

***USE OF THIN MEMBRANES
ON FILL DAMS***

**EMPLOI
DES ETANCHEITES MINCES
SUR LES BARRAGES
EN REMBLAI**



***USE OF THIN MEMBRANES
ON FILL DAMS***

**EMPLOI
DES ETANCHEITES MINCES
SUR LES BARRAGES
EN REMBLAI**



Report prepared by Mr. R. Corda (France) and Mr. H. Grassinger (Austria). Committee on Materials for Dams. Sub-Committee on Materials for Fill Dams, and approved by the 48th Executive Meeting, Rome 1980.

Rapport préparé par MM. R. Corda (France) et H. Grassinger (Autriche) du Comité des Matériaux pour Barrages. Sous-Comité des Matériaux pour Barrages en Remblai, et approuvé par la 48^e Réunion Exécutive, Rome 1980.

AVERTISSEMENT – EXONERATION DE RESPONSABILITE:

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

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

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

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

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

NOTICE – DISCLAIMER :

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

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

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

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

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

TABLE OF CONTENTS

1. INTRODUCTION	5
2. WATERTIGHT FACING CONSTRUCTION AND STRESSES	8
2.1. Classification of facings	8
2.2. Characteristics of diaphragms	12
2.3. Analysis of diaphragm stresses	17
3. RECOMMENDATIONS FOR THE USE OF DIAPHRAGMS ON FILL DAMS	25
3.1. Conception of dam body	25
3.2. Constitution of facing	27
3.3. Testing the structure	40
4. CONCLUSIONS	41
5. BIBLIOGRAPHY	43
APPENDIX :	45
Examples of use	45
List of Tables	46
Table of contents of Figures	63

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION	5
2. LES MEMBRANES D'ÉTANCHÉITÉ ET LES EFFORTS QU'ELLES DOIVENT SUPPORTER	8
2.1. Classification des membranes	8
2.2. Caractéristiques des membranes	12
2.3. Analyse des sollicitations	17
3. RECOMMANDATIONS POUR L'EMPLOI DES MEMBRANES D'ÉTANCHÉITÉ SUR LES BARRAGES EN REMBLAI	25
3.1. Conception du corps de digue	25
3.2. Constitution du dispositif d'étanchéité	27
3.3. Contrôle de l'ouvrage	40
4. CONCLUSIONS	41
5. BIBLIOGRAPHIE	43
ANNEXE :	45
Exemples d'utilisation	45
Liste des Tableaux	46
Table des matières des croquis	63

1. INTRODUCTION

Various types of materials are conventionally utilized to provide the watertight component of fill dams :

- materials existing in the natural state, for instance low permeability clays or silts to realize impervious cores or homogeneous earth dams,
- or building materials which are easily available, such as cement for making concrete facings with expansion joints, or asphalt for making facings without expansion joints or impervious cores.

For low dams, some difficulties in transport, application or costs have led to the use of thin layers of materials of natural origin (metal sheets, rubber, bitumen impregnated textile fibers, etc.) or of synthetic origin (butyl, vinyl acetate, etc.).

The use of such thin materials has moreover increased during the last years for seepage control in various other civil engineering structures : canals, reservoirs for drinking and industrial water, galleries, tunnels, bridges, houses and miscellaneous constructions.

Due to the development and the advantages of these techniques, the International Commission on Large Dams (ICOLD) has been led to study and define the conditions for using thin diaphragms in dams.

Definition

Until now, there has been no thorough study conducted on the technical vocabulary to be used; it thus seems necessary to define a certain terminology which takes into account the indications given in the Glossary of Words and Phrases related to Dams (ICOLD, Bulletin 31, 1977).

1. INTRODUCTION

Pour assurer l'étanchéité du corps des barrages en remblai, on utilise traditionnellement différents types de matériaux :

- soit des matériaux existant à l'état naturel, par exemple des argiles ou des limons de faible perméabilité pour l'exécution de noyaux d'étanchéité ou de digues homogènes en terre,
- soit des matériaux de construction facilement disponibles, tels que ciment pour l'exécution de masques en béton avec joints de dilatation, ou bitume pour la construction de masques sans joints de dilatation ou de noyaux d'étanchéité.

Pour des barrages de faible hauteur, certaines difficultés de transport, de mise en œuvre ou de coût ont conduit à faire appel à des matériaux d'étanchéité de plus faible épaisseur d'origine naturelle (feuilles métalliques, caoutchouc, fibres textiles imprégnées de bitume, etc...) ou d'origine synthétique (butyl, acétate de vinyle, etc...).

L'emploi de ces matériaux minces s'est d'ailleurs développé ces dernières années pour assurer l'étanchéité de divers autres ouvrages de génie civil : canaux, réservoirs d'eau potable et industrielle, galeries, tunnels, ponts, immeubles et constructions diverses.

Le développement et l'intérêt de ces techniques ont conduit la Commission internationale des grands barrages (CIGB) à étudier et à préciser les conditions d'emploi des étanchéités minces dans les barrages.

Définition

En l'absence de réflexion approfondie menée à ce jour sur le vocabulaire technique à employer, il apparaît nécessaire de définir une certaine terminologie tenant compte des indications figurant au Glossaire de termes relatifs aux barrages (CIGB, Bulletin, n° 31, 1977).

We will call a *membrane* a thin product with a thickness from one to a few millimetres, constituted of a flexible watertight material. This material is ordinarily placed near the upstream face or on the upstream facing of a dam; in general it is externally protected. The utilized product may be prefabricated at works and then transported to the site, or prepared and positioned directly on the site (*in situ*).

Moreover, we will call a *facing* (cf. 23.1) the whole system of superposed layers necessary for the realization, the working and the preservation of the impervious facing. In most cases, there are three such layers: a supporting layer, an impervious membrane and a protective layer.

Scope of the study

The present study, divided into two Chapters and an Appendix, is a synthesis of observations. It was conducted by the Austrian * and French ** National Committees on Large Dams, and does not deal with internal thin layer cores. Such a technique may offer distinct interest, but there are only few application examples. The questions raised by waterproofing of reservoirs are moreover beyond the limits fixed by ICOLD and were not analyzed; they were only sometimes mentioned incidentally.

A *first Chapter* (chap. 2) studies the classification and characteristics of diaphragms, as well as the stresses to which the watertight material is exposed. It further proposes a number of tests.

* The working group of the Austrian Committee on Large Dams was composed of Messrs. Grassinger and Rienoeszl.

** The working group of the French Committee on Large Dams was composed of Messrs. R. Corda, J. Combelles, J. Couprie, P. Huot, V. Lelu, D. Loudière and M. Paccard.

Nous appellerons *membrane d'étanchéité* un produit mince, de un à quelques millimètres d'épaisseur, constitué d'un matériau flexible et étanche. Ce matériau est habituellement placé près de la face amont ou sur le parement amont d'un barrage; il est généralement protégé extérieurement. Le produit utilisé peut être préfabriqué en usine et transporté sur le chantier, ou confectionné et mis en place directement sur le terrain (*in situ*).

Nous appellerons par ailleurs *dispositif d'étanchéité* (cf. 13.1) l'ensemble des couches superposées nécessaires à la constitution, au fonctionnement et à la conservation de la membrane d'étanchéité. Ces couches sont le plus souvent au nombre de trois: couche support, membrane d'étanchéité et couche de protection.

Contenu de l'étude

La présente étude, qui comporte deux chapitres et une annexe, est un bilan d'expériences. Conduite par les Comités autrichien * et français ** des Grands Barrages, elle ne concerne pas les masses internes d'étanchéité en couche mince. Un tel procédé peut présenter de l'intérêt mais il n'existe que peu d'exemples d'application. Les questions soulevées par les étanchéités de cuvettes sortent du cadre que s'est fixé la CIGB et n'ont pas été analysées; elles sont parfois évoquées.

Un *chapitre* (chapitre 2) traite de la classification et des caractéristiques des membranes ainsi que des sollicitations auxquelles elles sont soumises. Il propose également un certain nombre d'essais.

* Le groupe de travail du Comité autrichien des grands barrages était composé de MM. H. Grassinger et K. Rienoeszl.

** Le groupe de travail du Comité français des grands barrages était composé de MM. R. Corda, J. Combelles, J. Couprie, P. Huot, V. Lelu, D. Loudière et M. Paccard.

A *second Chapter* (chap. 3) makes various recommendations on design, construction and operation. These recommendations may avoid the recurrence of some disappointments which characterized the development period of the techniques. These failures are not dealt with in this Bulletin.

The *appendix* contains the most interesting references on the use of diaphragms on various dams, collected through an international enquiry conducted by the Austrian Committee.

For ICOLD, the expression "Large Dams" covers structures more than 15 metres high. Some interesting cases of more modest dams were nevertheless listed. It is to be noted that the highest structure measures 27 metres; thereafter these techniques are only complementary.

Applicability

At the present time, the Committee on Materials considers these techniques apply only to structures which do not exceed about 30 metres in height.

The formulated recommendations of course apply also to structures lower than 15 metres, especially when they present particular risks. Many of these recommendations are also applicable to the waterproofing of banks, lakes, canals or rivers, as well as for basins and reservoirs of any nature.

Attention is further called to the fact that the conception and structure of works must make provision for repairing damage of the diaphragm.

Acknowledgements

The Committee on Materials expresses

Un autre chapitre (chapitre 3) formule différentes recommandations, aussi bien pour l'établissement des projets que pour le déroulement du chantier et l'exploitation ultérieure des ouvrages. Elles doivent permettre d'éviter la répétition de certains mécomptes qui ont marqué la période de mise au point des procédés. Ces mécomptes n'ont toutefois pas été exposés dans le présent Bulletin.

L'annexe rassemble les références les plus intéressantes d'utilisation de membranes d'étanchéité sur divers barrages. Elles ont été recueillies lors d'une enquête internationale lancée par le Comité autrichien.

La dénomination de « grands barrages » recouvre, pour la Commission internationale, les ouvrages de plus de 15 mètres de hauteur. Cependant, des exemples intéressants de barrages plus modestes ont été inventoriés. Notons que l'ouvrage le plus élevé a 27 mètres de hauteur; au-delà, ces techniques ne viennent qu'en complément.

Champ d'application

A l'heure actuelle, le Comité des matériaux borne les perspectives d'emploi de ces techniques à des ouvrages ne dépassant pas une trentaine de mètres de hauteur.

Les recommandations édictées s'appliquent également aux ouvrages de moins de quinze mètres de hauteur surtout lorsqu'ils comportent des risques particuliers. Elles intéressent aussi les travaux d'étanchéité de rives, lacs, canaux ou rivières, ainsi que des cuvettes et réservoirs de toute nature.

L'attention est appelée sur le fait que la conception et la structure des ouvrages doivent permettre de remédier à toute difficulté ultérieure.

Remerciements

Le Comité des matériaux est recon-

its thanks to the members of the Working Groups, especially to Messrs. R. Corda and H. Grassinger, for having undertaken the task of reviewing techniques which are in full evolution.

2. WATERTIGHT FACING CONSTRUCTION AND STRESSES

2.1. Classification of facings

This Chapter is written in the form of an enumeration presented in five paragraphs: the first three relating to the constituent materials, the fourth to the structure, and the last being devoted to various classification criteria for facings.

2.1.1. Base constituents of diaphragms

• Elastomers

Synthetic materials with a predominantly elastic behaviour, fabricated through hot vulcanization in the presence of a vulcanizing agent, and presenting a very low sensitivity to temperature:

- isobutylene and isoprene copolymer (butyl) (1);
- chlorosulphonated polyethylene (2);
- ethylene and propylene copolymer (EPT or EPDM);
- butadiene and acrylonitrile copolymer (often called nitrile).

Other elastomers are or eventually could be incorporated in the composition of diaphragms:

- butadiene - styrene copolymer (SBR);

(1) Example: Nèris, Miel (France), Kualapuu (Hawaii) dams.

(2) Marketed under the trade mark "Hypalon" in France.

naissant aux différents membres des groupes de travail, notamment à MM. R. Corda et H. Grassinger, d'avoir fait le point sur des techniques en plein développement.

2. LES MEMBRANES D'ÉTANCHÉITÉ ET LES EFFORTS QU'ELLES DOIVENT SUPPORTER

2.1. Classification des membranes

Le présent chapitre est établi en forme d'énumération, présenté en cinq paragraphes: les trois premiers relatifs aux matériaux constitutifs, le quatrième à la structure, le dernier étant consacré à des critères divers de classification des revêtements.

2.1.1. Composants de base des membranes d'étanchéité

• Elastomères

Matériaux synthétiques à comportement à prédominance élastique, fabriqués par vulcanisation à chaud en présence d'un agent vulcanisant, peu sensibles à la température:

- copolymère d'isobutylène et d'isoprène (butyl) (1);
- polyéthylène chlorosulfoné (2);
- copolymère d'éthylène et de propylène (EPT ou EPDM);
- copolymère de butadiène et d'acrylonitrile (intitulé fréquemment nitrile).

D'autres élastomères entrent dans la composition de membranes d'étanchéité ou seraient susceptibles de le faire:

- copolymère de butadiène-styrène (SBR);

(1) Exemple: Barrages de Nèris et de Miel (France), de Kualapuu (Hawaii).

(2) Commercialisé en particulier sous la marque « Hypalon » en France.

- chloroprene (neoprene);
- polyurethane rubber...

● *Plastomers*

Thermoplastic synthetic materials whose mechanical characteristics vary with temperature, and which present a relatively low softening point (120 to 180 °C):

- low density polyethylene (PE) (high density unusual) (3);
- plasticized polyvinyl chloride (PVC);
- ethylene - vinyl acetate copolymer (EVA) (4);
- chlorinated polyethylene A(CPE);
- polyamides;
- polypropylenes...

● *Thermosetting materials*

Synthetic materials obtained through cross-polymerization in the presence of a hardener with an exothermic reaction :

- epoxy resin...

● *Bitumens*

Mixes of high molecular weight hydrocarbons resulting from the distillation of petroleum. They present a viscoelastic behaviour, i.e. their deformation may depend, not only on the load, but on its application period and on temperature.

Bitumens are characterized by their softening point (ball and ring test) and penetration (Dow test). One may distinguish :

- bitumens from direct distillation, with penetration indexes near zero;
- blow bitumens, which are less sus-

- chloroprène (néoprène);
- caoutchouc de polyuréthane...

● *Plastomères*

Thermoplastiques : matériaux synthétiques dont les caractéristiques varient avec la température et qui ont un point de ramollissement relativement bas (120 à 180°):

- polyéthylène (PE) à basse densité (haute densité inusitée) (3);
- polychlorure de vinyle plastifié (PVC);
- copolymère éthylène - acétate de vinyle (EVA) (4);
- polyéthylène chloré (PEC);
- polyamides;
- polypropylènes...

