cm)	Inclination Pente (H/h)	Kind of core Type de noyau	Transition zones Zones de transition		Type of cut-off wall Type de mur para-fouille	Method of core placing Mode de mise en place du noyau	Embankment material Matériaux de remblai	Particularities Particularités
								Upstream Amont	Downstream Aval				
1	1948	Vale do Gaio	Portugal	45	20/10	1:0.8	BMC	20	20	—	I	R	
2	54/55	Henne	Germany Allemagne	58	100	1:0.6	CMC	—	—	—	II	R	Semi-pervious retarding zone. Zone de « ralentissement » semi-perméable.
3	1957	Wahnbach UD Wahnbach	Germany Allemagne	13	100/50	1:0	CMC/DACC	—	—	—	II + IV	R	
4	1957	Roguldensee	Austria Autriche	22	120	1:1	CMC	—	—	a	II	R	
5	1962	Dhünn UD Dhünn	Germany Allemagne	35	70/60/50	1:0	DACC	—	150/120 25/80	b	IV	R	Vertical shaft for dam monitoring. Puits vertical pour auscultation.
6	1962	Biège	Germany Allemagne	52	100	1:0.6	CMC	—	—	—	II	R	Semi-pervious retarding zone. Zone de « ralentissement » semi-perméable.
7	1962	Bremge UD Bremge	Germany Allemagne	20	60	1:0	DACC	150 15/200	150 15/200	b	IV	G	
8	1964	Eichlagen UD Biège	Germany Allemagne	21	90/80/70	1:0	CMC	150 15/200	150 15/200	b	II	G	

Table I (continued)/Tableau I (suite)

No.	Year <i>Année</i>	Name of Dam <i>Nom du Barrage</i>	Country <i>Pays</i>	Height <i>Hauteur</i> (m)	Thickness <i>Épaisseur</i> (cm)	Inclination <i>Pente</i> (v/h)	Kind of core <i>Type de noyau</i>	Transition zones <i>Zones de transition</i> Thickness (cm) Grading (mm) <i>Épaisseur (cm)</i> <i>Granulométrie (mm)</i>		Type of cut-off wall <i>Type de mur para-foaile</i>	Method of core placing <i>Mode de mise en place du noyau</i>	Embankment material <i>Matériaux de remblai</i>	Particularities <i>Particularités</i>
								Upstream <i>Amont</i>	Downstream <i>aval</i>				
9	1966	Agger	Germany <i>Allemagne</i>	40	12	1:0.05	DACC	—	—	—	III	—	Refurbishment of a concrete gravity wall; DACC between existing wall and reinforced concrete slabs. <i>Rénovation d'un barrage-poids; DACC entre barrage en béton existant et dalles en béton armé.</i>
10	1968	Eberstae	Austria <i>Autriche</i>	28	50-40	1:0	DACC	120 0/150	120 0/150	e	IV	E	Extreme settlement of subground (2.40 m). <i>Tassement important du sous-sol (2.40 m).</i>
11	1969	Ködel UD Mauthaus	Germany <i>Allemagne</i>	17	40	1:0	DACC			b	IV	R	
12	1969	Sepouse	France	11	85	1:0.4	CMC						
13	1969	Lastroulles Sud	France	28	85	1:0.4	CMC						
14	1969	Lastroulles Nord	France	21	85	1:0.4	CMC						
15	1969	La Jarrige Nord	France	10	85	1:0.4	CMC						
16	1969	La Jarrige Sud	France	11	85	1:0.4	CMC						
17	1969	Legadadi	Ethiopia <i>Éthiopie</i>	26	60	1:0	DACC	180	180		IV	R	

Table I (continued)/ Tableau I (suite)

No.	Year <i>Année</i>	Name of Dam <i>Nom du Barrage</i>	Country <i>Pays</i>	Height <i>Hauteur</i> (m)	Thickness <i>Épaisseur</i> (cm)	Inclination <i>Pente</i> (v/h)	Kind of core <i>Type de noyau</i>	Transition zones		Type of cut-off wall <i>Type de mur para-fouille</i>	Method of core placing <i>Mode de mise en place du noyau</i>	Embankment material <i>Matériaux de remblai</i>	Particularities <i>Particularités</i>
								Upstream <i>Amont</i>	Downstream <i>aval</i>				
18	1969	Grasjo	Norway <i>Norvège</i>	12	50	1:0	CBC	10			R		
19	69/71	Poza Honda	Ecuador <i>Équateur</i>	28	60	1:0	DACC	100	100	b	IV	R	Combination of DACC in the sub-ground and asphaltic concrete facing of the dam. <i>Combinaison DACC dans sous-sol et masque bitumineux étanche de la digue.</i>
20	69/71	Wiehl	Germany <i>Allemagne</i>	53	60/50/40	1:0	DACC	150 0/150	150 0/150	c	IV	R	
21	1971	Meswinkel UD Wiehl	Germany <i>Allemagne</i>	22	50/40	1:0	DACC	150 0/150	150 0/150	b	IV	R	
22		Finkenrath UD Wiehl	Germany <i>Allemagne</i>	14	40	1:0	DACC	150 0/150	150 0/150	b	IV	R	
23	1972	Wiehl Main UD Wiehl UD principal Wiehl	Germany <i>Allemagne</i>	18	50/40	1:0	DACC	150 0/150	150 0/150	b	IV	R	
24	74/75	Eicherscheid	Germany <i>Allemagne</i>	18	40	1:0	DACC	200 0/80	200 0/80	b	IV	E	

Table I (continued)/ Tableau I (suite)

No.	Year <i>Année</i>	Name of Dam <i>Nom du Barrage</i>	Country <i>Pays</i>	Height <i>Hauteur</i> (m)	Thickness <i>Épaisseur</i> (cm)	Inclination <i>Pente</i> (v/h)	Kind of core <i>Type de noyau</i>	Transition zones <i>Zones de transition</i>		Type of core-coff wall <i>Type de mur para-fouille</i>	Method of core placing <i>Mode de mise en place du noyau</i>	Embankment material <i>Matériaux de remblai</i>	Particularities <i>Particularités</i>
								Upstream <i>Amont</i>	Downstream <i>aval</i>				
25	1975	Eixerdorf	Germany <i>Allemagne</i>	26	60-40	1:0	DACC	185 0/150	185 0/150	b	IV	R	
26	73-77	High Island West	Hong Kong	95	120-80	1:0 (*)	DACC	140 0/150	140 0/150	b + c	IV	R	Secondary core from foundation to the gallery above sea level.
27	76-78	High Island East	Hong Kong	105	120-80	1:0 (*)	DACC	140 0/150	140 0/150	b + c	IV	R	<i>Noyau secondaire entre fondation et galerie au-dessus du niveau de la mer.</i>
28	76-77	Laguna de los Cristales	Chile <i>Chili</i>	31	60	1:0	DACC	150	150	b	IV	R	
29	1977	Distributeur Verviers St. Vith	Belgium <i>Belgique</i>	6	60	1:0	DACC				IV	E	
30	77/78	Antrift	Germany <i>Allemagne</i>	18	50	1:0	DACC	125 <150	125 <80	b	IV	R	
31	77-78	Breitenbach	Germany <i>Allemagne</i>	13	60	1:0	DACC	200	200	Asphaltic concrete apron. Tapis bitumeux.	IV	R	Heightening of existing clay core dam with DACC as impervious element. Surélévation de la digue existante, à noyau d'argile, avec un élément étanche en DACC.
32	1978	Kamigazawa (Kitazawa)	Japan <i>Japon</i>	14	60	1:0	DACC	100 <100	100 <100	b	IV	R	

Table I (continued)/ Tableau I (suite)

No.	Year <i>Année</i>	Name of Dam <i>Nom du Barrage</i>	Country <i>Pays</i>	Height <i>Hauteur</i> (m)	Thickness <i>Épaisseur</i> (cm)	Inclination <i>Pente</i> (v/h)	Kind of core <i>Type de noyau</i>	Transition zones Thickness (cm) Grading (mm) <i>Zones de transition</i> <i>Épaisseur (cm)</i> <i>Granulométrie (mm)</i>		Type of cut-off wall <i>Type de mur</i> <i>para-</i> <i>fouille</i>	Method of core placing <i>Mode de mise en place du noyau</i>	Embankment material <i>Matériaux de remblai</i>	Particularities <i>Particularités</i>
								Upstream <i>Amont</i>	Downstream <i>aval</i>				
33	1978	Weinbach	Germany <i>Allemagne</i>	53	100	1:0	PBSC	200	200	-		R	Semi-pervious retaining zone. <i>Zone de « ralentissement » semi-perméable.</i>
34	77/80	Finsteral	Austria <i>Autriche</i>	100	70/60/50	1:0.4	DACC	300 0/100	200 2/100	c	IV	R	Vertical shaft for dam monitoring. <i>Puits vertical pour auscultation.</i>
35	78/81	Megger	Great Britain <i>Grande-Bretagne</i>	57	70/60	1:0	DACC	150 < 100	150 < 100	c	IV	R	
36	78/81	Kleine Kinzig	Germany <i>Allemagne</i>	68	70/50	1:0(*)	DACC	150	150	c	V	R	
37	1979	Buri	Japan <i>Japon</i>	15	50	1:0	DACC	300 < 100	200 < 100	d	IV	R	Inspection gallery sideways of core. <i>Galérie de visite à côté du noyau.</i>
38	79/80	(Große) Dhünn	Germany <i>Allemagne</i>	63	60	1:0(*)	DACC	200 25/56	300 25/56	c	V	R	Vertical shaft for dam monitoring. <i>Puits vertical pour auscultation.</i>
39	79/80	Sulby	Great Britain <i>Grande-Bretagne</i>	36	75	1:0	DACC	-	-	b	IV	R	Combination of DACC (dam. 1 stage) and asphaltic concrete facing (dam. 2 stage). <i>Combinaison DACC (digue. 1<sup>re</sup> étape) et masque étanche bitumineux (digue. 2<sup>e</sup> étape).</i>

Table I (continued)/ Tableau I (suite)

No.	Year <i>Année</i>	Name of Dam <i>Nom du Barrage</i>	Country <i>Pays</i>	Height <i>Hauteur</i> (m)	Thickness <i>Épaisseur</i> (cm)	Inclination <i>Pente</i> (v/h)	Kind of core <i>Type de noyau</i>	Transition zones Thickness (cm) Grading (mm) <i>Zones de transition</i> <i>Épaisseur (cm)</i> <i>Granulométrie (mm)</i>		Type of cut-off wall <i>Type de mur-pare-poutre-fouille</i>	Method of core placing <i>Mode de mise en place du noyau</i>	Embankment material <i>Matériau de remblai</i>	Particularities <i>Particularités</i>
								Upstream <i>Amont</i>	Downstream <i>Aval</i>				
40	1980	Pla de Soulem	France	10	60	1:0	DACC	—	—	b	V	R	Combination of DACC (subground) and asphaltic concrete facing (dâm). <i>Combinaison DACC sous-sol et mas- que étanche bitumineux/digue.</i>
41	1980	Vestredalsjern	Norway <i>Norvège</i>	32	50	1:0	DACC	125 < 60	125 < 60	b	IV	R	
42	1980	Kaliavatn	Norway <i>Norvège</i>	35	50	1:0	DACC	125 < 60	125 < 60	b	IV	R	
43	1981	Langavatn	Norway <i>Norvège</i>	25	50	1:0	DACC	125 < 60	125 < 60	b	IV	R	
44	1981	Dhünn/UD Dhünn	Germany <i>Allemagne</i>	12	50	1:0	DACC	125	125	b	IV	R	
45	1984	Feldbach/ UD Wupper	Germany <i>Allemagne</i>	14	40	1:0	DACC	200	200	b	V	R	
46	1985	Wiebach/ UD Wupper	Germany <i>Allemagne</i>	12	50	1:0	DACC	175	175	b	IV	R	
47	1985	Sichigashuku	Japan <i>Japon</i>	37	50	1:0	DACC	150	150	b	V	R	Cofferdam with DACC integrated in dam with asphaltic concrete facing. <i>Barréseau avec DACC incorporé dans digue avec masque étanche bitumi- neux.</i>

Table I (continued)/Tableau I (suite)

No.	Year Année	Name of Dam Nom du Barrage	Country Pays	Height Hauteur (m)	Thickness Épaisseur (cm)	Inclination Pente (1/h)	Kind of core Type de noyau	Transition zones Zones de transition		Type of core cut-off wall Type de mur para-foaillé	Method of core placing Mode de mise en place du noyau	Embankment material Matériaux de remblai	Particularities Particularités
								Upstream Amont	Downstream Aval				
48	85/87	Storvæn	Norway Norvège	90	80/50	1:0.2	DACC	150	150	b	V	R	Extensive instrumentation and monitoring. Instrumentation étendue.
49	1986	Dörpe UD-Wupper	Germany Allemagne	16	60	1:0	DACC	200 0/63	200 8/63	b	IV	R	
50	1986	Lenneper Bach UD-Wupper	Germany Allemagne	11	50	1:0	DACC	125	125	b	IV	R	
51	1986	Wupper	Germany Allemagne	39	60	1:0 (*)	DACC	150 0/63	550-150 8/63	c	V	R	Second core downstream. Noyau secondaire aval. h = 8 m d = 40 cm
52	87/88	Rottach	Germany Allemagne	38	60	1:0	DACC	120 0/80	120 16/80	c	V	R	
53	88/	Boguchanskaya	USSR URSS	79	120/60	1:0	FACC			b + c	III	R	Asphaltic concrete with high bitumen content. Béton bitumineux à teneur élevée en bitume.
54	88/	Telmanskaya	USSR URSS	140	140/50	1:0	FACC	600	600	c	III	R	" " "
55	88/	Irganaiskaya	USSR URSS	100	130/50	1:0	FACC			b - c	III	R	" " "



Table I (continued) / Tableau I (suite)

No.	Year <i>Année</i>	Name of Dam <i>Nom du Barrage</i>	Country <i>Pays</i>	Height <i>Hauteur</i> <i>(m)</i>	Thickness <i>Épaisseur</i> <i>(cm)</i>	Inclination <i>Pente</i> <i>(v/h)</i>	Kind of core <i>Type de noyau</i>	Transition zones <i>Zones de transition</i>		Type of cut-off wall <i>Type de mur para-foaile</i>	Method of core placing <i>Méthode de mise en place du noyau</i>	Embankment material <i>Matériaux de remblai</i>	Particularities <i>Particularités</i>
								Upstream <i>Amont</i>	Downstream <i>aval</i>				
56	89/90	Queen's Valley	Great Britain (Channel Islands) <i>Grande-Bretagne (Iles Anglo-Normandes)</i>	34	60	1:0	DACC	150	150	c	IV	R	
57	89/90	Festritz	Austria <i>Autriche</i>	88	70/60/50	1:0(*)	DACC	150 0/60	150 2/60	c	V	R	Vertical shaft for dam monitoring. <i>Puits vertical pour auscultation.</i>
58	90/91	Hintermühl	Austria <i>Autriche</i>	40	70/50	1:0	DACC	150 0/100	150 2/100	c	IV	R	
59	91/92	Schmalwasser	Germany <i>Allemagne</i>	74	80	1:0.1	DACC	160 11/32	160 11/32	c	V	R	

Table II/ Tableau II

Dams with Bituminous Cores.  
Barrages avec noyaux bitumineux.

Height categories Groupes de hauteur	No.	Name of Dam Nom du Barrage	Country Pays	Height Hauteur (m)	Thickness of Core Épaisseur du Noyau (cm)	Inclination of Core Pente du Noyau (v/h)	Tabl. I Réf. No
15-30 m	1	Buri	Japan <i>Japon</i>	15	50	1 : 0	37
	2	Dörpe, UD Wupper Dam	Germany <i>Allemagne</i>	16	60	1 : 0	49
	3	Ködel, UD Mauthaus Dam	Germany <i>Allemagne</i>	17	40	1 : 0	11
	4	Wiehl, Main UD, UD principal	Germany <i>Allemagne</i>	18	50/40	1 : 0	23
	5	Eicherscheid	Germany <i>Allemagne</i>	18	40	1 : 0	24
	6	Antrift	Germany <i>Allemagne</i>	18	50	1 : 0	30
	7	Bremge, UD Bigge Dam	Germany <i>Allemagne</i>	20	60	1 : 0	7
	8	Meiswinkel, UD Wiehl Dam	Germany <i>Allemagne</i>	22	50/40	1 : 0	21
	9	Langavatn	Norway <i>Norvège</i>	25	50	1 : 0	43
	10	Legadadi	Ethiopia <i>Éthiopie</i>	26	60	1 : 0	17
	11	Eixendorf	Germany <i>Allemagne</i>	26	60/40	1 : 0	25
	12	Eberlaste	Germany <i>Allemagne</i>	28	50/40	1 : 0	10
h > 30 m	13	Laguna de los Cristales	Chile <i>Chili</i>	31	60	1 : 0	28
	14	Vestredalstjern	Norway <i>Norvège</i>	32	50	1 : 0	41

15	Queen's Valley, Jersey	G. Britain	34	60	1 : 0	56
16	Dhuenn, UD Dhuenn Dam	<i>Grande-Bretagne</i>	35	70/60/50	1 : 0	5
17	Katlavatr	Germany	35	50	1 : 0	42
18	Sulby, Isle of Man	<i>Allemagne</i>	36	75	1 : 0	39
19	Shichigashuku	Norway	37	50	1 : 0	47
20	Rottach	<i>Norvège</i>	38	60	1 : 0	52
21	Wupper	G. Britain	39	60	1 : 0 (*)	51
22	Hintermuhr	<i>Grande-Bretagne</i>	40	70/50	1 : 0	58
23	Wiehl	Japan	53	60/50/40	1 : 0	20
24	Megget	<i>Japon</i>	57	70/60	1 : 0	35
25	Große Dhuenn	Germany	63	60	1 : 0 (*)	38
26	Kleine Kinzig	<i>Allemagne</i>	68	70/50	1 : 0 (*)	36
27	Schmalwasser	Germany	74	80	1 : 0.1	59
28	Feistritz	<i>Allemagne</i>	88	70/60/50	1 : 0 (*)	57
29	Storvatn	Austria	90	80/50	1 : 0.2	48
30	High Island West Dam (Secondary Core - <i>Noyau</i> <i>Secondaire</i> )	<i>Autriche</i>	95 (45)	120/80 (60)	1 : 0 (*) (1 : 0)	26
31	Finstertal	Norway	96	70/60/50	1 : 0.4	34
32	High Island East Dam (Secondary Core - <i>Noyau</i> <i>Secondaire</i> )	<i>Norvège</i>	105 (53)	120/80 (60)	1 : 0 (*) (1 : 0)	27
		Hong Kong				
		Austria				
		<i>Autriche</i>				
		Hong Kong				

Table 1/ Tableau 1 (Addenda)  
Dams with Bituminous Cores (chronological order).  
Barrages avec noyaux bitumineux (ordre chronologique).

Year <i>Année</i>	Name of Dam <i>Nom du Barrage</i>	Country <i>Pays</i>	Height <i>Hauteur</i>  (m)	Thickness <i>Épaisseur</i>  (cm)	Inclination <i>Pente</i>  (v/h)	Kind of core <i>Type de noyau</i>	Transition zones Thickness (cm) Grading (mm) <i>Zones de transition</i> <i>Épaisseur (cm)</i> <i>Granulométrie (mm)</i>		Type of cut-off wall <i>Type de mur de barrage</i>	Method of core placing <i>Mode de mise en place du noyau</i>	Embankment material <i>Matériaux de remblai</i>
							Upstream <i>Amont</i>	Downstream <i>Aval</i>			
1986	Riskallvatn	Norway <i>Norvège</i>	45	50	1:0	DACC	150 0/60	150 0/60	—	V	R
1988	Berdalvatn	Norway <i>Norvège</i>	65	50	1:0	DACC	150 0/60	150 0/60	—	V	R
1990	Syggvatn	Norway <i>Norvège</i>	52	50	1:0	DACC	150 0/80	150 0/80	—	V	R

Table II/ Tableau II (Addenda)

Dams with Bituminous Cores.

*Barrages avec noyaux bitumineux.*

Height categories <i>Groupes de hauteur</i>	Name of Dam <i>Nom du Barrage</i>	Country <i>Pays</i>	Height <i>Hauteur</i> (m)	Thickness of Core <i>Épaisseur du noyau</i> (cm)	Inclination of Core <i>Pente du noyau</i> (v/h)
h > 30	Riskallvatn	Norway <i>Norvège</i>	45	50	1 : 0
h > 30	Styggevatn	Norway <i>Norvège</i>	52	50	1 : 0
h > 30	Berdalsvatn	Norway <i>Norvège</i>	65	50	1 : 0

---

## 6. EXEMPLES D'OUVRAGES RÉALISÉS

---

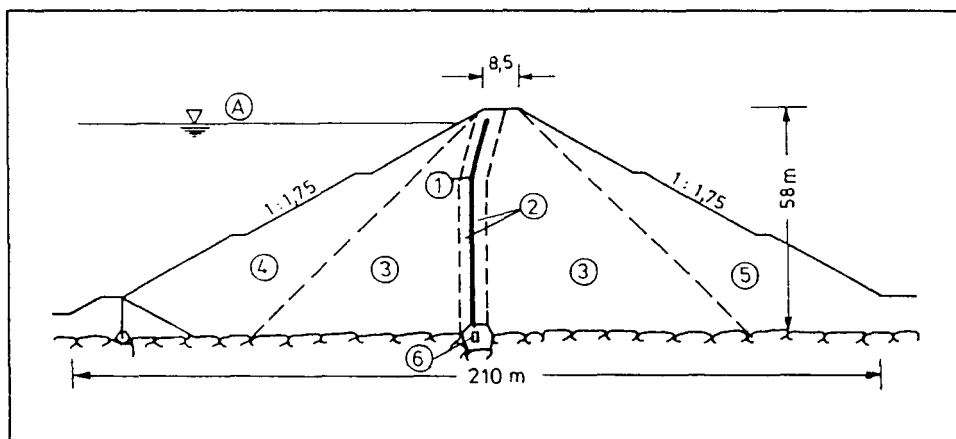
Les exemples suivants de barrages en terre et en enrochement avec noyaux en béton bitumineux montrent clairement que chaque solution doit être adaptée aux données topographiques et géologiques existantes. De vastes expériences dans ce domaine sont indispensables pour l'étude et l'exécution de tels ouvrages.

### 6.1. BARRAGE DE GROSSE DHÜNN (ALLEMAGNE)

Ce barrage de 58 m de hauteur fut construit, dans les années 1979/1980, par « Wupperverband » et est situé dans une vallée aux versants à faible pente.