● *Thermodurcissables*

Matériaux synthétiques obtenus par réticulation en présence d'un durcisseur avec réaction exothermique :

- résine époxy...

● *Bitumes*

Mélanges d'hydrocarbures à poids moléculaire élevé provenant de la distillation du pétrole. Leur comportement mécanique est visco-élastique, c'est-à-dire que leur déformation peut dépendre, en plus de la charge, de sa durée d'application et de la température.

Les bitumes sont caractérisés par leur point de ramollissement (essai bille et anneau) et leur pénétration à 25 °C (essai Dow). On distingue :

- les bitumes de distillation directe ayant des indices de pénétration voisins de zéro;
- les bitumes soufflés, moins suscepti-

(3) Exemple : Atbashin dam (U.S.S.R.).

(4) Exemples : Dobsina, Landstejn (Czechoslovakia), Mast (U.S.A.), and La Coche (secondary tightness-France) dams.

(3) Exemple : Barrage Atbashin (U.R.S.S.).

(4) Exemple : Barrages de Dobsina et de Landstejn (Tchécoslovaquie), de Mast (Etats-Unis), de la Coche (étanchéité secondaire-France).

- ceptible to temperature and present positive penetration indices (5);
- bituminous emulsions which may be utilized cold;
 - modified bitumens : rubber bitumen, sulphur bitumen, etc. (see § 2.1.4).

● *Miscellaneous*

Some mixes are more difficult to classify. One may mention :

- mixes of elastomer and plastomer, such as nitrile PVC which, according to the proportion of nitrile, behaves rather as a plastomer, whereas nitrile PVC is an elastomer;
- mixes of polyolefins (polyethylene, polypropylene and EPDM (6));
- mixes of bitumen and elastomer or plastomer, the behaviour of which is like that of heat-setting materials (polyacrylamide and bitumen copolymer (7)), thermoplastics (polyethylene and bitumen (8)), or elastomers (SBR and bitumen (9)).

2.1.2. *Additives to base materials*

- mineral fillers, carbon, calcareous filler, slate powder, etc.;
- stabilizers, carbon black (used notably in the fabrication of polyethylene);
- plasticizers (used notably in the fabrication of PVC);
- herbicides, algicides, fungicides and bactericides...

- bles à la température, et présentant des indices de pénétration positifs (5);
- les émulsions de bitume utilisables à froid;
 - les bitumes modifiés : bitume caoutchouc, bitume soufre, etc. (voir § 2.1.4).

● *Divers*

Certains mélanges sont plus difficiles à classer. On peut signaler :

- des mélanges d'élastomère et de plastomère tels que le PVC nitrile qui, selon la proportion de nitrile, se comporte plutôt en plastomère alors que le nitrile PVC est un élastomère;
- des mélanges de polyoléfines (polyéthylène, polypropylène et EPDM (6));
- des mélanges de bitume et d'élastomère ou de plastomère dont le comportement se rattache aux thermodurcissables (polymère polyacrylamide et bitume (7)), aux thermoplastiques (polyéthylène et bitume (8)), ou aux élastomères (SBR et bitume (9)).

2.1.2. *Additifs aux matériaux de base*

- charges minérales, carbone, filler calcaire, poudre d'ardoise, etc.;
- stabilisants, noir de carbone (intervient notamment dans la fabrication de polyéthylène);
- plastifiants (intervient notamment dans la fabrication du PVC);
- herbicides, algicides, fongicides et bactéricides...

(5) Exemples : Biesbosch Réservoirs, Rotterdam (Netherlands). - Ospédale Dam (France).

(6) 3110 should belong to this group.

(7) This is the case for Cesacryl.

(8) This is the case for Lucobit. Exemples : St-Martin and Kell (Germany), Vadas (Hungary).

(9) This is the case for Cariphalte.

(5) Exemples : Biesbosch Réservoirs, Rotterdam (Pays-Bas). - Barrage de l'Ospédale (France).

(6) Le 3110 appartiendrait à ce groupe.

(7) Tel est le cas du Cesacryl.

(8) Tel est le cas du Lucobit. Exemples : St-Martin et Kell (Allemagne), Vadas (Hongrie).

(9) Tel est le cas du Cariphalte.

2.1.3. Reinforcement

- non-woven (felt) : polyester, polypropylene, glass, polyamides;
- fabric : polyester, polypropylene (strips), polyamides (nylon), glass;
- wire gauze : polyamides (nylon) and glasses, etc.

2.1.4. Structure of linings

- *Plain* (without reinforcement)

- with only one base constituent (chiefly polymer).

Exemples :

Constituant de base <i>Base constituent</i>	Epaisseurs courantes <i>Usual thicknesses</i>
Butyl / <i>Butyl</i>	0.75 à/to 2 mm
P.C.V. / <i>P.V.C.</i>	0.2 à/to 2 mm
Polyéthylène / <i>Polyethylene</i>	0.4 mm
Polyéthylène chloré / <i>Chlorinated Polyethylene</i>	0.5 à/to 1 mm
Bitume / <i>Bitumen</i>	3 à/to 8 mm

- The base constituent is a mixture of polymers or polymers and bitumen. For instance : E.V.A. and polyethylene, bitumen and polyethylene, butyl and EPDM, nitrile and P.V.C., etc.

- *Composite*

- with reinforcement : woven; non-woven; gauze; etc.;
- multilayer : anti-perforation film; reinforcement (woven, non-woven, gauze, etc.); self adhesive felt; etc.

2.1.5. Other classification criteria for diaphragms

- *Thickness*

- thin membranes
films..... $e < 0.5$ mm
foil $0.5 \text{ mm} \leq e \leq 2$ mm
- thick membranes
..... $2 \text{ mm} < e < 10$ mm

This terminology conforms to the Glossary, ICOLD Bulletin No. 31 (pages 42

2.1.3. Armatures

- non-tissé (feutre) : polyester, polypropylène, verre, polyamides;
- tissu : polyester, polypropylène (bandelettes), polyamides (nylon), verre;
- grille : polyamides (nylon) et verres, etc.

2.1.4. Structure des revêtements

- *Simple* (sans armature)

- avec 1 seul constituant de base (polymère notamment).

Exemples :

- Le constituant de base est un mélange de polymères ou de polymère et de bitume. Par exemple : E.V.A. et polyéthylène, bitume et polyéthylène, butyl et EPDM, nitrile et P.V.C., etc.

- *Composite*

- avec une armature : tissé; non tissé; grille...
- multicouches : film anti-perforation; armatures (tissé, non-tissé, grille...); feutre auto-collant; etc.

2.1.5. Autres critères de classification des membranes

- *Epaisseur*

- membranes minces
films..... $e < 0.5$ mm
feuille $0.5 \text{ mm} \leq e \leq 2$ mm
- membranes épaisses
..... $2 \text{ mm} < e < 10$ mm

Cette terminologie est conforme au Glossaire constituant le Bulletin 31 de la

and 66) and is also appended to the ICOLD Dictionary.

- *Directions for use*

Diaphragms are most frequently prefabricated at works, sometimes in the multilayer form. Films and foils are generally pre-assembled. Nevertheless, laying *in situ* does not seem to constitute an essential criterion for differentiation.

2.1.6. Cost

Under present economic conditions, the price of the various dam diaphragms ranges from 2 to 5 dollars per square metre laid.

2.2. Characteristics of diaphragms - Testing

The characterization of diaphragms may be effected on three levels of increasing complexity, which are described in this chapter. In the present document are considered only the characteristics of the finished product. This nevertheless does not remove the necessity of making tests on base constituents, for which it is sometimes very important to know the characteristics in order to identify the lining or to determine its functioning.

2.2.1. Appearance and definition

The parameters to be defined at this level are essentially as follows :

- *Trade mark*

Exemples : Hypalon, EPDM, SBR, Hypofors, Colétanche, etc.

- *Manufacture characteristics*

- texture : mode of fabrication, elementary constituents;
- base materials : nature and unit weight (by volume);
- reinforced or plain.

CIGB (pages 42 et 66); il est également annexé au Dictionnaire CIGB.

- *Mode de mise en œuvre*

Les membranes d'étanchéité sont le plus souvent préfabriquées en usine, éventuellement en multicouches. De plus, les films et les feuilles sont en général préassemblés. La mise-en-œuvre *in situ* ne semble toutefois pas constituer un critère essentiel de différenciation.

2.1.6. Coût

Aux conditions économiques actuelles, le coût des différentes membranes d'étanchéité est de l'ordre de 2 à 5 dollars le mètre carré posé.

2.2. Caractéristiques des membranes - Essais

La connaissance des membranes d'étanchéité peut être faite à trois niveaux, de complexité croissante, décrits dans le présent chapitre. Dans ce document ne sont abordées que les caractéristiques du produit fini. Ceci ne dispense pas d'effectuer des essais sur des constituants de base dont il est parfois nécessaire de connaître les caractéristiques pour identifier le revêtement ou en préciser le fonctionnement.

2.2.1. Présentation et définition

Les paramètres à définir à ce niveau sont essentiellement les suivants :

- *Désignation commerciale*

Exemples : Hypalon, EPDM, SBR, Hypofors, Colétanche, etc.

- *Caractéristiques de fabrication*

- texture : mode de fabrication, constituants élémentaires;
- matières de base : nature et masse volumique;
- armé ou non armé.

- *Appearance of lining*

- thickness (variation coefficient or tolerance);
- weight per unit area (variation coefficient or tolerance);
- standard width;
- conditioning at works;
- surface roughness (smooth or granular texture).

- *Laying and jointing methods*

- vulcanizing;
- cementing or glueing;
- sliding joints...

2.2.2. Identification properties

They must be determined by tests. The two principal ones are the tensile behaviour and the shearing strength.

- *Tensile behaviour*

The simple tensile test gives a stress-strain relation and a deformation modulus in the longitudinal direction (along the warp) and in the transverse direction (along the weft). But it should be interesting to know the results of bidirectional tensile tests ($n_1 = n_2$ and $n_3 = 0$), of tests with zero transverse deformation ($n_1 \neq 0$, $e_2 = 0$ and $n_3 = 0$), or of bursting tests (application of a water pressure to a lining fixed on its circular periphery).

Three points seem to be essential: the rate of load application or rate of strain, the temperature during the test and the shape of the test-piece. Values of -20° , $+20^\circ$ and $+60^\circ$ Celsius may *a priori* be taken as reference temperatures. At the limit, one executes a stress controlled creep test and a strain controlled relaxation test.

It is always useful to draw the stress/elongation curve with a linear unit scale. It is thus possible to show up the initial modulus of elasticity, the breaking strain, the maximum strength, etc. Moreover,

- *Présentation du revêtement*

- épaisseur (coefficient de variation ou tolérance);
- masse surfacique (coefficient de variation ou tolérance);
- largeur de fabrication;
- conditionnement en usine;
- rugosité de surface (lisse ou sablé).

- *Techniques de pose et assemblage*

- vulcanisation;
- collage;
- joints glissants...

2.2.2. Propriétés d'identification

Elles doivent être déterminées par des essais, les deux principaux étant le comportement en traction et la résistance au déchirement.

- *Comportement en traction*

L'essai de traction simple fournit une relation contrainte-déformation et un module de déformation dans le sens longitudinal ou chaîne et dans le sens transversal ou trame; mais il serait intéressant de connaître le résultat d'essais de traction bidirectionnelle ($n_1 = n_2$ et $n_3 = 0$), d'essais à déformation transversale nulle ($n_1 \neq 0$, $e_2 = 0$ et $n_3 = 0$), ou d'essais d'éclatométrie (application d'une pression d'eau sur un revêtement fixé selon son pourtour de forme circulaire).

Trois points paraissent essentiels: la vitesse d'application de la charge ou de la mise en déformation, la température en cours d'essai et la forme de l'éprouvette. Comme températures de référence, on peut fixer *a priori* -20° , $+20^\circ$ et $+60^\circ$ Celsius. A la limite, on effectue un essai de fluage à vitesse de variation des contraintes nulle et un essai de relaxation à vitesse de déformation nulle.

Il est toujours utile de dresser le diagramme des allongements en fonction des efforts par unité de longueur. On peut ainsi mettre en évidence le module d'élasticité initial, la déformation à la rup-

bidimensional tensile tests give interesting data, which differ from those of simple tensile tests. This follows from studies conducted in various laboratories, especially German and Dutch.

- *Shearing strength*

The shearing strength is studied in various ways :

- to non-incipient shear;
- to incipient shear (tensile strength);
- to perforation.

The test is either sudden (swinging weight) or slow.

2.2.3. *Functional characteristics*

They may give rise to a large number of tests.

- *Mechanical properties*

The *resistance to punching* on bonded-on aggregate is destined to simulate severe base conditions. The test can be rapid (1 bar/minute) or of long duration (10).

The *blistering test* is intermediate between the bursting test and the punching test.

The determination of the shearing strength according to the various stressed contact planes seems essential for large structures. Some slipping tests with Casagrande's box endeavour to solve this question.

The fatigue and abrasion characteristics for buried linings do not seem to be essential.

Among the mechanical tests which ought to enable a better appreciation of

ture, la résistance maximale, etc. Les essais de traction bidimensionnelle fournissent par ailleurs des résultats intéressants et différents des essais de traction simple. Ceci ressort d'études menées dans différents laboratoires en particulier allemands et hollandais.

- *Résistance au déchirement*

La résistance au déchirement est abordée de différentes façons :

- à la déchirure non amorcée;
- à la déchirure amorcée (essai de traction);
- à la perforation.

L'essai est soit brusque (mouton pendulaire), soit lent.

2.2.3. *Propriétés fonctionnelles*

Elles peuvent donner lieu à un grand nombre d'essais.

- *Propriétés mécaniques*

La *résistance au poinçonnement* sur cailloux collés a pour objet de simuler des conditions de support difficiles. L'essai peut être rapide (1 bar/minute) ou de longue durée (10).

L'essai de *cloquage* est intermédiaire entre l'éclatométrie et l'essai précédent.

La détermination de la résistance au cisaillement selon les différents plans de contact sollicités paraît primordiale pour de grands ouvrages. Certains essais de glissement à la boîte de Casagrande s'attachent à la résolution de cette question.

Les caractéristiques à la fatigue et à l'abrasion pour des revêtements enterrés ne paraissent pas essentielles.

Parmi les essais mécaniques qui devraient permettre de mieux apprécier le

(10) For canals, the U.S.B.R. (United States Bureau of Reclamation) prescribes resistance to a pressure of 3 bars applied for 7 days.