Le barrage est fondé entièrement sur du rocher se composant de couches alternées de grauwacke et de limon consolidé. Ce matériau tendre fut utilisé pour le remblai du barrage et put être compacté jusqu'à un poids volumique de  $23 \text{ kN/m}^3$ . La conception du barrage est indiquée dans la Fig. 8.

Les zones internes du barrage qui se composent de matériau rocheux de petites dimensions furent soigneusement compactées. Le noyau en béton bitumineux, d'une épaisseur de 60 cm repose sur la galerie de visite et d'injection ancrée au rocher. Dans le tiers supérieur de la hauteur du barrage, le noyau a une pente de 4/1 vers l'aval. Pour les zones de transition à l'amont et à l'aval du noyau, on a utilisé de la roche concassée d'une granulométrie maximale de 60 mm. La construction du barrage fut terminée fin 1980, mais la mise en eau ne put commencer qu'en 1985. Ainsi eut-on la chance d'observer pendant plusieurs années le comportement d'un barrage sous l'effet seul de son poids propre. Les Fig. 15 et 16 montrent quelques résultats concernant les déformations du barrage.



---

## 6. PROJECT EXAMPLES

---

The following examples of earth and rockfill dams with asphaltic concrete cores already executed show clearly that solutions for each project must be individually adapted to the respective topographical and geological conditions. Design and execution require extensive experience in this special field of civil engineering.

### 6.1. GROSSE DHÜNN DAM, GERMANY

This 58 m high dam, built by the Wupperverband in the years 1979/1980, is located in a valley with only slight slopes.

The complete dam is founded on rock with alternating strata of greywacke and siltstone. It was also filled with this friable stone which permitted compaction to a unit weight of 23 kN/m<sup>3</sup>. The dam design can be seen in Fig. 8.

In the inner zones consisting of small sized rock particles, emphasis is placed on an intensive compaction. The 60 cm thick asphaltic concrete core lies on an inspection and grouting gallery tied into the rock. The core has a downstream incline of 4:1 in the upper third of the dam elevation. Crushed rock with a grain size of < 60 mm was used for the transition zones in front of and behind the core. Although the dam was completed in late 1980, impounding could only commence at the beginning of 1985. This presented a unique opportunity for being able to observe, over a period of years, a dam affected only by the influence of its dead-weight. Fig. 15 and 16 present some results from this dam with regard to deformations.

Fig. 8

Grosse Dhünn Dam, Germany - Typical Cross Section.

*Barrage de Grosse Dhünn, Allemagne - Coupe transversale type.*

- |                                    |   |
|------------------------------------|---|
| (A) Storage level.                 | (A) Niveau normal de retenue.                   |
| (1) Asphaltic concrete core.       | (1) Noyau en béton bitumineux.                  |
| (2) Transition zones.              | (2) Zones de transition.                        |
| (3) Rockfill, small-sized.         | (3) Remblai en enrochement, petites dimensions. |
| (4) Rockfill, large-sized.         | (4) Remblai en gros enrochement.                |
| (5) Rockfill, unclassified.        | (5) Remblai en enrochement, toutes dimensions.  |
| (6) Inspection & grouting gallery. | (6) Galerie de visite et d'injection.           |

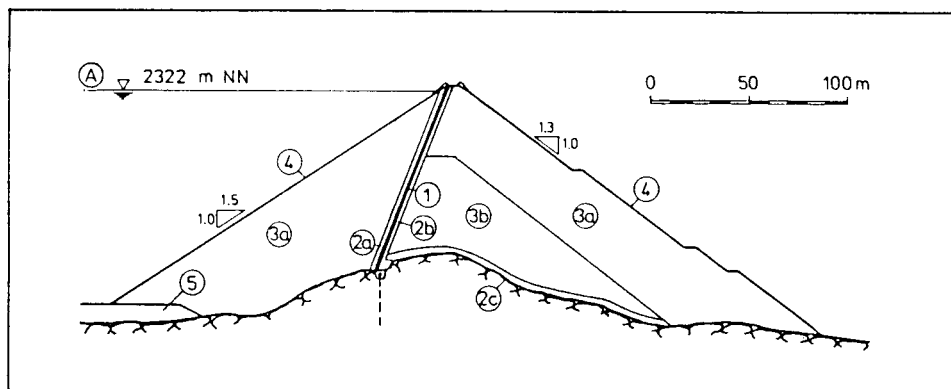
## 6.2. BARRAGE DE FINSTERTAL (AUTRICHE)

Le barrage en enrochement représenté dans la Fig. 9 fut conçu et étudié par « Tiroler Wasserkraftwerke AG », Autriche, et construit entre 1977 et 1980.

Ce qui est remarquable dans le cas de ce barrage est sa position sur un seuil rocheux situé en travers de la vallée. Au-dessus du seuil, le barrage a une hauteur d'environ 90 m. La galerie de visite et d'injection située dans le rocher suit la ligne de ce seuil.

Le noyau bitumineux raccordé à la galerie et incliné vers l'aval est supporté par des remblais fortement compactés. Le béton bitumineux d'une granulométrie maximale de 16 mm est composé de granodiorite concassée, sable naturel, filler calcaire, et de 6,3 % de bitume B 65. Il fut compacté jusqu'à moins de 2 % de vides. L'épaisseur du noyau de 70 cm à la base se réduit à 50 cm à la partie supérieure.

A l'amont du béton bitumineux il y a une zone de transition en moraine d'une granulométrie maximale de 100 mm. Elle sert à assurer une capacité d'auto-réparation en cas d'éventuelles fuites dans le noyau. Dans la zone de transition à l'aval du noyau, les percolations sont recueillies et dirigées vers le système de contrôle. Grâce à sa structure granulométrique mixte, la granodiorite pour les deux recharges a pu être compactée jusqu'à 21 à 24 % de vides. Le barrage est muni d'environ 800 points de mesures et se trouve constamment sous une observation très minutieuse.



## 6.3. AMÉNAGEMENT DE FOURNITURE D'EAU POTABLE DE HIGH ISLAND (HONG KONG)

### Noyau bitumineux pour deux barrages de 100 m de hauteur

Après l'achèvement de la retenue de High Island destinée à la fourniture d'eau potable, le terme « manque d'eau » devint définitivement un problème du passé à Hong Kong. D'une capacité utile de 273 hm<sup>3</sup>, ce réservoir a porté la capacité totale de stockage pour Hong Kong à 582 hm<sup>3</sup>, ce qui correspond à 1,2 fois la demande annuelle actuelle de la population, c'est-à-dire des quelque 4,5 millions d'habitants.



## 6.2. FINSTERTAL DAM, AUSTRIA

The rockfill dam shown in Fig. 9 was planned and designed by the Tiroler Wasserkraftwerke AG and constructed between 1977/1980.

This dam is remarkable for the fact that it stands on a rock barrier running crosswise to the valley. The dam height above the barrier is approximately 90 m. The inspection and grouting gallery situated in the rock follows the course of this rock barrier.

The asphaltic concrete core connected to the gallery and inclined to the downstream face is supported by highly compacted fills. The asphaltic concrete with a maximum grain size of 16 mm comprises crushed granodiorite, natural sand, limestone filler and 6.3 % Grade B 65 bitumen. This was compacted to a voids content of less than 2 % by volume. The core is 70 cm thick at the base, reducing upwards to 50 cm.

In front of the asphaltic concrete there is a transition zone of moraine with a maximum grain size restricted to 100 mm. This is intended to effect the self-healing of possible leakage points in the core. Seepage is released from the crushed rock zone behind the core and led to the control system. Due to its mixed grain design, the granodiorite for the two embankments could be compacted to a voids content of 21 to 24 %. The dam is exceptionally well monitored and furnished with almost 800 measuring points.

Fig. 9

Finstertal Dam, Austria - Typical Cross Section.

*Barrage de Finstertal, Autriche - Coupe transversale type.*

(A) Storage level	(A) Niveau normal de retenue
(1) Impervious core - Asphaltic concrete	(1) Noyau étanche - Béton bitumineux
(2a) Transition zone upstream - Moraine	(2a) Zone de transition amont - Moraine
(2b) Transition zone downstream - Classified quarry material	(2b) Zone de transition aval - Matériau de carrière classé
(2c) Filter zone - Quarry material	(2c) Zone filtrante - Matériau de carrière
(3a) Dam shoulders - Quarry material	(3a) Recharges - Matériau de carrière
(3b) Dam shoulder - Moraine	(3b) Recharge - Moraine
(4) Riprap - Blocks	(4) Riprap - Blocs
(5) Remaining overburden - Moraine	(5) Terrain de couverture subsistant - Moraine

## 6.3. HIGH ISLAND WATER SCHEME, HONG KONG

### Bituminous core for two 100 m high dams

The words " water shortage " were no longer to be heard in the crown colony of Hong Kong after completion of the High Island Reservoir for potable water. With a useful capacity of 273 hm<sup>3</sup>, this reservoir increased Hong Kong's total storage capacity to 582 hm<sup>3</sup>, which corresponds to 1.2-fold the current annual requirement of the nearly 4.5 million inhabitants.

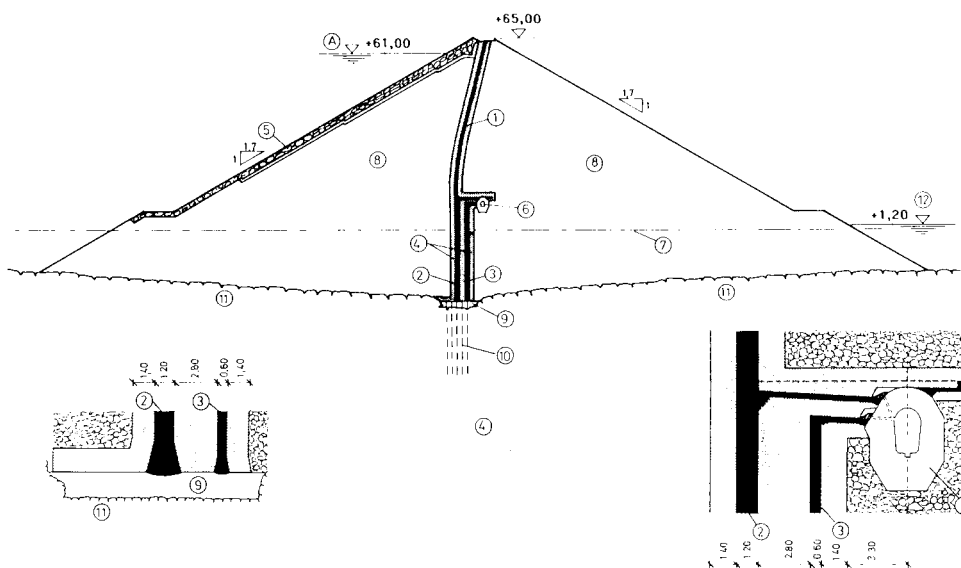
Conformément à leur situation géographique aux deux extrémités du détroit de Kwun-Mun, les barrages s'appellent « Barrage Ouest » et « Barrage Est ». Le détroit situé entre l'île High Island et le continent s'ouvre à l'est vers la Mer de Chine. A l'ouest, il y a des zones d'eaux peu profondes et des groupes d'îles.

La profondeur de l'eau dans la lagune est faible à l'ouest (environ 2 m); elle augmente progressivement vers l'est et atteint 8-9 m dans la zone du Barrage Est.