(10) Il faut noter que, pour les canaux, l'USBR (United States Bureau of Reclamation) impose une résistance à une pression de 3 bars appliquée pendant 7 jours.

the behaviour "in situ" of thin linings, one may mention :

- the punching test on aggregate with gradual collapse of the support (11);
- the punching test on gravel with hydrostatic pressure and tangential strain applied by weighting (12);
- the large scale shearing test by slipping of the protection on an inclined diaphragm;
- the punching test with a gravel support which presents hollows in the form of pot-holes. This test shows the importance of the deformability of diaphragms, independently of their mechanical resistance (13).

As in § 2.2.2, time and temperature play an essential role in these tests.

- *Resistance to environment* (to be related in principle to changes in mechanical characteristics) *and ageing*

- action of freezing-thaw cycles;
- resistance to UV rays and weather (especially frost);
- resistance to ozone;
- chemical resistance to stored products : water, detergents, salts, hydrocarbons, alcohols, dilute acids, etc.;
- resistance to microorganisms;
- resistance to roots and sprouts;
- resistance to burrowing animals;
- influence of temperature (high and low temperatures)...

(11) Test planned at the French Technical Centre of Agricultural Engineering, Water and Forests (Division Soil Mechanics and Civil Engineering).

(12) As far as we know, this test has not yet been practised.

(13) Tests executed in FRG (Mr. Steffen/Essen).

comportement in situ des revêtements minces d'étanchéité, on peut citer :

- l'essai de poinçonnement sur cailloux avec effondrement progressif du support (11);
- l'essai de poinçonnement sur gravier avec pression hydrostatique et contrainte tangentielle appliquée par la recharge (12);
- l'essai de déchirement à grande échelle par glissement de la protection sur une membrane inclinée;
- l'essai de poinçonnement avec support de gravier comportant des dépressions en forme de nids de poule. Cet essai met en évidence l'importance de la déformabilité des membranes, indépendamment de leur résistance mécanique (13).

Comme au § 2.2.2, le temps et la température jouent un rôle essentiel dans ces essais.

- *Resistance au milieu* (à relier en principe à la variation des caractéristiques mécaniques) *et vieillissement*

- effet des cycles gel-dégel;
- résistance aux U.V. et aux intempéries (gel notamment);
- résistance à l'ozone;
- résistance chimique aux produits stockés : eau, détergents, sels, hydrocarbures, alcools, acides dilués, etc.;
- résistance aux microorganismes;
- résistance aux racines et pousses;
- résistance aux rongeurs;
- effet de la température (hautes et basses températures)...

(11) Essai envisagé au Centre Technique du Génie Rural des Eaux-et-Forêts (Division Mécanique des Sols et Génie Civil).

(12) Essai encore jamais réalisé à notre connaissance.

(13) Essais exécutés en R.F.A. (Mr. Steffen à Essen).

- *Tests connected with pre-fabrication*

- quality of joints : direct pull (sometimes called : shearing test) and peeling;
- deformability of slip-joints.

These tests relate to panels pre-fabricated at works, and their results must be connected to the mechanical properties of the lining.

- *Permeability*

Permeability seems to be difficult to measure. If one applies Darcy's law, with e = thickness of the lining and K = coefficient of permeability, the permeability may then be expressed as "permeance" (coefficient K/e), i.e. in second^{-1} . To obtain the total leakage, it is then sufficient to multiply permeance by head and area :

$$Q = \left(\frac{K}{e} \right) \cdot h \cdot S$$

permeance
head
area

of water
of lining

on the

lining

This point does not seem essential as far as we know, as leakage is due chiefly to *localized* defects (perforations, tears, joint defects, etc.) for linings with a permeance definitely lower than 10^{-10} s^{-1} .

- *Miscellaneous tests*

- hardness;
- thermal conductivity;
- water-absorption;
- vapour permeability;
- linear and volume expansion coefficient;
- dimensional stability;
- special tests relating to the nature of constituents, and notably to the compatibility of the various materials in contact with each other (support, watertight member and protection).

- *Essais liés à la préfabrication*

- qualité des joints : traction directe (intitulé parfois : essai de cisaillement) et pelage;
- déformabilité des joints glissants.

Ces essais sont relatifs aux lés préfabriqués en usine et leurs résultats doivent être reliés aux caractéristiques mécaniques du revêtement.

- *Perméabilité*

La mesure de la perméabilité semble difficile à effectuer. En appliquant la loi de Darcy, avec e épaisseur du revêtement et K = coefficient de perméabilité, la perméabilité pourrait alors être exprimée en « perméance » (coefficient K/e), c'est-à-dire en seconde^{-1} . Pour avoir le débit de fuite, il suffit alors de multiplier la perméance par la charge et la surface :

$$Q = \left(\frac{K}{e} \right) \cdot h \cdot S$$

perméance
hauteur d'eau
Surface

sur le
du

revêtement
revêtement

En fait, ce point ne paraît pas essentiel en l'état actuel de nos connaissances, puisque les fuites sont surtout dues à des défauts localisés (perforations, déchirures, défectuosité d'un joint...) pour des revêtements dont la perméance est nettement inférieure à 10^{-10} s^{-1} .

- *Essais divers*

- dureté;
- conductivité thermique;
- absorption d'eau;
- perméabilité à la vapeur;
- coefficient de dilatation linéaire, cubique;
- stabilité dimensionnelle;
- essais particuliers liés à la nature des constituants, et notamment à la compatibilité entre eux des divers matériaux en contact (support, étanchéité et protection).

2.3. Analysis of diaphragm stresses

2.3.1. Constituent elements of facing

A watertight upstream facing is a layered system, some layers of which are formed of materials such as earth, concrete, rockfill, etc. (thick layers), and others of synthetic or bituminous materials (thin layers).

The whole system may be described schematically as a superposition of the following elements (see Fig. 1):

2.3. Analyse des sollicitations

2.3.1. Eléments constitutifs du dispositif d'étanchéité

Le dispositif d'étanchéité est formé de couches superposées, certaines constituées de matériaux tels que terre, béton, enrochements, etc. (couches épaisses), d'autres de matériaux synthétiques ou bitumineux (couches minces).

On peut schématiser l'ensemble par superposition des éléments suivants (voir Fig. 1):

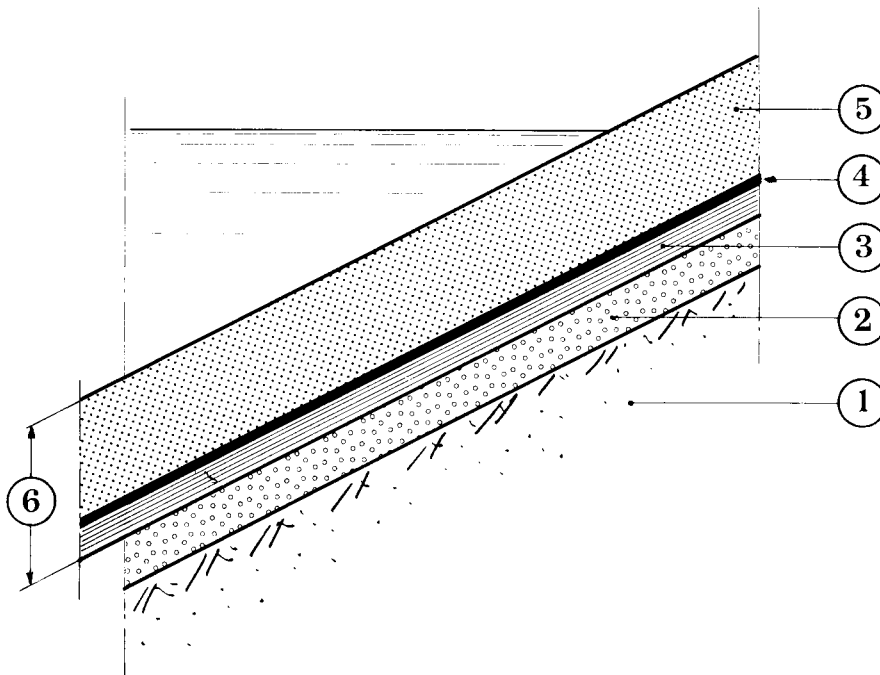


FIG. 1.

Constitution du dispositif d'étanchéité.

Composition of watertight facing.

Corps de digue	(1)	Dam body
Couche de forme	(2)	Base layer
Couche support	(3)	Supporting layer
Membrane d'étanchéité	(4)	Impervious membrane or diaphragm
Couche de protection	(5)	Protective layer
Dispositif d'étanchéité	(6)	Facing or lining

- a base layer, which provides the transition between the dam body and the facing;
- the impervious system (facing) proper, comprising :
 - a supporting layer, which may fulfil a hydraulic (filter) and mechanical (stress distribution) function,
 - a diaphragm,
 - a protective layer.

In some cases the system may include two diaphragms, with a drainage layer between them (double membrane system).

2.3.2. Mechanical stresses

The basic action is the hydrostatic pressure exerted by the water of the reservoir. But the results of this action are very strongly affected by a number of other stresses, which indeed may be predominant by themselves.

• Classification of stresses

A distinction is to be made according to the origin of the stresses which affect the system.

a) Stresses resulting from the general equilibrium of the structures

For the sake of the analysis, items such as embankments, foundation, concrete structures, elements of the water-tightness system, are considered as geometrically continuous and homogeneous.

b) Stresses resulting from small scale discontinuities and heterogeneities in the above

These stresses relate to the thin layers in contact with the granular materials of the supporting and protective layers. The stresses are transmitted between these various layers through "bridgings", creating secondary stresses in the thin layers.

- une couche de forme assurant la transition entre le corps de digue et le dispositif d'étanchéité;
- le dispositif (revêtement) d'étanchéité proprement dit comprenant :
 - une couche support pouvant jouer un rôle hydraulique (filtre) et mécanique (répartition des efforts),
 - une membrane d'étanchéité,
 - une couche de protection.

Dans certains cas, l'étanchéité pourra comprendre deux membranes, avec une couche intercalaire (système de double étanchéité).

2.3.2. Sollicitations mécaniques

L'action fondamentale est la pression hydrostatique de l'eau de la retenue. Mais les conséquences de cette action sont très fortement influencées par un certain nombre d'autres sollicitations qui peuvent d'ailleurs être prépondérantes à elles seules.

• Classement des sollicitations

Une distinction doit être faite selon l'origine des sollicitations affectant le dispositif d'étanchéité :

a) Sollicitations résultant de l'équilibre général des massifs et structures concernées

Pour les besoins de l'analyse correspondante, les éléments concernés tels que massifs de remblai, terrains de fondation, structures de béton, éléments du dispositif d'étanchéité, sont supposés géométriquement continus et homogènes.

b) Sollicitations résultant des discontinuités et hétérogénéités à petite échelle des éléments précités

Ces sollicitations concernent les couches minces placées au contact des matériaux granuleux des couches support et de protection. La transmission des efforts entre ces diverses couches se réalise par « pontage » engendrant des contraintes secondaires dans les couches minces.

c) *Stresses connected with the building process of structure*

d) *Miscellaneous mechanical stresses*

The analysis of these various types of stresses is given below.

It may be useful, for some of these stresses, to study their evolution with time, the following phases being distinguished :

- building (construction of the dam body and of the watertightness system);
- first filling;
- operation.

● *Analysis of stresses*

a) *Stresses resulting from the general equilibrium of structures*

a.1) *Principles of analysis*

For the analysis of stresses and deformations amidst the constituent materials of the structure, the previously mentioned thin layers may be considered as bi-dimensional structures characterized by :

- a negligible stiffness to bending;
- a generally non-linear, non isotropic stress-strain relationship, depending on time, in the plane of the layer;
- a shearing resistance on the surface of the layer; this resistance is a function of:
 - the nature of the materials in contact,
 - the effective applied stresses,
 - in some cases, time;
- a resistance to the internal shearing of the layer.

The other elements of the watertightness system act through their mechanical characteristics, as these are usually defined.

The study of the deformations of the system may, in most cases, be effected by neglecting the tensile strength of the thin

c) *Sollicitations liées au mode de construction des ouvrages*

d) *Sollicitations mécaniques diverses*

L'analyse de ces différents types de sollicitations est faite ci-après.

Il peut être utile, pour certaines de ces sollicitations, d'étudier leur évolution dans le temps, en distinguant les phases suivantes :

- construction (construction du corps de barrage et du dispositif d'étanchéité);
- premier remplissage;
- exploitation.

● *Analyse des sollicitations*

a) *Sollicitations résultant de l'équilibre général des massifs et des structures concernées*

a.1) *Principes d'analyse*

Pour l'analyse des contraintes et des déformations au sein des matériaux constitutifs de l'ouvrage, les couches minces mentionnées ci-avant peuvent être considérées comme des structures bi-dimensionnelles caractérisées par :

- une raideur à la flexion négligeable;
- une relation contrainte-déformation dans le plan de la couche, généralement non linéaire, non isotrope et fonction du temps;
- une résistance au cisaillement en surface de la couche; cette résistance est fonction :
 - de la nature des matériaux en contact,
 - des contraintes effectives appliquées,
 - éventuellement du temps;
- une résistance au cisaillement interne de la couche.

Les autres constituants du dispositif d'étanchéité interviennent par leurs caractéristiques mécaniques, telles que définies habituellement.

L'étude des déformations du système peut, la plupart du temps, être conduite en négligeant la résistance à la traction

layers. On the contrary, the shearing strength at their surface and in their mass affects the general behaviour of the system, through both the following mechanisms (see Fig. 2a and 2b):

des couches minces. par contre, la résistance au cisaillement à leur surface et dans leur masse affecte le comportement général du système par les deux mécanismes suivants (voir Fig. 2a et 2b):

FIG. 2
Stabilité du talus amont.
Stability of the upstream slope.

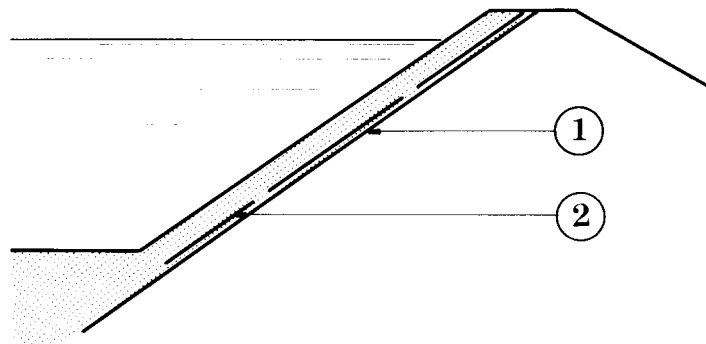


FIG. 2a
Protection de faible épaisseur.
Thin protection layer.