Comme le fond de la mer, le rocher naturel qui sert de fondation pour les deux barrages s'incline de l'ouest vers l'est. Dans le cas du Barrage Ouest, le niveau de la fondation se trouve 36 m au-dessous du zéro du nivellement général, et celui du Barrage Est 44 m au-dessous du zéro du nivellement général. Étant donné que la crête des deux barrages est à une hauteur de 65 m au-dessus du zéro du nivellement général, les hauteurs des barrages sont les suivantes :

- 36 m + 65 m = 101 m, dans le cas du Barrage Ouest,
- 44 m + 65 m = 109 m, dans le cas du Barrage Est.

Les deux barrages sont des barrages en enrochement avec noyau en béton bitumineux et une galerie de contrôle au-dessus du niveau de la mer. Afin de pouvoir contrôler l'étanchéité du noyau, également au-dessous du niveau de la mer, un noyau secondaire est construit parallèlement au noyau principal, à l'aval (Fig. 10). La distance entre les deux noyaux est de 2,40 m.



#### 6.4. NOYAU BITUMINEUX DU BARRAGE DE BREITENBACH (ALLEMAGNE)

« Wasserverband Siegerland », fondé en 1953, est chargé de l'alimentation en eau potable pour les quelque 300 000 habitants du district de Siegen, en utilisant principalement deux barrages. L'un d'eux, le barrage de Breitenbach, fut mis en service en 1956.

The two dams forming the reservoir are called West and East Dam according to their geographical location at both ends of the Kwun-Mun Strait. This channel between High Island and the mainland opens towards the east into the South China Seas. In the west, however, it joins the flat water area and island groups.

The water depth in the lagoon is low in the west (2 m approx.) increasing gradually to the east and reaching 8 to 9 m in the area of the later East Dam.

The natural rock on which both dams are founded inclines from west to east, similarly to the seabed. In the West Dam, the foundation base lies 36 m and that of the East Dam 44 m below datum level. As the both crests of the two dams are 65 m above datum level, the resultant dam heights are :

West Dam :  $- 36 \text{ m to } + 65 \text{ m} = 101 \text{ m}$  and  
 East Dam :  $- 44 \text{ m to } + 65 \text{ m} = 109 \text{ m}$ .

Both are rockfill dams with bituminous cores and a control gallery above sea level (Fig. 10). In order to enable seepage control of the core, also below sea level, a secondary core is installed on the downstream side of the main core at a distance of 2.40 m.

Fig. 10

High Island Water Scheme, Hong Kong  
 Typical Cross Section of the dams.

*Aménagement de fourniture d'eau potable de High Island, Hong Kong  
 Coupe transversale type des barrages.*

- |                              |                               |
|------------------------------|-------------------------------|
| (A) Storage level.           | (A) Niveau normal de retenue. |
| (1) Asphaltic concrete core. | (1) Noyau bitumineux.         |
| (2) Main core.               | (2) Noyau principal.          |
| (3) Secondary core.          | (3) Noyau secondaire.         |
| (4) Transition zones.        | (4) Zones de transition.      |
| (5) Riprap.                  | (5) Riprap.                   |
| (6) Inspection gallery.      | (6) Galerie de visite.        |
| (7) Seabed.                  | (7) Fond de la mer.           |
| (8) Rockfill.                | (8) Remblai en enrochement.   |
| (9) Foundation slabs.        | (9) Dalles de fondation.      |
| (10) Grout curtain.          | (10) Écran d'injection.       |
| (11) Bedrock.                | (11) Fondation rocheuse.      |
| (12) Mean Sea Level.         | (12) Niveau moyen de la mer.  |

#### 6.4. THE BITUMINOUS CORE OF BREITENBACH DAM, GERMANY

Founded in 1953, the Wasserverband Siegerland now supplies roughly 300 000 inhabitants in the Siegen district with drinking water, mainly using two dams. One of these, the Breitenbach Dam, was put into operation in 1956.

Il fut conçu pour une réalisation en deux phases. La première phase comprenait un barrage en enrochement, d'une hauteur de 29 m, avec un noyau en argile, la capacité de stockage étant de 2,6 hm<sup>3</sup>. Son bassin d'alimentation était de 4,08 km<sup>2</sup>. Il était prévu de porter, dans une deuxième phase, le bassin d'alimentation à 11,6 km<sup>2</sup> en construisant des galeries d'adduction d'eau; dans cette phase, le barrage fut surélevé de 12,5 m et la capacité de retenue portée à 7,8 hm<sup>3</sup>.

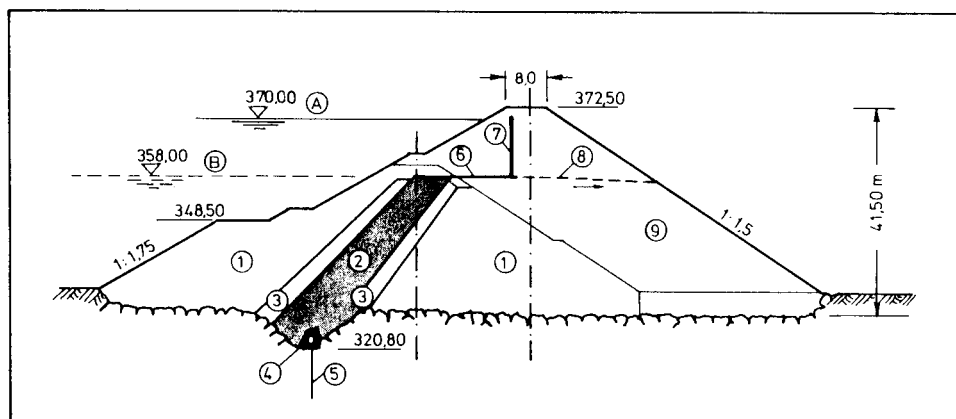
La coupe transversale type du barrage est représentée dans la Fig. 11, indiquant que l'étanchéité bitumineuse interne comprend un tapis horizontal en béton bitumineux et un noyau vertical en béton bitumineux. Le tapis est raccordé à l'ancien noyau en argile. C'était la première fois dans la construction de barrages qu'on réalisait la liaison de ces deux matériaux, l'argile et le béton bitumineux, pour en faire un organe d'étanchéité combiné. Le barrage de Breitenbach constitue donc un prototype dans ce domaine.

Cela a nécessité des essais préliminaires, au cours desquels il était nécessaire de concevoir la liaison entre le tapis en béton bitumineux et le noyau d'argile, et également celle entre le noyau bitumineux et le tapis en béton bitumineux. De plus, il a fallu étudier également le raccordement du tapis avec le mur-parafouille.

Tandis que les deux derniers points pouvaient être étudiés « sur papier » selon des critères bien connus, la liaison entre tapis en béton bitumineux et noyau d'argile nécessitait une étude expérimentale au moyen d'un essai à grande échelle.

Le joint entre les deux matériaux devaient satisfaire aux exigences suivantes :

- a) transmission des forces de cisaillement;
- b) étanchéité.



Even at the planning stage, it was designed so that construction would be carried out in two phases of development. The first phase comprised a 29.0 m high rockfill dam with a clay core and a storage capacity of 2.6 hm<sup>3</sup>. The respective surface collection area was 4.08 km<sup>2</sup> in size. In a second phase, the collection area was to be increased to 11.6 km<sup>2</sup> by the construction of secondary galleries, and the capacity of the reservoir increased to 7.8 hm<sup>3</sup> by heightening the dam by 12.5 m.

The typical cross section of the dam given in Fig. 11 shows that the bituminous inner sealing comprises a horizontal asphaltic concrete blanket (6 in Fig. 11) and a vertical asphaltic concrete core (7 in Fig. 11), whereby the blanket is connected to the old clay core. This type of combination of the two materials, clay and asphaltic concrete, had not previously been carried out in dam construction, so that the Breitenbach Dam represents a prototype execution for this combined sealing.

This made prior investigations necessary, in the course of which both the interface between asphaltic concrete blanket and clay core and that between asphaltic concrete core and asphaltic concrete blanket were to be designed to application maturity. The connection of the blanket to the cut-off wall naturally also had to be clarified.

Whereas the two latter connections could be designed “ on paper ” in accordance with known principles, the interface of the asphaltic concrete blanket and the clay core had to be experimentally investigated in a large-scale test.

The joint between the two materials had to comply with specifications in accordance with :

- a) transmission of shearing forces, and
- b) impermeability.

Fig. 11

Breitenbach Dam, Germany  
Typical Cross Section at Final Completion.

*Barrage de Breitenbach, Allemagne  
Coupe transversale type au stade final de construction.*

- |                                 |   |
|---------------------------------|---|
| (A) Storage level, Final Stage. | (A) Niveau normal de retenue, Phase finale. |
| (B) Storage level, Stage I.     | (B) Niveau normal de retenue Phase I.       |
| — Stage I                       | — Phase I                                   |
| (1) Rockfill.                   | (1) Remblai en enrochement.                 |
| (2) Clay core.                  | (2) Noyau en argile.                        |
| (3) Transition zones.           | (3) Zones de transition.                    |
| (4) Control gallery.            | (4) Galerie de visite.                      |
| (5) Grout curtain.              | (5) Écran d'injection.                      |
| — Final Stage                   | — Phase finale                              |
| (6) Asphaltic concrete blanket. | (6) Tapis en béton bitumineux.              |
| (7) Asphaltic concrete core.    | (7) Noyau en béton bitumineux.              |
| (8) Control pipes.              | (8) Tuyaux de contrôle.                     |

## 6.5. RETENUE DE SULBY, ILE DE MAN (GRANDE-BRETAGNE)

L'ouvrage destiné à créer la retenue de Sulby fut conçu sous forme d'un barrage en enrochement avec étanchéité bitumineuse située, en partie à l'intérieur, en partie à l'extérieur (Fig. 12). En plus de la fourniture d'eau potable, il sert aussi à la production d'énergie.

L'adoption d'une étanchéité mixte, composée d'un noyau en béton bitumineux dans une section du barrage et d'un masque en béton bitumineux dans l'autre, résultait de la réalisation du barrage en deux étapes.

Cependant, après le début des travaux, il fut décidé de réaliser les deux phases immédiatement l'une après l'autre.

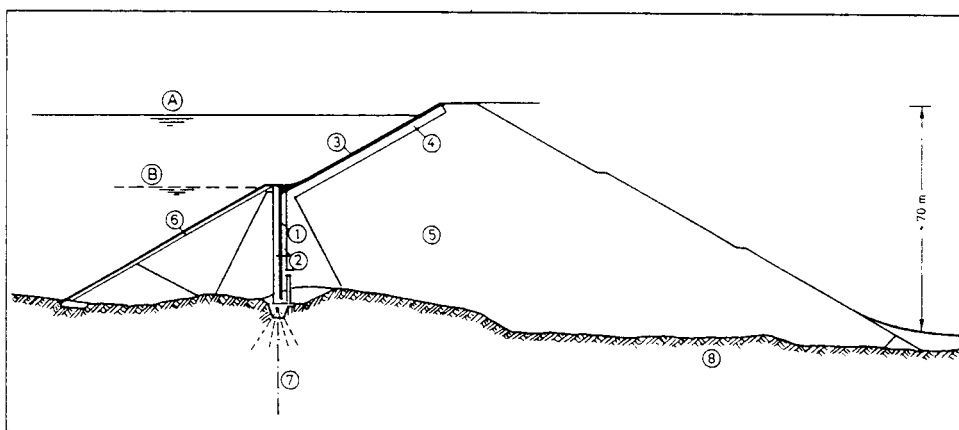
### Noyau en béton bitumineux

Au centre du barrage, le noyau bitumineux constitue un écran d'étanchéité vertical et rectiligne, d'une hauteur de 36 m, d'une épaisseur de 75 cm, et d'une surface d'environ 3 350 m<sup>2</sup>. Un mur-parafouille en béton de ciment sert de fondation. Le joint de raccordement entre le béton de ciment et le noyau bitumineux a été conçu en forme d'auge et muni d'une couche de mastic bitumineux, de 2 cm d'épaisseur, constituant un élément d'étanchéité et de liaison.