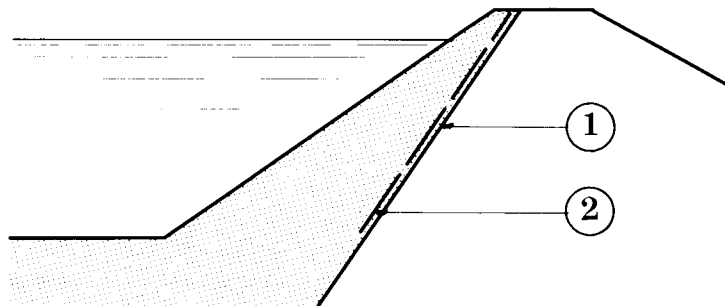


FIG. 2b
Protection de forte épaisseur.
Very thick protection.

Membrane (1) *Diaphragm*
Surface de glissement (2) *Slipping surface*

- the thin layers may constitute a surface of preferential slipping, critical for the stability of the system;
- these same layers may also constitute a surface of discontinuity for the deformations.

The first point must be examined in all cases since the shearing resistance, at the surface or within the thin layers, can be lower than that of the other layers of the lining and of the dam body.

The second point is to be considered only in the case of thick protections, the equilibrium of which is secured by means of toe abutments. Otherwise where the protective layers are only thin relative to the length of the sloping part, there is no possibility of mobilizing a significant toe abutment, and the protective layers must be stabilized one after the other. In this latter case, stability requires the absence of any local relative slipping.

This slipping action, when it exists, is liable to increase the danger of tearing thin layers, and specially the thin lining, as indicated in paragraph a2) below.

In any case, except in the vicinity of the particular points which will be examined in a.2), the deformations of thin layers are about the same as those of the other layers which constitute the dam and its lining. The amplitude of these deformations is generally near 1 %. In view of the characteristics of usual materials, this strain has no appreciable action on their stress condition. (It must be noted that the deformation amplitude given here is the residual value produced after the system is laid).

a.2) Particularities

Particularities are points where important differential displacements may happen in the support of the thin layers.

- les couches minces peuvent constituer une surface de glissement préférentiel, critique pour la stabilité du système;
- ces mêmes couches peuvent également constituer une surface de discontinuité pour les déformations.

Le premier point est, dans tous les cas, à examiner. En effet, la résistance au cisaillement en surface ou au sein des couches minces peut être inférieure à celle des autres couches du revêtement et du corps de digue.

Le deuxième point n'est à considérer que dans le cas de couches de protection épaisses, dont l'équilibre est assuré par butée de pied. Dans le cas contraire où l'épaisseur des couches de protection est faible, au regard de la longueur du rampant, la possibilité de mobiliser une butée de pied importante n'existe pas et la stabilité des couches de protection doit être assurée tranche par tranche; dans ce dernier cas, la condition de stabilité implique l'absence d'un glissement relatif local.

Quand elle existe, cette action de glissement est susceptible d'aggraver le risque de déchirure des couches minces, et en particulier du revêtement mince d'étanchéité, comme il est indiqué au paragraphe a2) ci-après.

En tout état de cause, sauf au voisinage des points singuliers qui seront analysés en a.2), les déformations des couches minces sont sensiblement les mêmes que celles des autres couches de constitution du barrage et de son revêtement. L'amplitude de ces déformations est en général de l'ordre du % ce qui, compte tenu des caractéristiques des matériaux généralement utilisés, est sans effet sensible sur leur état de contrainte. (Il faut noter que l'amplitude de déformation mentionnée ici est la valeur résiduelle se produisant après pose du dispositif d'étanchéité).

a.2) Points singuliers

Les points singuliers sont ceux où il peut se produire, dans le support des couches minces, des déplacements différentiels importants.

The points to be examined for this reason are in particular the following :

- the peripheral foundation contact line of the dam in the connection zone where the facing and the water-tightness system are connected to the foundation;
- on the banks and where the ground slope changes suddenly;
- near concrete structures;
- where the thin layers are anchored in the dam crest (if applicable).

Another type of particularity, the position of which is not known at first, may be a crack within the fill on which the facing system rests. This accident can be due to causes such as : shrinkage, lack of plasticity of the material which constitutes the dam body, a construction defect, a foundation defect, or an earthquake.

Such a crack can, through movement of material, cause a localized subsidence of the base layer, and eventually in the layer which supports the facing system.

These points require special study and suitable dispositions. The position of joints must also be considered.

At these points, the principle of continuity of deformations in the contact zone between fill and thin layers is generally not satisfied. There may indeed be bridging over the underlying material, or a slipping of the thin layers relative to the material with which it is in contact.

b) Stresses resulting from discontinuities and heterogeneities in the materials in contact with the thin membrane

Stresses are notably caused by the following actions :

- punching (by roots or sharp edges);
- bursting of the lining between its points of contact with the supporting

Les points à examiner à ce titre sont en particulier les suivants :

- la ligne périmétrale du barrage dans la zone de raccordement du revêtement et du dispositif d'étanchéité de la fondation;
- en rive, les zones à variation brutale de pente du terrain;
- le voisinage des structures en béton;
- la zone d'ancrage éventuel des couches minces en crête de digue.

Un autre type de point singulier, dont la position n'est pas connue a priori, peut être constitué par une fissure au sein du remblai sur lequel repose l'étanchéité. Cet accident peut être dû à des causes telles que : retrait, manque de plasticité du matériau constitutif du corps de digue, défaut de construction, défaut de fondation ou séisme.

Une telle fissure peut entraîner, par déplacement de matériau, un effondrement localisé dans la couche de forme, et, le cas échéant, dans la couche support du dispositif d'étanchéité.

Ces points singuliers nécessitent une étude particulière et des dispositions technologiques adaptées. On tiendra compte aussi de l'emplacement des joints.

En général, en ces points, le principe de continuité des déformations dans la zone de contact entre matériaux de remblai et couches minces n'est pas respecté. Il peut en effet se produire un pontage au-dessus du matériau sous-jacent ou un glissement des couches minces par rapport au matériau en contact.

b) Sollicitations résultant des discontinuités et hétérogénéités des matériaux placés au contact du revêtement mince d'étanchéité

Les sollicitations sont dues en particulier aux actions suivantes :

- poinçonnement (par les racines, les arêtes anguleuses des matériaux);
- éclatement du revêtement entre les points de contact avec les éléments du

elements; this bursting may be caused by hydrostatic pressure, or even by the weight of the overlying material.

These stresses can be increased when relative slipping occurs between the thin facing and the layers in contact with it.

c) Stresses connected with the construction method

A distinction must be made between systematic and accidental stresses.

In the first group will be ranged the pull on the diaphragm resulting from :

- the method of placing (compacting, dumping) the protective materials;
- the action of gravity on the diaphragm. This may occur during the laying of the lining, before it is covered, and specially when a "creeping" movement of the lining towards the foot of slope develops under the action of the wind.

Among accidental stresses, one may mention :

- punching and tears during the construction work by the workmen and equipment, at the time of handling, laying and covering the system. The presence of felt glued at works on both sides of the diaphragm may, according to the materials, offer a certain interest, while also avoiding slipping and quickening the application;

- the consequences of bad weather.

Stresses at right angles to the joints should be specially studied.

d) Miscellaneous mechanical stresses

One may mention :

- the hydrodynamic action of waves;
- the punching or bursting of the system due to the uplift effect in the case

support; cet éclatement peut être provoqué par la pression hydrostatique, éventuellement par le poids du matériau sus-jacent.

Ces sollicitations peuvent être aggravées lorsqu'il y a glissement relatif entre le revêtement mince et les couches placées à son contact.

c) Sollicitations liées au mode de construction des ouvrages

Il faut distinguer les sollicitations systématiques et les sollicitations accidentelles.

Dans le premier groupe, on rangera les tractions de la membrane résultant :

- du mode de mise en place (compactage, déversement) des matériaux de protection;
- de l'action de la pesanteur agissant sur la membrane mince. Cette action peut être mobilisée pendant la pose du revêtement, avant son recouvrement, en particulier lorsque, sous l'effet du vent, il se développe un mouvement de « reptation » du revêtement vers le pied de talus.

Parmi les sollicitations accidentelles, on peut citer :

- les poinçonnements, accrocs, déchirures en cours de chantier par le personnel et le matériel, au moment des manutentions, de la pose et du recouvrement du système d'étanchéité. La présence de feutres collés en usine des deux côtés de la membrane peut, selon les matériaux, présenter un certain intérêt tout en empêchant les glissements et en accélérant la mise en place;
- les conséquences des intempéries.

On examinera tout spécialement les sollicitations au droit des joints.

d) Sollicitations mécaniques diverses

On peut citer :

- l'action hydrodynamique des vagues;
- le poinçonnement ou l'éclatement du dispositif par l'effet de sous-pression

of a rapid drawdown, if it is supposed that the dam body behind the facing was previously saturated (in particular dams with high downstream water level, such as dykes separating two basins);

- the punching by plants able to grow in the dam (this action is likely to occur only if the watertightness system is situated relatively near the surface below the upstream face, or also near the crest of the dam);
- impact by floating debris;
- vandalism, animal damage;
- in the case of double systems, bursting due to the water at the interface or in the space between the two impervious layers, without sufficient drainage;
- the action of frost, the behaviour of the impervious lining under the action of frost and of freeze-thaw cycles must be specially studied in some climates. The depth of frost penetration may, according to the cases, definitely exceed the thickness of the protective layer over the diaphragm.

2.3.3. Physical-chemical stresses

- *Action of heat*

This action is to be considered only in the case of systems with relatively thin covering, normally lying above water level.

- *Action of ozone and ultraviolet rays*

Possibilities of attack by UV rays are limited to the building period, as the lining is supposed to include a covering for the layers which may be sensitive to such effects with a material such as earth fill, cement concrete, or asphaltic concrete, which withstands effects of

en cas de vidange rapide, l'hypothèse où le massif aval s'est trouvé saturé au préalable (cas de digues avec niveau d'eau aval élevé en particulier, telles que digues séparant deux bassins);

- le poinçonnement par les végétaux susceptibles de se développer dans les massifs du barrage (cette action n'est vraisemblable que si le dispositif d'étanchéité est situé de façon relativement superficielle sous la face amont ou encore au voisinage de la crête de la digue);
- les chocs dus aux corps flottants;
- les agressions diverses par l'homme (vandalisme) ou les animaux;
- dans le cas des doubles étanchéités, l'éclatement par alimentation en eau, sans possibilité de drainage suffisante, de l'interface ou de l'espace entre les deux couches étanches;
- l'effet du gel; le comportement du dispositif d'étanchéité sous l'effet du gel et des cycles gel-dégel est à examiner tout spécialement, selon les conditions climatiques. La profondeur de pénétration du gel peut être en effet, selon les cas, bien supérieure à l'épaisseur de la couche de protection de la membrane.

2.3.3. Sollicitations physico-chimiques

- *Action de la chaleur*

Cette action n'est à considérer que dans le cas des systèmes à couverture relativement mince, en zone normalement émergée.

- *Action de l'ozone et des ultra-violets*

Des possibilités d'attaque par les rayons U.V. sont limitées à la période de construction puisque le revêtement d'étanchéité est supposé comporter, en couverture des couches éventuellement sensibles à ces actions, un matériau tel que remblais, béton de ciment, béton bi-

atmospheric origin.

- *Action of water*

We will mention only as a reminder the necessity of controlling the compatibility of the liquid retained in the reservoir (without overlooking possible accidental pollutants such as hydrocarbons) with the materials of the watertightness system.

- *Biological action*

It seems that this possibility must always be considered. Microorganisms can be present in fills and foundation soils before construction, or be brought in by water which seeps from the reservoir through the dam.

3. RECOMMENDATIONS FOR THE USE OF DIAPHRAGMS ON FILL DAMS

3.1. Conception of dam body

The use of diaphragms requires, as for any other structure, that the dam body be conventionally rolled and compacted.

The stability analysis for the upstream slope must assume saturated material near the diaphragm: the migration of water in the vapour phase in fact produces this condition in the vicinity of the impervious lining.

It is advisable to consider the case of a local failure of the watertightness system, and then check the stability of the dam body and take the required dispositions against piping.

In selecting dam slopes, the nature of the materials which constitute the structure and the type of lining must be taken into account. In particular, the stability of the protective layer on the impermeable

tumineux, résistant aux actions d'origine atmosphérique.

- *Action de l'eau*

La nécessité de s'assurer de la compatibilité du liquide stocké dans la retenue (sans oublier les polluants éventuels accidentels tels que les hydrocarbures) et des matériaux du système d'étanchéité est signalée pour mémoire.

- *Action biologique*

Cette possibilité d'action semble devoir être toujours examinée. Les micro-organismes en cause peuvent en effet préexister dans les remblais et terrains de fondation, ou être amenés par l'eau de la retenue percolant à travers le barrage.

3. RECOMMANDATIONS POUR L'EMPLOI DES MEMBRANES D'ÉTANCHÉITÉ SUR LES BARRAGES EN REMBLAI

3.1. Conception du corps de digue

L'emploi de membranes d'étanchéité exige, comme tout ouvrage, de réaliser le corps de digue suivant les règles classiques de compactage.

La stabilité du talus amont sera vérifiée dans l'hypothèse d'un matériau saturé au voisinage de la membrane: la migration de l'eau en phase vapeur permet en effet d'atteindre cet état au voisinage du revêtement étanche.

Il sera prudent d'envisager le cas d'une défaillance localisée du dispositif d'étanchéité et vérifier alors la stabilité du corps de digue et prendre les dispositions contre les renards éventuels.

Dans le choix des pentes, il faut prendre en compte la nature des matériaux constitutifs de l'ouvrage à revêtir et le type de revêtement. En particulier, la stabilité de la couche de protection posée sur

layer must be checked in the case of sudden dewatering and wave action.

A slope of 1/1.5 (height-base) must be considered as a maximum. Steeper slopes, even if they are technically possible and fulfil the stability requirements of the dam, make the preliminary works, the laying and the protection of linings considerably more involved.

As an indication, the following mean values may be recommended, according to the nature of support :

- clayey soils : 1 to 2.5 - 3.5 ;
- clayey sand or silt soils : 1 to 2 - 3 ;
- sandy or gravelly soils : 1 to 2 - 2.5 ;
- rockfill : 1 to 1.5 - 2.

Remember a bulldozer cannot run on slopes steeper than 1/2, and that machines can easily operate on a 1/3 slope.

The gradient must suit the stability of the protective layer.

A partial experiment has shown that the length of the upstream slope tends to shorten with time on rockfill dams but lengthen on earth dams.

But these deformations are only small in comparison to the deformability which can be tolerated by the impervious material; the problem of compatibility of deformation of the dam body and the thin lining arises then only near particularities : sudden variations of the characteristics or of the form of abutments, intake or outlet works of stiffer materials with different foundations.

Special measures must be taken near these points.

la feuille d'étanchéité devra être vérifiée dans le cas de la vidange brusque et de l'effet de batillage.

Une pente de 1/1,5 (hauteur-base) doit être considérée comme un maximum. Les inclinaisons plus fortes, même si elles sont techniquement possibles et répondent aux conditions de stabilité de l'ouvrage, compliquent singulièrement les travaux préparatoires, la pose et la protection des revêtements.

On peut, à titre indicatif, conseiller les valeurs moyennes suivantes, selon la nature du support :

- terres argileuses : 1 pour 2,5 à 3,5 ;
- terres sablo-argileuses ou limoneuses : 1 pour 2 à 3 ;
- terres sableuses ou graveleuses : 1 pour 2 à 2,5 ;
- enrochements : 1 pour 1,5 à 2.

On rappelle qu'un bulldozer ne peut pas circuler sur une pente plus raide que 1/2 et que la circulation des engins est facile pour la pente de 1/3.

La pente devra être ajustée à la stabilité de la couche de protection.

Une expérience partielle montre que le rampant amont des barrages en exploitation se raccourcit si l'ouvrage est en enrochements, mais s'allonge si l'ouvrage est en terre.

Mais ces déformations sont de faible ampleur par rapport à la déformabilité admissible pour les feuilles d'étanchéité; le problème de la compatibilité des déformations du corps du barrage et du revêtement mince d'étanchéité ne se pose donc qu'au voisinage des singularités : variations brutales dans les caractéristiques ou la forme des terrains d'appui, ouvrages de prise ou de vidange constitués de matériaux plus raides, fondés différemment.

Des dispositions particulières sont à prendre au voisinage des points singuliers.

3.2. Constitution of facing

The facing system includes following parts (see Fig. 1) :

- the protective layer;
- the impervious membrane;
- the supporting layer;
- the base layer.

The transition between the dam body and the impervious membrane must fulfil the following functions :

- grain-size transition;
- re-profiling;
- filter;
- drain;
- support of the membrane.

The dispositions to be taken will then depend on the nature of the materials utilized to constitute the dam body. Two cases may be distinguished.

3.2.1. Rockfill dams

- *Preparation of base*

Because of the high permeability of rockfill, the base layer has only to act as a grain-size transition between the dam body and the facing system, irrespective of the other functions which this layer has to fulfil (see below). The base layer is generally realized in three successive steps :

a) a layer of small rockfill (80/150 mm for instance) without fines (filler, fine sand, silt), from 2 to 4 metres wide, horizontally compacted.

The supply and placing of this layer normally belong to the construction of the dam body.

The use of lean concrete or soil-cement to realize this layer should be avoided.

b) a re-profiling of this layer by means of compaction along the slope, and a supply of fine gravel (15/30 mm for ins-

3.2. Constitution du dispositif d'étanchéité

Le dispositif d'étanchéité comprend les parties suivantes (cf. Fig. 1) :

- la couche de protection;
- la membrane d'étanchéité;
- la couche support;
- il est placé sur la couche de forme, elle-même placée sur le corps de digue.

La transition entre le corps de digue et la membrane étanche doit assurer les fonctions suivantes :

- transition granulométrique;
- reprofilage;
- filtre;
- drain;
- support de la membrane étanche.

Les dispositions à retenir dépendent donc de la nature des matériaux employés pour constituer le corps de digue : deux cas à distinguer.

3.2.1. Barrages en enrochement

- *Préparation de la forme*

La forte perméabilité des enrochements n'impose à la couche de forme que le rôle de transition granulométrique entre le corps de digue et le dispositif d'étanchéité, indépendamment des autres fonctions que cette couche doit remplir (voir ci-après). Elle est, en général, exécutée en trois opérations successives.

a) une recharge en enrochement de taille réduite (80/150 mm par exemple) dépourvus de matériaux fins (filler, sable fin, limon...) d'une largeur de 2 à 4 m, compactée horizontalement.

La fourniture et la mise en œuvre de cette couche font partie normalement de l'exécution du corps de digue.

L'emploi de béton maigre ou sol ciment pour exécuter cette recharge est déconseillé.

b) un reprofilage de cette recharge obtenu par un compactage le long du rampant et par un apport de gravillon (15/

tance), and then of crushed sand (1/6 for instance).

c) a shallow sprayed impregnation of a cationic bituminous emulsion at the rate of 1.5 to 2 kg/m², in order to increase the surface cohesion of the base and provide a good seat for the supporting layer.

- *Supporting layer*

The supporting layer, laid on the stabilized surface described in the preceding paragraph, must distribute the load to prevent punch-shear (for instance : non-rot felt, pervious bituminous layer).

3.2.2. Earth dams

The more or less permeable character of loose materials requires artificial drainage in order to drain off any leaks through the lining and to avoid the risk of uplift: the transition must constitute a drainage layer.

In the case where the constituent materials of the dam body are very fine, dispositions must be taken to avoid the migration from the dam body into the drains.

- *Preparation of the base layer*

The preparation of the base layer must include the following operations :

- a) realization of this horizontal extra-width of the dam body by about 1 m;
- b) removal of this horizontal extra-width and compaction of the slope :

The works described under a) will be executed simultaneously with the building of the dam body.

c) realization of a means of containing the fine materials from the dam body. Two types may be considered :

- a filter consistent with the usual rules of grain-size distribution. Substitution of a non-rot felt is not desirable in all cases, as this material has little or no

30 mm par exemple), puis de sable concassé (1/6 par exemple).

c) une pénétration de surface par pulvérisation de 1,5 à 2 kg/m² d'émulsion cationique de bitume, pour renforcer la cohésion de la forme en surface et permettre un bon accrochage de la couche support.

- *Couche support*

La couche support posée sur la surface stabilisée décrite au paragraphe précédent sera constituée par un tapis antipoinçonnement (par exemple feutre imputrescible, chape bitumineuse non étanche).

3.2.2. Barrages en matériaux meubles

Le caractère plus ou moins perméable des matériaux meubles impose un drainage artificiel pour évacuer les fuites éventuelles du revêtement et éviter les risques de sous-pression : la transition devra former un massif drainant.

Dans les cas où les matériaux constitutifs du corps de digue sont très fins, des dispositions seront prises pour éviter la migration dans les drains des éléments fins du corps de digue.

- *Préparation de la forme*

La préparation de la forme comportera les opérations suivantes :

- a) exécution d'une surlargeur horizontale du corps de digue de 1 m environ;
- b) enlèvement de cette surlargeur et compactage sur rampant.

Les travaux décrits en a) sont à réaliser en même temps que la construction du corps de digue.

c) exécution d'un dispositif bloquant les fines du corps de digue. Deux types sont envisageables :

- réalisation d'un filtre conforme aux règles de granulométrie habituelle. Le remblaiement d'un tel filtre par un feutre imputrescible n'est pas souhai-

filtering capacity for particles of less than 100 microns in diameter;

- a secondary impervious membrane, by means of a thin diaphragm not having to withstand high pressure.

- *Supporting layer*

A layer of material not susceptible to internal erosion by the flow of water, acts as a drain. The permeability of the material must lie between 10^{-2} and 10^{-3} m/s. The selected thickness must be adjusted to this permeability and to the height of the structure.

This drain is connected to a collecting system, designed so as to avoid any danger of silting or piping.

It is recommended increasing the number of outfalls, so that leaks can be better localized.

The use of the following materials can be recommended :

- gravel sand, crusher-run material, containing no silt or clay; the layer must be at least 15 cm thick, and its surface must be stabilized with a bituminous emulsion. Spreading and compaction are effected on the slope.
- loose free-draining asphalt coated gravel, in a layer at least 10 cm thick. Check there is no incompatibility with the lining.

Under present conditions, the use either of a simple rot-proof felt, even if it is thick, or of cement-bound granulates is not to be recommended for the realization of the drainage.

It is however recommended laying over the drainage layer an anti-punch blanket of a non-rot felt for instance. This blanket may be bonded at works.

At interfaces with particularities, it is recommended gradually thickening the supporting layer by disposing, along pla-

table dans tous les cas, le pouvoir de filtration de ce matériau étant faible ou nul vis-à-vis des éléments de diamètre inférieur à 100 microns;

- réalisation d'une étanchéité secondaire par une membrane mince d'étanchéité qui n'a pas à supporter une forte pression.

- *Couche support*

Une recharge constituée d'un matériau insensible à l'érosion interne sous le passage de l'eau sert de drain. La perméabilité du matériau devra être comprise entre 10^{-2} et 10^{-3} m/s, l'épaisseur choisie ajustée à cette perméabilité et à la hauteur de l'ouvrage.

Ce drain est raccordé à un système collecteur conçu pour éviter tous risques de colmatage et de renard.

Il est souhaitable de multiplier les exutoires afin de mieux localiser les fuites éventuelles.

On peut conseiller l'emploi :

- de sable graveleux, d'un tout-venant de concassage, ne contenant ni limon ni argile : la couche aura 15 cm d'épaisseur au moins et sera stabilisée en surface à l'émulsion de bitume. Le répardage et le compactage sont à effectuer sur rampant,
- d'enrobés bitumineux ouverts, et drainants en couche de 10 cm d'épaisseur au moins. On s'assurera de l'absence d'incompatibilité éventuelle avec le revêtement d'étanchéité.

En l'état actuel des fabrications, on doit déconseiller l'emploi, pour constituer de drain, soit d'un simple feutre impu-

tre-scible même épais, soit de granulats liés au ciment. Cependant, il est conseillé de placer sur la recharge drainante un tapis antipoin-

çonnement constitué par un fautre impu-

tre-scible par exemple. Ce tapis peut être collé en usine.

Au contact immédiat des points singu-

liers, il est conseillé d'épaissir progressive-

ment la couche support en disposant, sui-

nes parallel to the diaphragm, reinforcements which may be non-rot felt (Fig. 3). The thickening may also be effected with a material able to deform, but which does not flow under its own weight such as for example sand-bitumen with 20 % voids.

vant des plans parallèles à la membrane, des armatures pouvant être constituées de feutres imputrescibles (Fig. 3). L'épaississement pourra également être réalisé en matériau capable de déformation, mais ne fluant pas sous son poids, comme par exemple un sable-bitume à 20 % de vide.

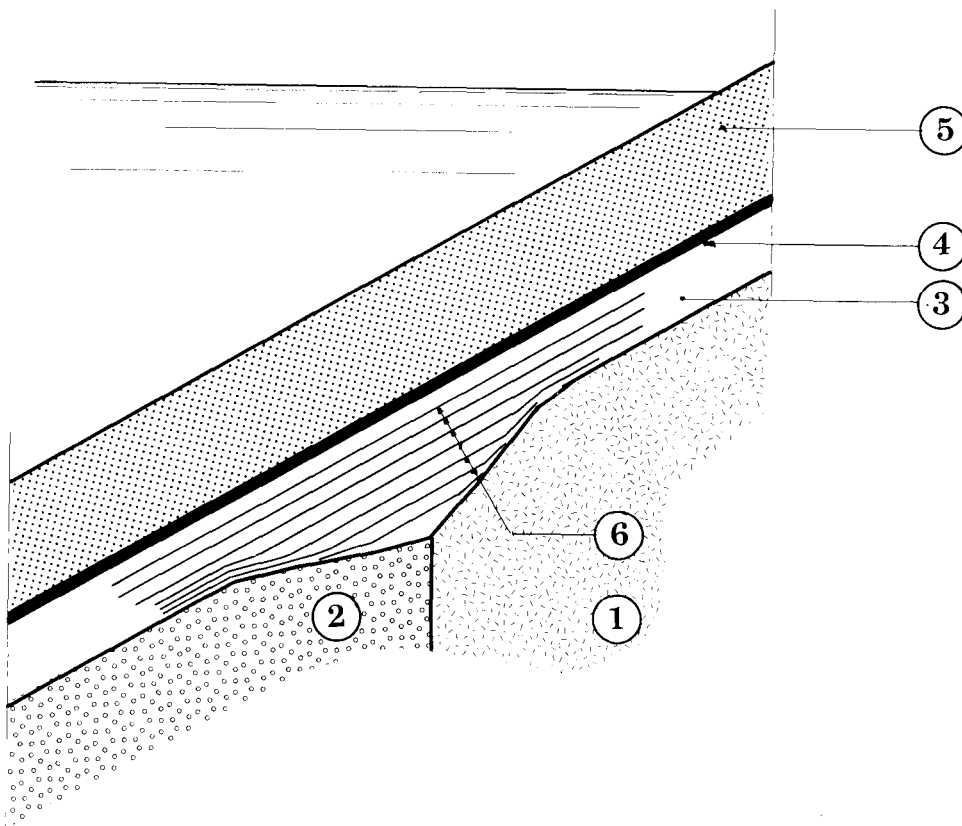


FIG. 3
Exemple de point singulier.
Example of particularity interface.

- | | | |
|------------------------|-----|-------------------------|
| Matériau A | (1) | <i>Material A</i> |
| Matériau B | (2) | <i>Material B</i> |
| Couche support | (3) | <i>Supporting layer</i> |
| Membrane | (4) | <i>Diaphragm</i> |
| Couche de protection | (5) | <i>Protective layer</i> |
| Feutres imputrescibles | (6) | <i>Rotproof felts</i> |

3.2.3. The diaphragm

- *Selection of the diaphragm*

The diaphragm is selected so as to resist all stresses described in Chapter 2.3. However, for the structures which are the subject of this draft recommendation, it cannot be tolerated that in its final condition, the diaphragm is exposed without protection to following stresses :

- internal uplift;
- thermal shock;
- wind;
- waves;
- UV radiation;
- impact from floating matter;
- attack by animals and plants;

- human damage.

Nevertheless, the aptitude of the diaphragm to withstand by itself such attack must be carefully taken into account, because it is important in the building phases or in the case of local damage to the protective layer.

- *Laying*

The laying of the bulk of the diaphragm does not give rise to difficult problems, but precautions must be taken :

a) in nearly horizontal zones, in particular because of differential settlements : to avoid the formation of high points under the diaphragm which may collect gases from the soil (case of upstream blankets, reservoir linings). The removal of gases to the top must be provided for;

b) to reduce the number of joints executed on the site, in particular horizontal joints on slopes.