La partie supérieure du noyau bitumineux est élargie en gradins pour assurer une liaison parfaite avec le masque d'étanchéité du corps du barrage surélevé. La partie supérieure du noyau présente une courbe convexe pour les tassements prévus.

### Masque en béton bitumineux

Le masque d'étanchéité fut réalisé conformément aux critères établis et bien connus. Les exigences à remplir étaient :



## 6.5. SULBY RESERVOIR SCHEME, ISLE OF MAN/GREAT BRITAIN

The structure required for the Sulby Reservoir Scheme was designed as a rockfill dam with an asphaltic sealing placed partially internally and partially externally (Fig. 12). In addition to potable water supply, the reservoir also serves for power generation.

The arrangement of a combined sealing comprising an asphaltic concrete core in one section of the dam and an asphaltic concrete facing in the other resulted from considerations regarding construction of the dam being undertaken in two separate partial stages.

However, after commencement of the works it was decided to execute both stages directly after one another.

### Asphaltic Concrete Core

The asphaltic concrete core forms a vertical, rectilinear, 36 m high and 75 cm thick core wall with a surface of 3 350 m<sup>2</sup> approx. in the centre of the first section of the dam. A cement concrete cut-off wall serves as foundation. The connecting joints between the cement concrete and the asphaltic concrete core were designed as troughed and furnished with a 2 cm asphalt mastic bed as sealing and bonding element.

In the head section of the asphaltic concrete core, the sealing features a stepped expansion to ensure a stable connection to the external sealing of the raised body of the structure. The upper end of the core wall is convexly curved to permit absorption of expected settlements.

### Asphaltic Concrete Facing

Design of the impervious facing was carried out in concurrence with the generally accepted criteria. The main criteria to be fulfilled were :

Fig. 12

Sulby Dam, Isle of Man, Great Britain — Typical Cross Section.

*Barrage de Sulby, Ile de Man, Grande-Bretagne — Coupe transversale type.*

- |                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| (A) Storage level, Final Stage.   | (A) Niveau normal de retenue, Phase finale. |
| (B) Storage level, Stage I.       | (B) Niveau normal de retenue, Phase I.      |
| (1) Asphaltic concrete core.      | (1) Noyau en béton bitumineux.              |
| (2) Transition zones.             | (2) Zones de transition.                    |
| (3) Asphaltic concrete facing.    | (3) Masque en béton bitumineux.             |
| (4) Levelling and drainage layer. | (4) Couche d'égalisation et de drainage.    |
| (5) Rockfill.                     | (5) Remblai rocheux.                        |
| (6) Riprap.                       | (6) Riprap.                                 |
| (7) Grout curtain.                | (7) Écran d'injection.                      |
| (8) River bed.                    | (8) Lit de la rivière.                      |

- a) création d'un masque d'étanchéité résistant capable d'absorber les tassements et mouvements d'un massif en remblai compacté;
- b) étanchéité;
- c) maintien des propriétés requises, dans des conditions climatiques extrêmes (chaleur, exposition au soleil, gel);
- d) accès facile pour réparations.

En plus d'une composition granulométrique parfaite, ces critères dépendent aussi de la pente du talus à étancher et de l'adhérence du matériau bitumineux.

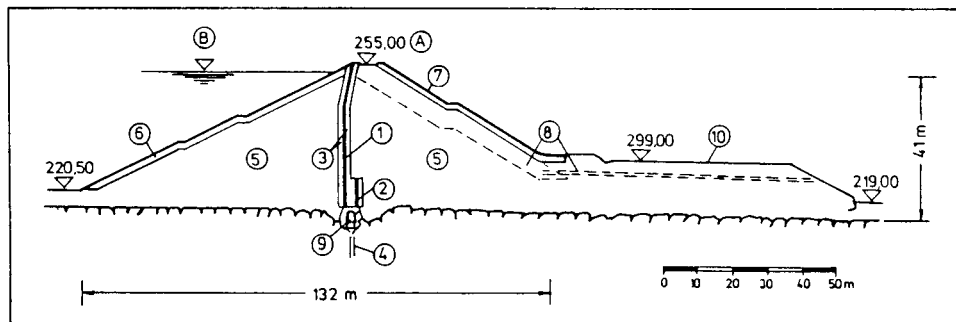
Le masque en béton bitumineux comprend trois couches, d'une épaisseur totale de 24 cm; un mastic bitumineux de fermeture sur la surface et sur un côté de la zone de contact, et une émulsion bitumineuse sur l'autre côté, assurent une surface fermée et une liaison avec le matériau du massif en remblai.

### 6.6. BARRAGE DE WUPPER (ALLEMAGNE)

Le barrage de Wupper (Fig. 13) fut construit entre 1982 et 1987 et mis en service en 1988. Ce barrage sert de protection contre les crues et de soutien des étiages.

La retenue a une capacité utile de 25,9 hm<sup>3</sup>. Le barrage est du type en enrochement avec noyau bitumineux, d'une hauteur de 41 m.

Le trait particulier de ce noyau est un mur de protection, pratiquement un noyau parallèle, également en béton bitumineux, qui empêche les eaux d'aval de pénétrer dans le système de contrôle.





- a) creation of a stable upstream facing capable of absorbing the settlements and movements of a filled and compacted embankment;
- b) watertightness;
- c) maintenance of the required characteristics in extreme weather conditions (heat, exposure to sunlight, and frost);
- d) possibility for repair.

In addition to a faultless grain structure, these afore-mentioned criteria are also dependent on the incline of the slope to be sealed and on the bonding action of the asphaltic material.

The asphaltic concrete facing comprises three layers with a total of 24 cm which, with a sealing asphalt mastic on the surface and on the lower contact area on one side, and a bituminous emulsion on the other, produces a dense surface and “bond” with the embankment material.

## 6.6. WUPPER DAM, GERMANY

The Wupper Dam (Fig. 13) was built in the years 1982-1987 and commissioned in 1988. It provides floodwater protection and a raising of low water levels.

The useful capacity of the reservoir is 25.9 hm<sup>3</sup>. The actual dam is a rockfill dam with an asphaltic concrete core. The total height is 41 m.

A special feature of the core is a detention wall, practically a parallel core and also of asphaltic concrete, which prevents water collection from the tailwater penetrating into the control system.

Fig. 13

### Wupper Dam, Germany - Typical Cross Section

*Barrage de Wupper, Allemagne - Coupe transversale type.*

- |   |   |
|---|---|
| (A) Dam crest.                              | (A) <i>Crête du remblai.</i>  |
| (B) Storage level.                          | (B) <i>Niveau normal de retenue.</i>  |
| (1) Bituminous core.                        | (1) <i>Noyau bitumineux.</i>  |
| (2) Secondary core (groundwater retardant). | (2) <i>Noyau secondaire (protection contre les eaux souterraines et les eaux d'aval).</i> |
| (3) Transition zones - crushed material.    | (3) <i>Zones de transition - matériau concassé.</i>                                       |
| (4) Grout curtain.                          | (4) <i>Écran d'injection.</i>   |
| (5) Embankments                             | (5) <i>Remblais des recharges.</i>  |
| (6) Slope protection.                       | (6) <i>Protection du talus.</i>   |
| (7) Planted areas.                          | (7) <i>Plantations.</i>   |
| (8) Drainage zone with diversion.           | (8) <i>Zone de drainage avec dérivation.</i>  |
| (9) Cut-off wall with inspection gallery.   | (9) <i>Mur-parafouille avec galerie de visite.</i>  |
| (10) Powerhouse yard.                       | (10) <i>Plate-forme de la centrale électrique.</i>  |

## **6.7. BARRAGE DE FEISTRITZBACH (AUTRICHE)**

Le barrage de Feistritzbach (Fig. 14) est une digue en enrochement, de 85 m de hauteur, avec noyau bitumineux. La retenue a une capacité utile de 16,23 hm<sup>3</sup> et sert à la production d'énergie dans la centrale de Koralpe. La chute est de 735 m et le débit équipé de 8 m<sup>3</sup>/s.

Une gouttière en béton bitumineux, située aux 2/3 de la hauteur de la digue et fixée sur la face aval du noyau, collecte les eaux de percolation éventuelles de la partie supérieure. L'écran bitumineux est ainsi divisé horizontalement en deux zones de drainage.

## 6.7. FEISTRITZBACH DAM, AUSTRIA

The Feistritzbach Dam (Fig. 14) is an 85 m high rockfill dam with an asphaltic concrete core. The reservoir has a useful capacity of 16.23 hm<sup>3</sup> which is used for power generation in the Koralpe Power Station. The fall in this instance is 735 m and the ultimate flow 8 m<sup>3</sup>/s.

An asphaltic concrete gully attached to the downstream side of the core wall at 2/3 of the dam height collects possible seepage water from above. The core wall is thus divided horizontally into two drainage sections.

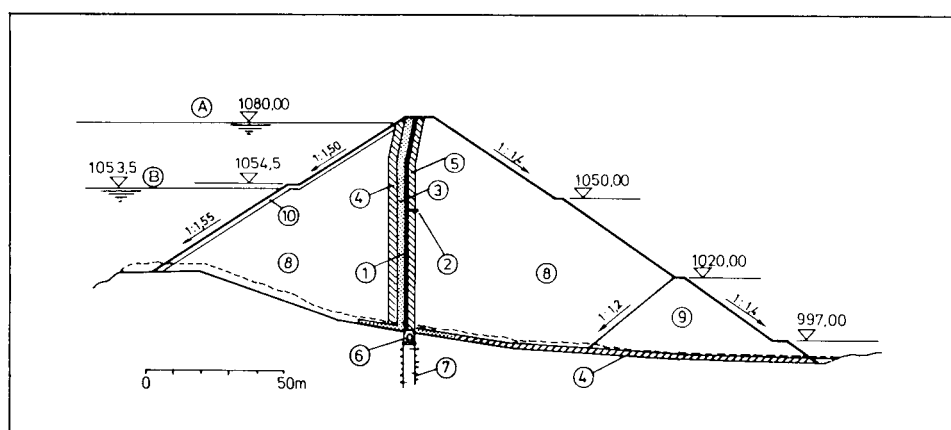


Fig. 14

Feistritzbach Dam, Austria - Typical Cross Section.