- *Particularities*

We will distinguish here three types of singular points :

3.2.3. La membrane étanche

- *Choix de la membrane*

La membrane étanche est choisie pour résister à l'ensemble des sollicitations décrites au chapitre 2.3. Toutefois, pour les ouvrages, objet de ce projet de recommandation, il ne peut être admis qu'en situation définitive la membrane étanche soit exposée sans protection aux sollicitations suivantes :

- sous-pressions internes;
- choc thermique;
- vent;
- batillage;
- rayonnement U.V.;
- choc des corps flottants;
- agression par les animaux, les plantes;
- agression par l'homme.

Cependant, la capacité de la membrane à résister par elle-même à de telles agressions devra être prise en compte attentivement car elle intervient dans les phases de construction, ou en cas d'incident localisé dans la couche de protection.

- *Mise en œuvre en zone courante*

En zone courante, la mise en œuvre de la membrane étanche ne pose pas de problème difficile mais des précautions doivent être prises en vue de :

a) éviter, dans les zones voisines de l'horizontale, et en particulier en raison de tassements différentiels, la formation de points hauts susceptibles d'amasser sous la membrane les gaz provenant du sol (cas des tapis amont, des revêtements de cuvette). L'évacuation des gaz vers le haut doit être aménagée;

b) réduire le nombre de joints effectués sur place, tout particulièrement les joints horizontaux sur les pentes.

- *Points singuliers*

On distingue ici trois types de points singuliers :

– *Top anchorage*

The diaphragm may be fixed to the dam body at the top. But it is generally advisable, during the mounting of the system, to allow the diaphragm to slacken, by using provisional fastenings.

Final anchoring, if any, is done only when the protective layer is finished and correctly positioned.

Because of this, it should be possible in most cases to avoid any permanent anchoring of the diaphragm in the head of the dam, but in the case of a dam of low permeability material, precautions (secondary seal below the dam crest) must be taken in order to avoid runoff water from the banks and the head of the structure entering into the drain.

– *Toe anchoring*

At the toe of the dam, a secondary structure generally establishes the connection between the grout cut off in the soil and the diaphragm; this secondary structure is made either of concrete or of clay material.

In other cases, the diaphragm is extended in the form of a horizontal blanket, which may line the whole reservoir bottom.

In all cases, large local deformations due to the weight of the dam and to the pressure of water, happen in the neighbourhood of the intersection line of the upstream slope of the dam and the banks of the reservoir.

In the case of readily deformable abutment soils, the connecting zone of the various watertightness systems must be separated from the toe of the dam.

The continuity of the diaphragm, when it extends into the reservoir, does not dispense with the need to subject this zone to a particular treatment.

The connection techniques depend on whether the lining is of bituminous or elastomer-plastomer type.

– *Ancrage en tête*

La membrane étanche peut être fixée au corps de digue à sa partie supérieure. Mais en général il convient, pendant le montage du dispositif, de permettre le relâchement de la membrane en utilisant des fixations temporaires.

L'ancrage définitif n'est à réaliser, éventuellement, qu'à l'achèvement de la couche de protection et après qu'elle se soit mise en place convenablement.

Il sera donc possible dans la plupart des cas d'éviter tout ancrage définitif de la membrane en tête de digue. Mais alors, et dans le cas d'un corps de digue constitué de matériau peu perméable, des précautions (création d'une étanchéité secondaire sous la crête de digue) seront prises pour éviter que les eaux de ruissellement des rives et de la tête de l'ouvrage ne pénètrent dans le drain.

– *Ancrage de pied*

En règle générale, en pied de digue, un ouvrage secondaire établit la liaison entre le voile d'étanchéité situé dans le sol et la membrane étanche : cet ouvrage secondaire est réalisé soit en béton, soit en matériau argileux.

Dans d'autres cas, la membrane étanche est prolongée sous forme de tapis quasi horizontal, ou même constitue le fond étanche de la cuvette.

Dans tous les cas, au voisinage de la ligne d'intersection du talus amont du barrage et des bords de la cuvette, se situent d'importantes déformations localisées, dues au poids du barrage et à la poussée de l'eau.

Dans le cas de sols d'appui très déformables, il y a lieu d'écartier du pied du barrage la zone de raccordement des différents types d'étanchéité.

La continuité de la membrane, lorsqu'elle se prolonge sur la cuvette, ne dispense pas de traiter cette zone de façon particulière.

Les techniques possibles de raccordement varient selon qu'il s'agit de revêtements à base de produits bitumineux ou

a) *Interface with a secondary concrete structure*

i) Bituminous-base linings

The connection between the diaphragm and concrete must be effected in the following conditions, creating a slip-joint :

The bonding of the diaphragm on the concrete requires the interposition of a thick coating of a high-creep material chemically compatible with the diaphragm.

A bonding layer is applied beforehand on concrete (Fig. 4). It must be of good quality and present a surface condition of

du type élastomère-plastomère.

a) *Raccordement avec un ouvrage secondaire en béton*

i) *Revêtements à base de produits bitumineux*

La liaison entre la membrane étanche et le béton sera assurée dans les conditions suivantes, réalisant un joint glissant :

Le collage de la membrane étanche sur le béton comporte l'interposition d'un enduit épais d'un matériau doué d'une grande aptitude à la déformation de fluage, tout en étant compatible chimiquement avec la membrane.

Une couche d'accrochage sera au préalable appliquée sur le béton (Fig. 4), qui devra être de bonne qualité et présenter

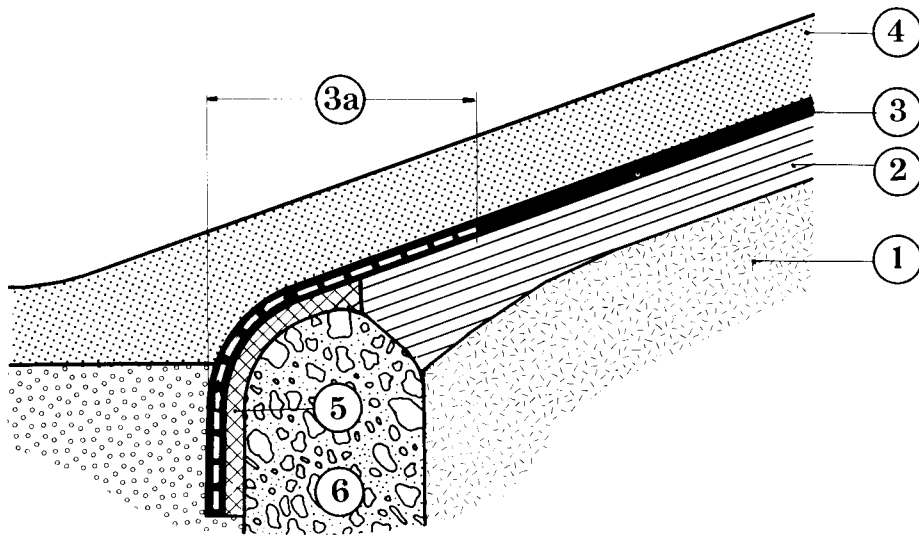


FIG. 4

Exemple de raccordement de pied de revêtement du type bitumineux sur béton.
Example of interface between bituminous facing with concrete.

Remblai	(1)	<i>Fill</i>
Couche support	(2)	<i>Supporting layer</i>
Membrane	(3)	<i>Diaphragm</i>
Membrane armée	(3a)	<i>Reinforced diaphragm</i>
Couche de protection	(4)	<i>Protective layer</i>
Enduit épais déformable	(5)	<i>Thick deformable coating</i>
Béton	(6)	<i>Concrete</i>

« fine trowelled » type, in order to avoid any risk of injury to the lining.

A joint covering over the slip-joint for some length (about one metre), may be provided at the level of the connection. This covering can be made in the form of a thick lining of a flowing material and reinforced diaphragm for instance (Fig. 5).

un état de surface du type « taloché fin » pour éliminer tout risque de blessure du revêtement.

Au droit du raccordement, on pourra prévoir un couvre-joint doublant le joint glissant sur une certaine longueur, de l'ordre du mètre : enduit épais en matériau fluide et membrane d'étanchéité armée par exemple (Fig. 5).

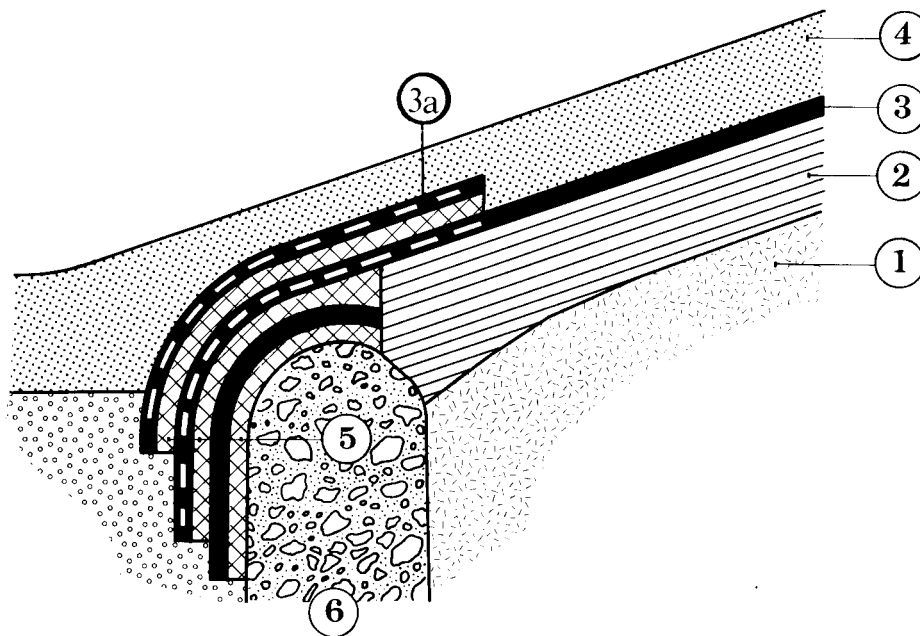


FIG. 5
Exemple de couvre-joint.
Example of a joint cover.

- Remblai (1) *Fill*
- Couche support (2) *Supporting layer*
- Membrane (3) *Diaphragm*
- Membrane armée (3a) *Reinforced diaphragm*
- Couche de protection (4) *Protective layer*
- Enduit épais déformable (5) *Thick deformable coating*
- Béton (6) *Concrete*

Nota : les épaisseurs des membranes et enduits ne sont pas à l'échelle : elles ont été, volontairement, fortement épaissies sur le dessin.

Note : The thicknesses of diaphragms and coatings are not to scale : they are deliberately greatly increased on the drawing.

The surface shall be disposed so that the water pressure tends to press the flexible structure onto the rigid structure with the largest contact area. It is moreover advisable that the contact surface of the rigid structure should lie in line with the plane of the diaphragm, in order to avoid any sharp fold.

This means the mating surfaces will not be vertical.

At construction joints in the rigid structure, which constitute a triple interface, special dispositions are to be provided.

ii) Linings of the elastomer-plastomer type

The main part of the indications given in a) i) for bituminous linings is applicable to any type of lining. However, the construction of slip-joints is not yet (1978) developed for linings of the elastomer-plastomer type.

For this latter type, as well as for some bituminous linings, metal fixing plates, which grip the membrane, are sometimes used. These plates must be carefully prepared, adequately protected against oxidation, and there must be no stress on the membrane at this place. The fixing plates are intended exclusively for watertightness.

However, due to the lack of a sufficient experience, it is not possible to recommend standard solutions for metal fixings.

iii) Folding the diaphragm on itself is not a suitable means for realizing a slip-joint, except possibly in some cases, for bituminous membranes. But an extra precaution is to use several different types of diaphragms near hard points, so as to obtain a gradual variation of the watertightness characteristics, thus securing a better distribution of stresses.

La surface de collage sera disposée de telle façon que la pression de l'eau ait tendance à appuyer la structure souple sur l'ouvrage rigide avec la plus grande surface de contact. Il convient en outre que la surface de collage de l'ouvrage rigide prolonge le plan de la membrane de façon à éviter toute pliure brutale.

Il résulte de ces dispositions que les surfaces de collage ne seront pas verticales.

Au voisinage de joints de construction de l'ouvrage rigide, point de raccordement triple, des dispositions spéciales sont à prévoir.

ii) Revêtements du type élastomère-plastomère

L'essentiel des indications données en a) i) pour les revêtements à base de produits bitumineux s'applique à tout type de revêtement d'étanchéité. Cependant, la réalisation de joints glissants n'est pas actuellement (1978) au point pour les revêtements du type élastomère-plastomère.

On utilise parfois pour ces derniers – tout comme pour certains revêtements à base de produits bitumineux – des plaques métalliques de fixation qui pincent la membrane étanche. Ces plaques doivent être soigneusement confectionnées, être protégées convenablement de l'oxydation et la membrane ne doit être le siège d'aucune contrainte à ce niveau. Ces fixations doivent exclusivement remplir un rôle d'étanchéité.

Faute d'expérience suffisante, il n'est toutefois pas possible de recommander de solutions types pour les fixations métalliques.

iii) La confection de lyre en repliant la membrane d'étanchéité sur elle-même ne fournit pas un moyen convenable pour constituer un joint glissant sauf peut-être, dans certains cas, pour les membranes bitumineuses. Par contre, une précaution supplémentaire consiste à associer plusieurs types de membrane au voisinage des points durs, de manière à faire varier graduellement les propriétés de l'étan-

b) Interface with an earth structure

The diaphragm edge should be placed between two compact horizontal layers. It is advisable to protect the both faces with an anti-punch blanket, for instance a non-rot felt, sometimes impregnated with asphalt or a flexible resin if the materials are compatible.

The arrangements must be compatible with the characteristics of the materials, and any risk of leakage through the supporting layer must be avoided.

c) Extension of the diaphragm into the reservoir

In the zone where important deformations may happen, it is recommended, independently of the thickening of the supporting layer and its reinforcement, laying a second diaphragm possibly reinforced and bonded on the first with the interposition of a thick coating of a flowing material.

– *Other particularities*

a) Concrete structures

The compaction of the dam body along a concrete block, which is always a difficult operation, must be effected with special care. The quality of this compaction is measured by reference to the Proctor optimum.

The layout of the structures should try to reduce the number of concrete works in direct contact with the dam body.

The contact faces should be sloped backwards sufficiently to distribute the differential movement between dam body and concrete over a sufficient distance of fill.

In order to prevent such movements causing an excessive pull in the diaphragm, and independently of the thickening and reinforcement of the supporting

ch  te, assurant ainsi une meilleure répartition des contraintes.

b) Raccordement sur un ouvrage en terre

La membrane d'  tanch  te sera arrêtée entre deux couches horizontales compactes. Il convient de protéger l'  tanch  te sur ses deux faces par un tapis antipoinçonnement, par exemple un feutre impu- trescible éventuellement imprégné d'un bitume ou d'une résine souple si la compatibilité des matériaux l'autorise.