*Barrage de Feistritzbach, Autriche - Coupe transversale type.*

- |  |  |
|--|--|
| (1) Asphaltic concrete core.   | (1) Noyau en béton bitumineux.   |
| (2) Asphaltic concrete gully.  | (2) Gouttière en béton bitumineux.   |
| (3) Retarding zone. Material from the foundation area, Ø max. 60 mm. | (3) Zone de « ralentissement ». Matériau provenant de la zone de fondation Ø max. 60 mm. |
| (4) Filter zone Ø 0-60 mm, Layer thickness 20 cm.                    | (4) Zone filtrante Ø 0-60 mm, Épaisseur de la couche 20 cm.                              |
| (5) Filter zone Ø 2-60 mm, Layer thickness 20 cm.                    | (5) Zone filtrante Ø 2-60 mm, Épaisseur de la couche 20 cm.                              |
| (6) Inspection gallery.  | (6) Galerie de visite.   |
| (7) Grout curtain.   | (7) Écran d'injection.   |
| (8) Rockfill Ø max. 40 cm, Layer thickness 60 cm.                    | (8) Remblai en enrochement Ø max. 40 cm, Épaisseur de la couche 60 cm.                   |
| (9) Rockfill Ø max. 100 cm, Layer thickness 130 cm.                  | (9) Remblai en enrochement Ø max. 100 cm, Épaisseur de la couche 130 cm.                 |
| (10) Riprap Ø max. 70 cm.  | (10) Riprap Ø max. 70 cm.  |
| (A) Storage level.   | (A) Niveau normal de retenue.  |
| (B) Minimum storage level.   | (B) Niveau minimal de retenue.   |

---

## 7. ESSAIS PRÉALABLES ET CONTRÔLE DE QUALITÉ SUR LE CHANTIER

---

### 7.1. ESSAIS PRÉALABLES DU MÉLANGE BITUMINEUX

La qualité des matériaux de construction disponibles pour le mélange bitumineux a une grande influence sur les propriétés techniques et la composition optimale du mélange, mais cette qualité varie selon les lieux d'emprunt — tout particulièrement en ce qui concerne les éléments minéraux. Cela nécessite donc des essais préalables particuliers pour chaque projet.

Ces essais sont de deux types : on examinera, d'abord, si les matériaux de base sont convenables et, ensuite, si la composition du mélange convient pour l'emploi prévu. Le chapitre 3, paragraphe 3.2, donne des renseignements sur la composition des mélanges.

#### 7.1.1. Essais préalables des matériaux de base constituant le mélange bitumineux

Étant donné que les matériaux de base pour les mélanges bitumineux utilisés dans les ouvrages hydrauliques et les exigences à remplir sont, pour l'essentiel, les mêmes que dans la construction routière, les essais sont exécutés conformément aux méthodes traditionnellement adoptées dans la construction routière.

#### 7.1.2. Essais préalables du mélange choisi

La condition principale que doit remplir le mélange bitumineux après mise en place et compactage est l'étanchéité (voir aussi chapitre 3). Par conséquent, l'essai d'étanchéité sous la pression maximale prévue constitue l'essai le plus important sur le mélange bitumineux. Pour remplir cette condition, on examinera également l'ouvrabilité et l'aptitude au compactage du mélange, et on démontrera qu'une valeur de moins de 3 % de vides peut toujours être atteinte. La valeur de l'absorption d'eau est considérée aussi comme un critère important pour déterminer si un mélange convient ou non pour l'emploi prévu, et fait l'objet d'essais préalables.

### 7.2. ESSAIS PRÉALABLES DU MATÉRIAU DE TRANSITION

Le matériau prévu pour les zones de transition entre le noyau bitumineux et les deux massifs des recharges subira un essai relatif à la composition granulométrique. Une recommandation pouvant être appliquée est que la fraction de 10 % passant du matériau de transition ne dépasse pas la granulométrie maximale du béton bitumineux du noyau adjacent. On démontrera alors qu'au moins 10 % du matériau de transition présentent un diamètre de grain plus petit que le grain maximal du béton bitumineux.

---

## 7. SUITABILITY TESTS AND QUALITY CONTROL ON SITE

---

### 7.1. SUITABILITY TESTS FOR THE ASPHALT MIX

The quality of the building materials available in each case for the asphalt mix is on the one hand of great influence on the technical characteristics and the optimal mix composition, but on the other — and this particularly applies to the minerals — it varies from location to location. On principle, this necessitates individual suitability tests for each project.

Such tests comprise two types, i.e. firstly, investigation into the basic suitability of the raw materials and, secondly, testing of the chosen mix design in respect to its applicability for the specified purpose. Comments on the mix design are given under Chapter 3, Item 3.2.

#### 7.1.1. Suitability Tests for the Raw Materials of the Asphalt Mix

As the raw materials for the asphalt mix in hydraulic structures and also the demands made on them are essentially the same as for roadworks, investigations into their basic suitability are developed in accordance with methods conventionally used in the field of road construction.

#### 7.1.2. Applicability Tests for the Chosen Mix

Watertightness is the main requirement to be fulfilled by the asphaltic concrete when placed and compacted (see also Chapter 3). Therefore, the most important applicability test for the mix is the investigation into impermeability at the maximum water pressure to be foreseen. In order to fulfil this requirement, this test must also include an investigation into the placeability and compactability of the mix, and proof that a voids content of less than 3 % can be attained at all times. The water susceptibility is also taken as a criterion for applicability and correspondingly investigated.

### 7.2. SUITABILITY TESTS FOR TRANSITION MATERIAL

The material foreseen for the transition zones between the asphaltic concrete core and the embankments on each side must be subjected to a suitability test in respect to its granulometric composition. The applicable guideline should be that the 10 % - fractile of the transition material does not exceed the maximal grain size of the asphaltic concrete of the adjacent core. It must thus be substantiated that at least 10 % of the transition material has a smaller grain diameter than the largest grain of the asphaltic concrete.

La dimension maximale granulométrique du matériau de transition ne doit pas être inférieure au quart de la dimension maximale granulométrique du matériau constituant les recharges en remblai du barrage.

Le matériau de transition aura une courbe granulométrique sans discontinuité. Ainsi, un compactage approprié permet d'obtenir une base stable pour la machine de mise en place du noyau.

Une seconde zone de transition entre le matériau de recharge et la zone de transition adjacente au noyau bitumineux est seulement recommandée lorsque la différence de granulométrie est trop grande et/ou lorsque la ségrégation du matériau du massif de recharge ne peut être évitée.

### **7.3. CONTRÔLE DE QUALITÉ DU BÉTON BITUMINEUX SUR LE CHANTIER**

Pour assurer une qualité constante du noyau bitumineux, des contrôles doivent être effectués pendant la période de construction.

Ces contrôles concernent les matériaux de base utilisés pour la préparation du mélange bitumineux, et également le mélange lui-même et le produit final, c'est-à-dire le noyau mis en place et compacté.

La qualité du noyau en béton bitumineux est assurée si les contrôles montrent que les critères et valeurs limites déterminés au cours des essais préalables ont été satisfaits et se maintiennent.

#### **7.3.1. Contrôle des matériaux de base**

En général, des analyses granulométriques des gravillons et sables fournis sont effectuées chaque jour, et la qualité du matériau est contrôlée en ce qui concerne sa propreté et la forme des grains. Pour le bitume, le point de ramollissement est déterminé, pour chaque livraison, au moyen de l'essai « bille et anneau ». Des essais de pénétration doivent être également exécutés.

La courbe granulométrique du filler doit être établie et le comportement de ce matériau vis-à-vis du bitume fera l'objet d'essais suivant les deux méthodes suivantes : l'essai « bille et anneau » pour l'effet de durcissement et la méthode Rigden pour le volume des vides.

#### **7.3.2. Contrôle du mélange**

On prélèvera des échantillons du mélange chaud pour déterminer le degré de compactage, le pourcentage de vides obtenu en laboratoire au moyen de la méthode Marshall, ainsi que la composition du mélange. La fréquence des prélèvements d'échantillons sera déterminée en fonction de la production de la centrale d'enrobage et/ou du nombre de couches mises en place par jour.

#### **7.3.3. Contrôle des carottes**

Le prélèvement de carottes dans le noyau bitumineux achevé sert surtout à vérifier le degré de compactage obtenu et l'adhérence entre deux couches successives.

The maximum grains of the transition material shall not be smaller than 1/4 of the maximum grain size of the fill material for the dam shells.

The transition material shall have a stretched gradation line with no discontinuity. Thus a stable basis for the core placing machine can be achieved by proper compaction.

A second transition layer between the shell material and the transition zone adjacent to the bituminous core is only recommended in cases where the difference in grain sizes is too great and/or where segregation of the bulk dam shell material cannot be avoided.

### **7.3. QUALITY CONTROL OF THE ASPHALTIC CONCRETE ON SITE DURING THE CONSTRUCTION PERIOD**

In order to ensure a constant quality for the bituminous core, regular monitoring must be carried out during execution of the works.

This affects both raw materials for the asphalt mix and also the actual mix and final product, i.e. the placed and compacted core.

The quality of the asphaltic concrete core is assured when control tests show that the criteria and threshold values determined in the suitability tests are complied with and maintained.

#### **7.3.1. Control Tests for the Raw Materials**

In general, sieve analyses of the chippings and sand delivered are carried out daily and the quality inspected with regard to cleanliness and grain particle shape. With bitumen, the softening point for each batch supplied is determined by means of the ring-and-ball test. Penetration tests must also be carried out.

The gradation curve of the filler must be established and the behaviour of the filler in conjunction with the bitumen tested by the following two methods : the stiffening effect by means of the ring-and-ball test and the voids content using the Rigden method.

#### **7.3.2. Control Test for the Mix**

Samples must be taken from the hot mix in order to determine the degree of compaction, the voids content attained in the laboratory as determined on Marshall test specimens, and the composition of the mix. The frequency of sampling shall be determined in relation to the output of the mixing plant and/or the layers placed per day.

#### **7.3.3. Control Test on Borecores**

The taking of borecores from the completed bituminous core mainly serves for investigation of the degree of compaction achieved and the bonding of two layers placed on top of each other.

Étant donné que le prélèvement d'une carotte provoque un affaiblissement de l'écran d'étanchéité, on ne prélèvera des carottes que s'il y a des raisons justifiées pour un tel examen, et même dans ce cas le nombre de carottes sera le plus faible possible.

#### **7.4. CONTRÔLE DU MATÉRIAU DE TRANSITION PENDANT LA PÉRIODE DE CONSTRUCTION**

La courbe granulométrique du matériau pour les zones de transition sera contrôlée régulièrement pendant la période de construction.



As the extraction of a borecore means a weakening of the core wall, such borecores should only be taken when there is particular cause for investigation, and even then only in the lowest number possible.

#### **7.4. TRANSITION MATERIAL CONTROL TESTS DURING THE CONSTRUCTION PERIOD**

The grain size distribution of material for the transition zones should be regularly monitored during execution of the works.

---

## 8. OBSERVATIONS ET EXPÉRIENCES

---

Plus de 40 barrages avec noyau en béton bitumineux ont été réalisés dans le monde entier jusqu'à ce jour. En ce qui concerne l'étanchéité et la déformabilité de tels noyaux, on dispose d'un vaste champ d'expériences.

### 8.1. CONTRÔLE DES PERCOLATIONS

Pour établir avec précision le niveau de perméabilité d'un noyau en béton bitumineux, il faut tout d'abord s'assurer que l'eau provenant des versants ou des précipitations ne pénètre pas dans le filtre aval, et que les dispositifs de mesure n'enregistrent que les percolations à travers l'écran d'étanchéité. Dans ces conditions, on a pu montrer qu'une perméabilité  $K \leq 10^{-9}$  m/s a été atteinte. Des exemples, tels que le barrage de Megget (Écosse) avec une percolation de 1,6 l/s (surface d'écran de 20 000 m<sup>2</sup>), le barrage de Finstertal (Autriche) avec 2,5 l/s (surface d'écran de 37 000 m<sup>2</sup>) et le barrage de Storvatn (Norvège) avec 10 l/s (surface d'écran de 79 000 m<sup>2</sup>) montrent qu'en pratique les valeurs de K sont souvent nettement inférieures à la valeur théorique précitée.