Les dispositions adoptées doivent être compatibles avec les caractéristiques des matériaux et il faut éviter tout risque de fuite par la couche support.

c) Prolongement de la membrane sur la cuvette

Dans la zone où risquent d'apparaître d'importantes déformations, indépendamment de l'épaississement de la couche support et son armature, il est conseillé de doubler la membrane étanche par une seconde membrane, éventuellement renforcée par armature, et collée sur la première avec interposition d'un enduit épais de matériau fluent.

– *Autres points singuliers*

a) Ouvrages en béton

Le compactage du corps de digue le long d'un massif béton, toujours difficile, devra être soigné tout particulièrement. La qualité de ce compactage sera mesurée par référence à l'optimum Proctor.

Par une position adéquate des structures, on s'efforcera de réduire le nombre des ouvrages en béton directement en contact avec le corps du barrage.

Ce contact sera réalisé suivant un fruit suffisant pour répartir le mouvement différentiel corps de digue-ouvrage en béton sur une largeur suffisante de remblai.

Pour parer à ces mouvements sans traction excessive dans la membrane étanche, indépendamment de l'épaississement et du renforcement de la couche

layer as described under "Supporting layer", there should be a slip-joint according to the dispositions of Fig. 3 and paragraph 3.2.3 above, when this is possible.

The joints are arranged to avoid sharp points; if some should persist, it is necessary to provide for greater movement of the slip-joints at these points.

b) Particularities in slopes

Placing the base and supporting layers, and the laying of the diaphragm become more difficult as the radius in plan decreases; differential deformations may be feared. So in the case of very small radii or sharp angles, it is recommended to dispose a slip-joint along the line or surface which connects the principal surfaces, when this disposition can be adopted.

Ramps or berms on the slope create difficult points, which in fact anchor the facing in place. Such points should be avoided, or if possible, slip-joints should be provided along each of these lines.

3.2.4. Protective layer

The protective layer shields the diaphragm from the stresses mentioned in § 2.3. : it must neither slip down the slope, nor pierce the diaphragm through draw-down, wave action or deformation of the dam body; it must moreover oppose plant growth and withstand wilful damage and burrowing animals.

The construction method for this layer must not progressively strain the diaphragm.

In some cases, the angle of the upstream slope of the dam is governed by the stability of this layer.

The protective layer may be rockfill, bituminous concrete, no-fines or concrete blocks.

support décrit en 3.2.1, on réalisera un joint glissant suivant les dispositions décrites à la Fig. 3 et au paragraphe 3.2.3 ci-dessus, lorsque cela est possible.

La forme des lignes de joints sera aménagée pour éviter les points anguleux; s'il en subsistait, il faudrait à leur voisinage augmenter l'aptitude à la déformation des joints glissants retenus.

b) Eléments singuliers des talus

Les difficultés d'exécution des couches de forme et support, de pose de la membrane étanche, s'accroissent quand le rayon en plan diminue; des déformations différentielles sont à craindre. Aussi, dans le cas de rayons très faibles ou de raccordement anguleux, est-il conseillé d'aménager un joint glissant le long de la ligne ou surface singulière raccordant les surfaces principales, lorsque cette disposition peut être adoptée.

Les rampes d'accès ou les risbermes sur le rampant créent des points singuliers délicats à exécuter, constituant des quasi ancrages de fait. Il faut éviter d'en créer, ou bien prévoir, si possible, des joints glissants le long de chacune de ces lignes singulières.

3.2.4. Couche de protection

La couche de protection soustrait la membrane aux sollicitations évoquées au § 2.3 : elle ne doit ni glisser sur le rampant ni poinçonner la membrane sous l'effet de la vidange du barrage, du battillage, de la déformation du corps du barrage; elle doit en outre s'opposer au développement de la végétation, à l'action des animaux et des vandales.

Le mode de construction de cette couche doit être choisi de façon à éviter de mettre progressivement en traction la membrane imperméable.

Dans certains cas, la pente du talus amont du barrage sera conditionnée par la stabilité de cette couche.

La couche de protection peut être réalisée : en enrochements, en béton bitumineux ouvert ou en blocs de béton.

- *Rockfill*

The unit weight of the rockfill to be laid on the surface in contact with water is determined by the amplitude of the wave movement under the action of the strongest waves.

The piercing of the diaphragm during the laying of the protective layer must be avoided. The running of on-site vehicles is always prohibited on the diaphragm.

The anti-punch device placed over the diaphragm may be :

- an anti-punch blanket, for instance a non-rot felt,
- a sufficiently thick layer of gravel, rolled if possible, the surface of which is stabilized with bituminous emulsion. The constituent material of this layer must not contain fines liable to be transported or displaced by the water currents due to waves or by the fluctuation of the reservoir level.

It may seem advantageous in some cases to build the protective layer wide enough to be realized in compacted horizontal layers. The anti-punch system must be kept.

- *Bituminous concrete*

In cases where such a material is compatible with the diaphragm, the protection can be secured by a layer of open-graded bitumen coated aggregates containing 4 to 8 % voids, of at least 10 cm thickness, and sufficient to resist the action of the strongest waves and static stresses.

The freeboard above the maximum water level must take into account waves running up the smooth slope.

At the surface, the aggregate may be dense-graded to reduce the possibilities of

- *Enrochements*

Le poids unitaire des enrochements à mettre en œuvre sur la surface en contact avec l'eau sera déterminé en fonction de l'amplitude du batillage sous l'effet des plus fortes vagues.

Il y a lieu d'éviter le poinçonnement de la membrane d'étanchéité pendant la mise en œuvre de la couche de protection. La circulation des engins de chantiers est toujours proscrite sur la membrane d'étanchéité.

Le dispositif antipoinçonnement, placé au-dessus de la membrane étanche, pourra être constitué par :

- un tapis antipoinçonnement par exemple en feutre imputrescible,
- une couche d'épaisseur suffisante de gravier si possible roulé, dont la surface sera stabilisée à l'émulsion de bitume. Le matériau constituant cette couche ne comportera pas d'éléments fins susceptibles d'être entraînés ou déplacés par les courants d'eau liés au batillage ou au marnage du plan d'eau.

Il pourra paraître avantageux dans certains cas de réaliser la couche de protection sous forme d'une recharge de largeur suffisante pour être construite par couches horizontales compactées. Le dispositif antipoinçonnement devra être maintenu.

- *Enrobés bitumineux*

Dans le cas où un tel matériau sera compatible avec la membrane, la protection pourra être assurée par une couche d'enrobés bitumineux ouverts, présentant un pourcentage de vides de 4 à 8 %, d'épaisseur au moins égale à 10 cm, suffisante pour résister à l'action des vagues les plus fortes et aux efforts statiques.

La garde au-dessus des plus hautes eaux tiendra compte de la hauteur accrue d'ascension de la lame d'eau après déferlement sur le talus lisse.

En surface, l'enrobé pourra être fermé pour réduire les possibilités de développe-

plant growth, in particular above the normal reservoir level. It is important that this "sealing mastic" be disposed, in extent and conditions of application, so as not to interfere with the function of the aggregate against uplift.

The aggregate can be laid hot or cold; in either case, it is necessary to check that the diaphragm has not been damaged by the solvents, by thermal shock, or by the effect of compaction of the bituminous concrete.

An anti-punch system, for instance a non-rot felt, may be laid between the aggregate and the diaphragm, but as the water pressure does not act to tighten the protective layer on the underlying ones, the shearing strength at the contact must be verified, in order to establish that the equilibrium for each layer is reached.

- *Concrete blocks*

Experience shows that a concrete surfacing poured in situ in the form either of lean concrete slabs, or of reinforced concrete slabs, gives rise to numerous problems of stability with time and of excessive stiffness.

Concrete blocks, keyed if possible, with joints wide enough for good drainage, may be used, provided that a drainage layer of sufficient thickness, constituted of a gravel without fines and of a grain-size related to the effective width of the joints between blocks in order to avoid the particles being washed in by waves, is laid between the diaphragm and the concrete blocks.

It is advisable to dispose, between the drainage system and the diaphragm, an anti-punch blanket, constituted of a non-rot felt for instance.

Wave height and the slope and shearing strength of the interfaces between layers must be taken into account in the

ment de la végétation, notamment au-dessus de la surface du plan d'eau normal. Il est important que ce « mastic de fermeture » soit disposé, en étendue et conditions d'applications, de telle façon qu'il ne fasse pas obstacle au fonctionnement de l'enrobé vis-à-vis des sous-pressions.

L'enrobé pourra être mis en place à froid ou à chaud; dans chaque cas, il faudra vérifier que la membrane étanche n'est pas altérée, par les solvants employés, par le choc thermique et par l'effet du compactage du béton bitumineux.

Un dispositif antipoinçonnement, par exemple un feutre imputrescible, pourra être disposé entre l'enrobé et la feuille d'étanchéité, mais la pression de l'eau n'agissant pas pour serrer la couche de protection sur les couches sous-jacentes, la résistance au cisaillement au contact fera l'objet de vérification pour s'assurer que l'équilibre par tranche est réalisé.

- *Blocs de béton*

L'expérience acquise montre que les plaques de béton coulées en place sous forme soit de dalles de béton maigre, soit de voiles en béton armé, posent de nombreux problèmes de tenue dans le temps et de trop grande rigidité.

L'emploi de blocs de béton, si possible clavés, aux joints assez larges pour assurer un bon drainage, peut être retenu à condition de disposer entre la membrane étanche et les blocs de béton une couche drainante d'épaisseur suffisante, constituée d'une grave dépourvue de fines, et d'une granulométrie en rapport avec la largeur réelle des joints entre blocs pour éviter tout soutirage d'éléments sous l'action du battillage.

Entre le massif drainant et la membrane étanche, il convient de disposer un tapis antipoinçonnement, par exemple constitué par un feutre imputrescible.

Dans le choix de l'épaisseur et du poids des blocs, on tiendra compte de l'amplitude du battillage, de la pente et de

selection of the thickness and the weight of blocks.

3.3. Testing the structure

The recommendations presented here concern a not yet very widespread type of structure. It is therefore necessary to make special tests. These should be realized under three different conditions :

- a) during construction,
- b) on first filling,
- c) in usual operation.

a) During construction, the different construction stages of the facing system should be carefully tested. One should in particular endeavour to measure any relative movements of the various layers and to check the quality of the joints.

b) On first filling, it is necessary to permanently control the flow from the various drain outlets and to interpret the measurements as the reservoir level rises.

c) In operation, as during filling, the total leakage may be continuously recorded, but one must take care that an automatic system is not relied on, leading to long intervals between visual inspection, as safety could become misleading.

*
**

The above supervision is only complementary to that which, in any event, is absolutely necessary on fill dams (piezometry, topography, etc.).

*
**

It is to be remembered that the bottom outlet must be sufficient to allow the reservoir to be emptied, with due consideration to the inflow expected and the stability of the dam.

la résistance au cisaillement dans le plan de séparation des couches.

3.3. Contrôle de l'ouvrage

Les recommandations ici présentées portent sur un type d'ouvrage encore peu répandu : des contrôles particuliers sont donc nécessaires ; ils sont à réaliser suivant trois modalités :

- a) lors de l'exécution,
- b) à la première mise en eau,
- c) en exploitation courante.

a) Lors de l'exécution, un contrôle soigné des différentes phases d'exécution du dispositif d'étanchéité sera réalisé. En particulier, on s'efforcera de mesurer les mouvements relatifs éventuels des différentes couches, de vérifier la qualité des joints.

b) A la mise en eau, il faudra contrôler en permanence le débit des différents exutoires et interpréter les mesures au fur et à mesure de la montée du plan d'eau.

c) En exploitation, comme pendant la mise en eau, on pourra contrôler de façon continue le débit de fuite. Mais il faudra bien veiller à ce qu'un éventuel dispositif automatique n'aboutisse pas à un espacement de la surveillance visuelle, auquel cas la sécurité obtenue pourrait être illusoire.

*
**

Les contrôles particuliers qui précèdent ne font que compléter ceux qui, en toute hypothèse, sont indispensables sur les barrages en remblai de différents types (piézométrie, topographie, etc...).

*
**

On notera par ailleurs que la vidange de fond devra être suffisante pour permettre de vider la retenue en tenant compte des apports prévisibles et des conditions de stabilité du barrage.

4. CONCLUSIONS

Experience with the use of thin impermeable facings has enabled a technology to be developed for building safe dams, provided that a few rules of good construction are observed.

Past successes enable one to consider the application of these techniques to higher dams, but such an extrapolation can be made only with caution. For dams in which the watertightness of the upstream facing is secured by a diaphragm, it is now possible to reasonably project dams up to 30 metres high. The evolution of techniques and materials will undoubtedly allow this to be increased to about 40 metres in the future.

The Committee on Materials however thinks that before the limit of about 30 metres is exceeded, it would be advisable to pass this first step and to determine the level of acquired knowledge and experience. It is understood that these height limits do not relate to secondary watertightness systems.

The question of public safety will already claim attention for 30 metre and lower dams, and if it is effectively a problem, it will be necessary to examine the consequences of failure of the lining which, despite its protection, remains a fragile element. If the consequences would be very serious, it would be possible to conceive an alarm system and special dispositions to cover failure of the lining. In any case, the project in this case would deserve particularly careful study.

The field of application for this type of watertightness system seems however, under present conditions, to remain limited to modestly dimensioned facing surfaces. When the surface to be treated is sufficiently large to justify heavy on-site equipment, conventional methods com-

4. CONCLUSIONS

L'expérience de l'emploi des revêtements minces d'étanchéité a permis de mettre au point une technologie qui, moyennant l'observation de quelques règles de bonne construction, autorise l'édition d'ouvrages sûrs.

Les succès obtenus permettent d'envisager désormais l'application de ces techniques à des barrages de plus grande hauteur, tout en restant prudent dans cette extrapolation. Pour les ouvrages dont l'étanchéité principale du parement amont est assurée par une membrane, on peut désormais projeter raisonnablement des barrages allant jusqu'à 30 mètres de hauteur. L'évolution des techniques et des matériaux permettra sans doute de porter ce chiffre à une quarantaine de mètres dans l'avenir.

Le Comité des matériaux estime toutefois qu'avant d'aller au-delà d'une trentaine de mètres, il conviendra de franchir cette première étape et de faire le point des connaissances et de l'expérience acquise. Bien entendu, ces limites de hauteur ne concernent pas les étanchéités secondaires.