### 8.2. COMPORTEMENT SOUS DÉFORMATION

Dans le barrage en enrochement de Grosse Dhünn, de 60 m de hauteur, on a pu mesurer, au moyen de dispositifs de mesures spéciaux, les déplacements verticaux et horizontaux du noyau et du remblai adjacents, et calculer les déformations. La Fig. 15 montre que les tassements du noyau et ceux des points de mesures situés dans le remblai adjacent, à une distance de 9 m, étaient presque identiques. Les tassements maximaux, à mi-hauteur environ du barrage, étaient de 429 mm dans le noyau et de 430 mm dans le remblai. Il n'y a pas de réaction propre du noyau à l'intérieur du remblai en enrochement.

En ce qui concerne les dilatations horizontales  $\varepsilon_3$  représentées dans la Fig. 16, il faut préciser que la date de la mesure zéro (origine) après mise en place du noyau varie entre deux jours et deux semaines. Au niveau du point de mesure 127, la valeur la plus élevée, i.e.  $\varepsilon_3 = 0,86$  %, fut mesurée après achèvement des travaux. Cependant, selon les indications contenues dans le chapitre 3, des dilatations horizontales jusqu'à 2 %, dans les noyaux en béton bitumineux, n'ont aucune influence sur la perméabilité. Pour le remplissage à la cote maximale, on a observé une compression du noyau. Lorsqu'on considère la phase de remplissage total, les valeurs mesurées montrent que pendant cette période le noyau n'a pratiquement pas subi de déformation horizontale. La contraction verticale  $\varepsilon_1$  étant égale à 0,1 % au cours de cette période, il en résulte que les vides ont également diminué.

Comme exemple particulier, on peut mentionner le barrage d'Eberlaste en Autriche. Ce barrage, d'une hauteur de 28 m, avec un noyau bitumineux, est fondé sur un sous-sol qui est, en partie, très sensible aux tassements. Les tassements escomptés et mesurés, sur l'axe longitudinal, variaient beaucoup et atteignaient une

---

## 8. EXPERIENCES

---

Over 40 dams with asphaltic concrete cores have been carried out throughout the world to date. Therefore, extensive experience has been gained in respect to the permeability and deformability of bituminous cores.

### 8.1. SEEPAGE CONTROL

An accurate statement regarding the system permeability of a asphaltic concrete core is only possible when care is taken to ensure that water from precipitation or from the abutments cannot penetrate into the downstream filter and that only genuine seepage through the core wall is measured in the control station. In these cases, it has been shown everywhere that system permeabilities of  $K \leq 10^{-9}$  m/s have been reached. Examples such as the Megget Dam in Scotland with a seepage quantity of 1.6 l/s (core wall 20 000 m<sup>2</sup>), of 2.5 l/s at the Finstertal Dam in Austria (core wall 37 000 m<sup>2</sup>), and of 10 l/s at Storvatn Dam, Norway (core wall 79 000 m<sup>2</sup>) show that in practice K-values are often considerably lower than the above given theoretical value.

### 8.2. DEFORMATION BEHAVIOUR

In the 60 m high Grosse Dhünn rockfill dam, special measuring devices enabled vertical and horizontal displacements of the core and neighbouring fill to be measured and the deformations to be calculated from the resultant findings. As can be seen in Fig. 15, settlements of the core and the measuring points at 9.0 m distance in the embankments were almost identical. In accordance therewith, at roughly half the dam height the maximum settlements amounted to 429 mm in the core and 430 mm in the embankment. The core cannot react individually within the rockfill.

In horizontal strain  $\epsilon_3$  shown in Fig. 16, it should be noted that the moment of zero measurement after placing of the asphaltic concrete core varies between two days and two weeks. After completion of the works, with  $\epsilon_3 = 0.86$  %, the highest value was measured in measurement level 127. However, according to the examples in Chapter 3, horizontal deformations of asphaltic concrete cores up to 2 % have no effect on the impermeability. Compression of the core occurred at peak storage. When the complete impounding phase is considered, the measurement values permit the conclusion that there has been practically no horizontal deformation of the core within this timespan. Taking into consideration the vertical compression  $\epsilon_1 = 0.1$  % which occurred during this period, the voids content had also reduced in this instance.

The Eberlaste Dam in Austria should be mentioned here as a special feature. This 28 m high dam with a bituminous core is founded on a subsoil which is, in parts, very sensitive to settlement. The foreseen and measured settlements in the longitudinal axis differed greatly and attained a maximum value of 2.40 m. The

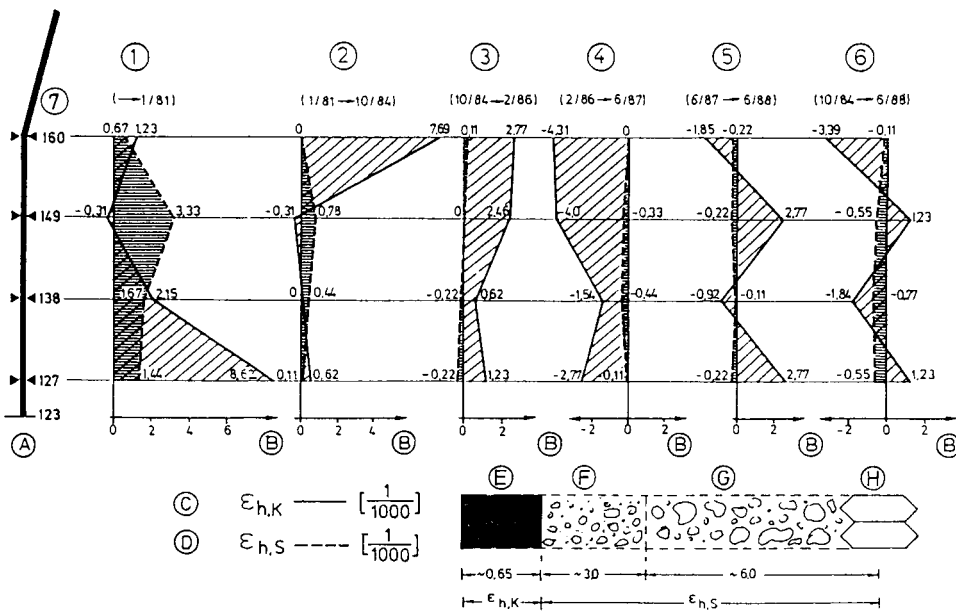
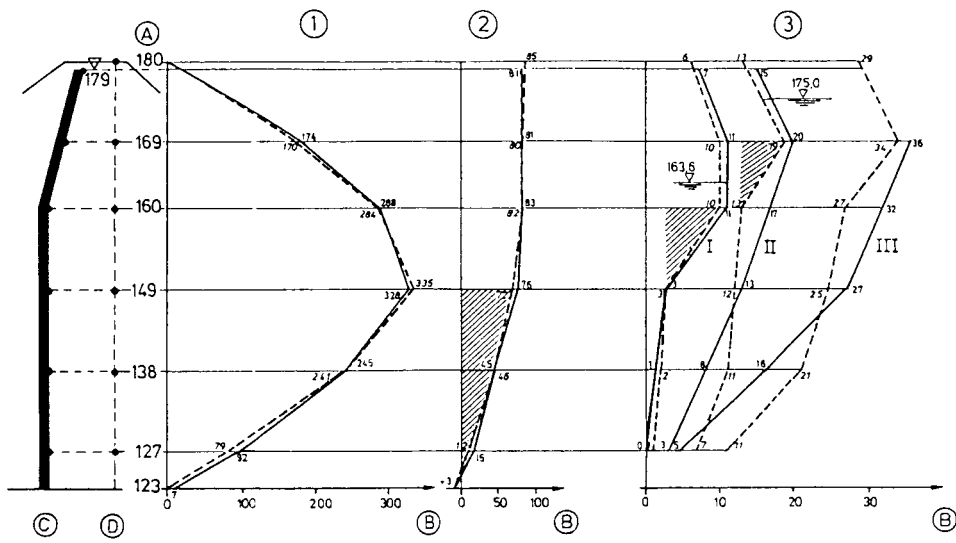


Fig. 15

Grosse Dhünn Dam - Settlement Measurements.

*Barrage de Grosse Dhünn - Mesures des tassements.*

(1) End of construction.	(1) <i>A la fin des travaux.</i>
(2) End of construction to start of impounding (I = 0)	(2) <i>De la fin des travaux jusqu'au début de la mise en eau (I = 0).</i>
(3) End of non-operational phase to permanent operation (II = 0).	(3) <i>De la fin de la phase de non-exploitation jusqu'à l'exploitation permanente (II = 0).</i>
(I) Partial storage 11/86.	(I) <i>Mise en eau partielle 11/86.</i>
(II) Capacity storage 3/87.	(II) <i>Mise en eau totale 3/87.</i>
(III) Permanent storage 3/89.	(III) <i>Remplissage permanent 3/89.</i>
(A) Elevation [m] above S.L.	(A) <i>Cote [m] au-dessus du zéro du nivellement général.</i>
(B) Settlements [mm].	(B) <i>Tassements [mm].</i>
(C) Bituminous core.	(C) <i>Noyau bitumineux.</i>
(D) Monitoring shaft.	(D) <i>Puits d'auscultation.</i>

Fig. 16

Grosse Dhünn Dam - Horizontal Strains.

*Barrage de Grosse Dhünn - Déformations horizontales.*

Horizontal Strains	<i>Déformations horizontales</i>
(1) Until end of construction.	(1) <i>Jusqu'à la fin des travaux.</i>
(2) During non-operational phase.	(2) <i>Pendant la phase de non-exploitation.</i>
(3) At partial storage.	(3) <i>Mise en eau partielle.</i>
(4) At capacity storage.	(4) <i>Mise en eau totale.</i>
(5) At permanent storage.	(5) <i>Remplissage permanent.</i>
(6) During total impounding phase.	(6) <i>Pendant la phase de mise en eau totale.</i>
(7) Elevation [m] above datum level.	(7) <i>Cote [m] au-dessus du zéro du nivellement général.</i>
(A) Asphaltic core.	(A) <i>Noyau bitumineux.</i>
(B) Compressive Strain —. Expansive Strain +.	(B) <i>Contraction —. Expansion +.</i>
(C) Asphaltic core.	(C) <i>Noyau bitumineux.</i>
(D) Fill.	(D) <i>Remblai.</i>
(E) Asphaltic core.	(E) <i>Noyau bitumineux.</i>
(F) Transition zone.	(F) <i>Zone de transition.</i>
(G) Embankment.	(G) <i>Recharge en remblai.</i>
(H) Monitoring shaft.	(H) <i>Puits d'auscultation.</i>

valeur maximale de 2,40 m. Le noyau bitumineux construit en utilisant un bitume très mou a supporté ces déformations sans aucune fissuration.

### **8.3. DÉTERMINATION DES CONTRAINTES-DÉFORMATIONS DES NOYAUX EN BÉTON BITUMINEUX, AU MOYEN D'UN CALCUL AUX ÉLÉMENTS FINIS**

Au moyen de la méthode aux éléments finis, on ne peut calculer les contraintes-déformations du noyau en béton bitumineux d'un barrage en enrochement que si les coefficients de déformation des matériaux du remblai et du béton bitumineux peuvent être déterminés au moyen d'échantillons représentatifs. De plus, l'interaction entre le noyau et les zones de transition doit être déterminée pour le calcul. Étant donné qu'il ne sera possible que dans des cas isolés de déterminer avec suffisamment de précision le module de rigidité du béton bitumineux, le calcul aux éléments finis convient principalement à une étude paramétrique destinée à évaluer les divers facteurs qui influencent le comportement sous déformation du noyau en béton bitumineux.

asphaltic concrete core, constructed using a very soft bitumen, followed these deformations crack-free.

### **8.3. STRESS/STRAIN DETERMINATION OF ASPHALTIC CONCRETE CORES WITH THE AID OF AN FE-CALCULATION**

The stress/strain calculation for the asphaltic concrete core of a rockfill dam is only possible by means of an FE-calculation when the strain coefficients of the fill material and the asphaltic concrete can be determined on representative samples. The interaction of the core and transition zones must also be defined for the calculation. As it will only be possible to establish the modulus of elasticity of the asphaltic concrete with sufficient accuracy in exceptional cases, the FE-calculation is mainly appropriate for a parameter study to estimate the various influences on the deformation behaviour of the asphaltic concrete core.

---

## 9. REFERENCES

---

1. ASBECK, " Bitumen in Hydraulic Engineering " (1964) : « Le Bitume dans les Travaux Hydrauliques, Vol. 1 », Elsevier, London-New York, Dunod, Paris 1962.
2. ASBECK W. F., " Bitumen in Wasserbau ", Vol. 2, « Le Bitume dans les Travaux Hydrauliques, Vol. 2 », Dunod, Paris 1969.
3. BERTACCHI P., PUCCIO M., " Bituminous Concrete Facings for Earth and Rockfill Dams ", Bulletin 32, October 1977, International Commission on Large Dams.
4. BRETH H., " Measurements on a Rockfill Dam with Bituminous Concrete Diaphragm ", 8th International Congress on Large Dams, Edinburgh, Q. 29/R. 17 (1964).
5. BRETH H., " Der derzeitige Stand des Staudammbaus ", Die Wasserwirtschaft, 62 (1972), Issue 1/2, pp. 20-33.
6. BRETH H., HARDT G., " Hohe Steinschüttdämme mit Asphaltbeton Innendichtung ", Der Bauingenieur 51 (1976), No. 9, pp. 317-321.
7. BRETH H., GÜNTHER K., " Die Dichtungselemente des Erddammes Eberlaste ", STRABAG publications, Issue 8, fasc. 2, p. 247.
8. BRETH H., SCHWAB H., " Stresses on Asphaltic Concrete Cores in High Dams during Actual Construction and during Earthquakes ", STRABAG publications, Issue 9, fasc. 1, p. 121. Originally published in German : Die Wasserwirtschaft 63 (1973), No. 5/6, pp. 194-197.
9. BRETH H., SCHWAB H., " Die Beanspruchung der Asphaltbetondichtung in hohen Dämmen während der Schüttung und bei Erdbeben ", Die Wasserwirtschaft 63 (1973), No. 5/6, pp. 194-197.
10. Comité Français des Grands Barrages, " Noyaux d'étanchéité internes ", 11th International Congress on Large Dams, Madrid, 1973, Q. 42/R. 28.
11. CZAPLA H., KATZENBACH R., BRETH H., " Anforderungen an den Asphaltbeton für die Innendichtung von Staudämmen ", Die Wasserwirtschaft 69 (1979), No. 2, pp. 44-49.
12. Rapport d'Électricité de France.
13. FEINER A., " Bituminöse Kerndichtungen ", STRABAG publications, Issue 9, Leaflet 1.
14. FEINER A., " Die Entwicklung der bituminöse Innendichtungen ", STRABAG publications, Issue 7, Leaflet 1.
15. FEINER A., SCHUSTER R., " Erd- und Steinschüttdämme Asphalt dichtungen von Staudämmen und Becken ", STRABAG publications 1957, Issue 3, Leaflet 2, pp. 172-177.
16. FORBES R. H., " Studies in Ancient Technology ", Vol. 1 (1963), Brill, Leiden.
17. FORBES R. J., " Investigations into the Oldest Applications of Bitumen in Mesopotamia ", Bitumen 1935, No. 2, pp. 41-44, Bitumen 1935, No. 3, pp. 63-68.



18. GILG B., " Erdbaumechanische Probleme bei der Projektierung und beim Bau des Staudammes Mattmark ", Schweizerische Bauzeitung 83 (1965), no. 11, pp. 160-177.
19. HAAS H., " Technische Eigenschaften von Asphaltbeton für Wasserbauzwecke ", Die Bautechnik 36 (1959), No. 9, pp. 339-346.
20. HAAS H., " Prüfung der mechanischen Eigenschaften von Asphalt im Wasserbau ", STRABAG publications, Issue 3, Leaflet 2, p. 207.
21. HAAS H., BIKAR R., " Untersuchung über den Einfluss der Dichte auf die Wasserdurchlässigkeit von Asphaltbetonen ", STRABAG publications, Issue 9, Leaflet 2, p. 205.
22. HARDT G., " Spannungen und Verformungen in hohen Dämmen im Bauzustand ", Info Bulletin from the Versuchsanstalt für Bodenmechanik und Grundbau of Darmstadt Technical University, fasc. 18/1976.
23. HERMANN H., RICHTER H., " Die Wiehltalsperre ", Die Wasserwirtschaft 1969, fasc. 2.
24. HOFFMAN H. G., KÜHN H., " Die Asphaltbeton-Kerndichtung und ihre Einbauverfahren ", TEERBAU, No. 21, 1974.
25. HORN A., " Entwurf des Staudammes Poza Honda, Ecuador ", Info Bulletin from the Institut für Verkehrswesen, Grundbau und Bodenmechanik of the Technical University, Aachen, 1969, fasc. 40.
26. KJAERNSLI B., " En ny Type Steinfyllingsdam ", Norges Geotekniske Institut, publ. No. 98/1973.
27. KJAERNSLI B., SANDE A., " New Waterproofing Technique for Norwegian Dam ", Norges Geotekniske Institut, publ. No. 98/1973.
28. KOENIG W., " Die Biggetalsperre ". Technical leaflet for Gas Engineering and Economy and Water and Sewage, 103 (1962), fasc. 26.
29. KROPATSCHEK H., RIENÖSSL K., " Vertical Asphaltic Concrete Core of Earthfill Dam Eberlaste of the Zemm Hydro-Electrical Scheme ", 12th Congress on Large Dams, Montreal 1970.
30. LEHNERT J., GEISELER W. D., " High Island Water Scheme/Hong Kong, Bituminöse Kerndichtung für zwei 100 m hohe Dämme ", Die Wasserwirtschaft, 66 (1976), No. 9, pp. 240-246.
31. LÖHR A., " Untersuchungen und Verfahren bei der Planung und Ausführung von hohen Dämmen ", STRABAG publications, Issue 7, fasc. 1, p. 9.
32. OSSELMANN C. R., " Der Bau der Dhünntalsperre ", Wasser und Boden, 16 (1964), Special publication (leaflet 2).
33. OSSELMANN C. R., " Der Bau der Dhünntalsperre ", Wasser und Boden, 1964, No. 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 ", Österreichische Ingenieur-Zeitschrift 2, fasc. 2.
36. RICHTER, " Die Verstärkungs- und Sanierungsmassnahmen an der Aggertalsperre ", Die Wasserwirtschaft 58 (1968), No. 7.

37. RIENÖSSL K., " Embankment Dams with Asphaltic Concrete Cores, Experience and Recent Test Results ", 11th International Congress on Large Dams, 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 publications, Issue 7, No. 1.
40. SCHOBER W., " Considerations and Investigations for the Design of a Rockfill Dam with a 92.0 m high Bituminous Mix Core ", 11th International Congress on Large Dams, Madrid, 1973, Q. 42/R. 34.
41. STEFFEN, " Experience with Impervious Asphaltic Elements and Conclusions for their Design ", 12th International Congress on Large Dams, Mexico, 1976.
42. TSUTOMU I., " Stability of Asphaltic Core Dams during Earthquakes ", Taisei Corporation, Japan.
43. YUSHI SHIMAMURA, " Regarding Property of Matter of Asphalt Concrete of Central Water Impervious Wall Type Fill Dam ", Japan 1st Council, March 1981, R. 8016.
44. BRETH H., ARSLAN U., " Die Beanspruchung des Asphaltbetons als Innendichtung in hohen Dämmen, vorgeführt an zwei Beispielen ", STRABAG publications No. 45, 1989.
45. HAAS H., " Zur Eignung and Optimierung von Asphaltbeton für Kerndichtungen in Staudämmen ", Bitumen, Issues 3 and 4, 1983.
46. Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau " Empfehlungen für die Ausführung von Asphaltarbeiten im Wasserbau ".

**References 47 to 57 incl. from the 16th Congress on Large Dams, San Francisco, 1988, Volume II, Q. 61.**

47. ARNEVIK B., KJAERNLI S., WALBO (Norway), " The Storvatn Dam, a Rockfill Dam with a Central Core of Asphaltic Concrete ", p. 141.
48. OHNE Y., TATEBE H., NARITA K., AKUTSU T., OKAYAMA T. (Japan), " Design and Construction of Asphalt Mixture Cutoff Wall ", p. 189.
49. WEINHOLD R., HAUG W. (Germany), " The Influence of Large Deformations on Asphaltic Cores and Membranes, Examples of the Rockfill Dams of the Breitenbach and Prims Reservoirs ", p. 399.
50. BRIDLE R. C. (Great Britain), " Selection and Design of the Waterproofing Element for Queen's Valley Dam, Jersey, Channel Islands ", p. 643.
51. CHARLES J. A., PENMAN A. D. M. (Great Britain), " The Behaviour of Embankment Dams with Bituminous Watertight Elements ", p. 693.
52. GALLACHER D. (Great Britain), " Asphaltic Central Core at the Megget Dam ", p. 707.
53. SCHENK V. (Germany), " Monitoring Aspects of Two Embankment Dams with Bituminous Impervious Elements, in the Federal Republic of Germany ", p. 759.
54. PIRCHER W., SCHWAB H. (Austria), " Design, Construction and Behaviour of the Asphaltic Concrete Core Wall of the Finstertal Dam ", p. 901.
55. SCHOBER W. (Austria), " A Study on the Behaviour of Embankment Dams with Diaphragms ", p. 973.

56. LE COROLLER A., BIENAIMÉ C., HERMENT R., POUPART M., HUYNH P., CRÉPEL J. M., MODARESSI A., BARD E. (France), « Approche pour un Modèle de Calcul aux Éléments Finis du Comportement des Écrans Internes en Béton Bitumineux », p. 997.
57. MOISEEV I. S., YAKOVLEV N. N., GOLDIN A. L., GORELIK L. V., RADCHENKO V. G. (USSR), “ Rockfill Dams with Asphalt Concrete Diaphragms ”, p. 1177.
58. “ Asphaltwasserbau ”, Section B, “ Kerndichtungen ”, STRABAG Report No. 11, Issue 1, 2, published in 1989.
59. “ Asphaltwasserbau, Asphaltbetonkerndichtungen for Erd- und Felsschüttdämme ”, STRABAG Publications, Leaflet 45, 1989.
60. STROBL Th. (Germany), “ Der Bau der Rottachtalsperre ”, STRABAG Publications, Report No. 45, 1989.
61. STROBL Th., BEIER H., “ Resistance Against Internal Erosion of Various Types of Cut-off Walls in Dam Construction ”, 15th ICOLD Congress, Lausanne 1985, Q. 58/R. 22, Vol. III, pp. 417-428.

Imprimerie de Montligeon  
61400 La Chapelle Montligeon  
Dépôt légal : mars 1992  
N° 15927  
ISSN 0534-8293  
Couverture : Olivier Magna

***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>*