Déjà pour des barrages de 30 mètres ou plus petits se posera la question de la sécurité publique et on devra, si elle est effectivement mise en jeu, étudier les conséquences d'une rupture accidentelle du revêtement qui, malgré sa protection, reste un organe fragile. Notamment si ces conséquences sont lourdes, on pourra concevoir un dispositif d'alerte et des dispositions particulières destinées à pallier une éventuelle défaillance du revêtement. En tout état de cause, le projet dans ce cas méritera une dimension d'étude particulière.

Le domaine d'élection de ce type d'étanchéité semble toutefois rester limité, dans les conditions présentes, à des surfaces de parements de dimension modestes; en effet, les procédés classiques le concurrencent avec succès dès lors que la surface à revêtir est assez grande pour justi-

pete successfully with it. The cost of the diaphragm is in fact considerably increased by the external protection, the price of which may be higher than the watertight component.

From an economic point of view also, the first cost is an important, but not determining element. In the evaluation of technical solutions, it is always desirable to consider the total operation costs, which comprise the maintenance and amortization, estimated as a function of the probable utilization period or of the service life of the materials.

One especially promising field of application of diaphragms is for the inner seal in double systems. It may happen that absolute impermeability, or an absolute control of watertightness is desired. In such a case, there might be, under a conventional concrete or asphalt facing, a second impermeable layer which stops any residuable seepage. Drainage would be provided between both layers, and seepage can thus be completely collected. The use of a membrane is specially interesting, as the mechanical protection is automatically secured by the intermediate drainage layer and the primary lining. Such a disposition has been realized at the La Coche Reservoir, France.

When a thin membrane is utilized, the questions which must chiefly occupy the designer's attention are finally the connection on the periphery and with special structures, and mechanical protection. Progress on both these points will be specially welcome and will enable extending the field of this promising technique.

fier une installation de chantier lourde. Le prix de l'étanchéité mince est en effet grevé par la nécessaire protection mécanique extérieure qui peut coûter plus cher que l'étanchéité proprement dite.

Sous l'angle économique aussi, les dépenses de premier établissement constituent un élément important mais non déterminant. Il convient toujours, dans l'appréciation des solutions techniques, de considérer le coût global d'utilisation couvrant à la fois les dépenses d'entretien ainsi que l'amortissement évalué en fonction de la durée d'utilisation probable ou de la longévité des matériaux.

Un domaine d'application particulièrement intéressant des membranes est celui des étanchéités intérieures dans le cas des doubles étanchéités : il peut arriver qu'on veuille une étanchéité absolue, ou un contrôle absolu de l'étanchéité. On peut alors disposer, sous un masque d'étanchéité classique en béton ou bitume, une deuxième couche d'étanchéité qui arrête les fuites pouvant se produire à travers le masque. Un drainage est bien sûr assuré entre les deux étanchéités et on peut alors collecter la totalité de ces fuites. L'emploi d'une membrane pour cette étanchéité inférieure est particulièrement intéressant car la protection mécanique est automatiquement assurée par la couche de drainage intermédiaire et le revêtement d'étanchéité primaire. Un tel dispositif a été réalisé à la cuvette de la Coche (France).

Lorsqu'on met en œuvre une étanchéité mince, les questions qui doivent le plus retenir l'attention du projecteur sont en définitive, outre le vieillissement du matériau, le raccordement périmétral et aux ouvrages spéciaux, d'une part, la protection mécanique, d'autre part. C'est sur ces deux points que d'éventuels progrès seront particulièrement bienvenus et permettront d'accroître le domaine d'application de cette technique prometteuse.

5. BIBLIOGRAPHIE

France

Cahier des prescriptions communes. – *Fascicule 69 : Etanchéité (projet); Titre IV : Canaux, digues, barrages; 4) Chapes, membranes, feuilles.*

FRG (Fed. Rep. of Germany)

Dr. Ing. H. STEFFEN. – Anforderungen an flexible Dichtungsbahnen bei Erdbauwerken im Bereich des Umweltschutzes. *Symposium*, held on 7 June 1977 at Liège.

Dr. Hj. SAECHTLING. – Bauen mit Kunststoffen, *Edition C. Hauser*, München, 1973;

Dr. Ing. F.F. ZITCHER. – Kunststoffe für den Wasserbau, Cahier 125. *Bauingenieur-Praxis*, *Edition W. Ernst & Co.*, 1971.

Dr. K. STOECKHERT. – Kunststoff-Lexikon. *Edition C. Hauser*, München, 1975.

Plasticconstruction : Review for utilization of synthetic materials. – *Dipl. Ing. A. Schwabe et Dr. Hj. Saechtling*, 7. Jahrg. *Book 2-1977; ISSN 0032-1117.*

Recommendation for the use of synthetic materials in earthworks and hydraulic engineering. *Bautechnik*, n° 4, 1979.

USA (United States of America)

Dam in Jam Gets Plastic. Surgery. *Engineering News-R.* February 1963.

F.E. HAREM, K.D. BIELMANN et J.E. WOERTH. – Storage linings. *AWWA Journal*, May 1976, p. 238-242).

R.T. CHUCK, M. ASCE, Honolulu. – Largest butyl rubber lined reservoir (Kualapuu-Hawaii). *Civil Engineering*. ASCE/May 1970.

Canada

H. TAYLOR, F.C.I.E., Vancouver. – Performance of Terzaghi-dam, 1960 to 1969. Edited by *Proceedings of the seventh international conference on soil mechanics and foundation engineering*. Mexico 1969.

5. BIBLIOGRAPHIE

France

Cahier des prescriptions communes. – *Fascicule 69 : Etanchéité (projet); Titre IV : Canaux, digues, barrages; 4) Chapes, membranes, feuilles.*

RFA (Rép. Féd. Allemande)

Dr. Ing. H. STEFFEN. – Anforderungen an flexible Dichtungsbahnen bei Erdbauwerken im Bereich des Umweltschutzes. *Symposium*, tenue le 7 juin 1977 à Liège.

Dr. Hj. SAECHTLING. – Bauen mit Kunststoffen, *Edition C. Hauser*, München, 1973;

Dr. Ing. F.F. ZITCHER. – Kunststoffe für den Wasserbau, Cahier 125. *Bauingenieur-Praxis*, *Edition W. Ernst & Co.*, 1971.

Dr. K. STOECKHERT. – Kunststoff-Lexikon. *Edition C. Hauser*, München, 1975.

Plasticconstruction : Revue d'utilisation des matériaux synthétiques. – *Dipl. Ing. A. Schwabe et Dr. Hj. Saechtling*, 7. Jahrg. *Cahier 2-1977; ISSN 0032-1117.*

Recommandation pour l'utilisation de matières plastiques dans le terrassement et le génie hydraulique. *Bautechnik*, n° 4, 1979.

USA (Etats-Unis d'Amérique)

Dam in Jam Gets Plastic. Surgery. *Engineering News-R.* Février 1963.

F.E. HAREM, K.D. BIELMANN et J.E. WOERTH. – Storage linings. *AWWA Journal*, mai 1976, p. 238-242).

R.T. CHUCK, M. ASCE, Honolulu. – Largest butyl rubber lined reservoir (Kualapuu-Hawaii). *Civil Engineering*. ASCE/Mai 1970.

Canada

H. TAYLOR, F.C.I.E., Vancouver. – Performance of Terzaghi-dam, 1960 to 1969. Edité par *Proceedings of the seventh international conference on soil mechanics and foundation engineering*. Mexico 1969.

ICOLD

ICOLD, XIth Congress in Madrid : Q. 42, G.R., R.11, 22, 27, 28, 48 and the minutes of the session, p. 458 and 489.

ICOLD, VIIth Congress in Roma : Q. 27, R. 97; Dr. Ing. L. Hobst : The sealing of rock-fill and earth-dams by precast-elements and P.V.C.-Film Liners.

Italy

Waterproofing of earth – and rockfill-dams with synthetic HYBAR-membranes. *Divided in low dams and high dams. Electroconsult, Milan, and Forniture Industriali, Padova (F.I.P.). Edition April 1976.*

Belgium

International symposium on plastic and rubber waterproofing in civil engineering, from 7 to 9 June 1977 (Centre belge d'études des matériaux plastiques (C.E.P.), University of Liège, Civil Engineering Institute).

Prof. K. GAMSKI. – Présentation des membranes souples d'étanchéité. Ref. by L'eau et l'industrie, *Paris, monthly technical review. January 1979, No. 31, p. 43-47.*

CIGB

CIGB, XI^e Congrès de Madrid : Q. 42, R.G., R.11, 22, 27, 28, 48 et comptes rendus de la session, p. 458 et 489.

CIGB, VII^e Congrès de Rome : Q. 27, R. 97; Dr. Ing. L. Hobst : The sealing of rock-fill and earth-dams by precast-elements and P.V.C.-Film Liners.

Italie

Waterproofing of earth – and rockfill-dams with synthetic HYBAR-membranes. *Divisé en petits et grands barrages. Electroconsult, Milan, et Forniture Industriali, Padova (F.I.P.). Edition avril 1976.*

Belgique

International symposium on plastic and rubber waterproofing in civil engineering, du 7 au 9 juin 1977 (Centre belge d'études des matériaux plastiques (C.E.P.), Université de Liège, Institut de génie civil).

Prof. K. GAMSKI. – Présentation des membranes souples d'étanchéité. Edit. L'eau et l'industrie, *Paris, revue mensuelle technique. Janvier 1979, n° 31, p. 43-47.*

Appendix

EXAMPLES OF USE

The inventory of dams with thin watertight facings was the subject of an international investigation. The following tables recapitulate the answers received to the questionnaire sent by the Austrian Committee.

Listed structures

Only structures with a minimum height of 15 metres are in principle taken into account, but lower structures are considered when they present a special technical interest. The same applies also to certain linings for basins and canals.

For various reasons exposed in the preceding chapter, it is generally impossible to lay the impervious diaphragm directly on the upstream facing of a dam. In the inventory, no distinction has been made according to the exact position of the diaphragm, externally more or less protected.

Synthetic materials utilized in the listed structures are essentially products marketed by the chemical industry. Nevertheless sheets, fabrics or felts impregnated with bitumen were also taken into account.

Some temporary uses on temporary structures (tanking and cofferdams for instance), as well as repairs to existing structures, are also mentioned.

Metal linings, as well as watertightness systems constituted essentially of asphalt concrete, which are studied separately, have not been considered. The same applies to synthetic products which are simply added to concrete or to the soil for

Annexe

EXEMPLES D'UTILISATION

Le recensement des barrages dont l'étanchéité est assurée à l'aide d'une membrane a fait l'objet d'une enquête internationale. Les réponses reçues au questionnaire lancé par le Comité autrichien sont récapitulées dans les tableaux qui suivent.

Ouvrages recensés

Seuls les ouvrages d'une hauteur minimale de 15 mètres sont en principe concernés. Cependant, des barrages d'une hauteur moindre ont été pris en considération lorsqu'ils présentaient un intérêt technique particulier. Il en est de même pour certains revêtements de bassins et de canaux.

Pour différentes raisons développées dans le chapitre qui précède, il est généralement impossible de placer directement la membrane étanche sur le parement amont d'un barrage. Dans l'inventaire qui a été dressé, il n'a pas été fait de distinction selon la position exacte de la membrane, plus ou moins protégée extérieurement.

Les matériaux synthétiques mis en œuvre dans les ouvrages recensés sont essentiellement des produits commercialisés par l'industrie chimique. Cependant, les feuilles, tissus ou feutres imprégnés de bitume ont aussi été inventoriés.

Ont été mentionnées également certaines utilisations temporaires sur des ouvrages provisoires (cuvelages et batardeaux par exemple), ainsi que des réparations d'étanchéité sur des ouvrages existants.

Par contre ont été éliminés les revêtements métalliques ainsi que les étanchéités essentiellement constituées de béton bitumineux, examinés par ailleurs. Il en est de même pour les produits synthétiques simplement ajoutés au béton de

watertightness.

Tables

Of the 65 structures listed during the inquiry, the characteristics of the 24 most significant dams are given in the following tables. These 24 structures comprise 17 valley dams, 4 reservoirs, 2 cofferdams and 1 embankment.

Eight dams are used essentially for producing energy and 14 for storing water for drinking water supply, industry or irrigation.

There are five summary Tables :

- Table 1 : *Checked off structures and those considered*

It defines the localization of the structures considered as well as their nature.

- Table 2 : *List of structures*

It gives the principal information available for every structure, and indicates notably the watertightness material and its position.

- Table 3 : *Watertightness materials utilized*

It gives the watertightness materials which were used, according to their chemical composition.

- Table 4 : *Classification of the most frequently used materials*

It gives information on the specification, the trade mark and the thickness of the most frequently used diaphragms on the mentioned dams.

- Tables 5 and 5a : *Additional information*

It presents much data on the watertightness system for the 24 structures considered in the report.

ciment ou au sol dans un but d'imperméabilisation.

Tableaux relatifs aux ouvrages

Sur les 65 ouvrages recensés lors de l'enquête, les caractéristiques de 24 barrages, les plus significatifs, sont données dans les tableaux ci-après. Ces 24 ouvrages comportent notamment 17 barrages de vallée, 4 réservoirs, 2 batardeaux et 1 digue en remblai.

Selon leur destination, 8 barrages servent essentiellement à la production d'énergie et 14 à la fourniture d'eau pour l'alimentation en eau potable, l'industrie ou l'irrigation.

Cinq tableaux récapitulatifs ont été dressés :

- Tableau 1 : *Ouvrages recensés et ouvrages étudiés*

Il précise la localisation des ouvrages étudiés ainsi que leur nature.

- Tableau 2 : *Liste des ouvrages*

Il fournit les principaux renseignements disponibles sur chaque ouvrage et indique notamment le matériau d'étanchéité utilisé et son emplacement.

- Tableau 3 : *Produits d'étanchéité employés*

Il précise, en fonction de leur composition chimique, les produits d'étanchéité utilisés.

- Tableau 4 : *Classification des matériaux les plus souvent utilisés*

Il renseigne sur la spécification, la dénomination commerciale et l'épaisseur des membranes les plus souvent utilisées sur les barrages cités.

- Tableaux 5 et 5a : *Renseignements complémentaires*

Il comporte un ensemble de renseignements sur le dispositif d'étanchéité des 24 ouvrages étudiés.

Other structures

Some other structures were reported too late and could not appear in the foregoing tables. The two most important of them are :

1. Mt. Elbert Forebay pumped storage reservoir (U.S.A.)

Maximum height : 28 m
 Impounded volume : 14.2 hm³
 Area of lining : 1 180 × 10³ m²
 Internal sealing in CPE (chlorinated polyethylene)
 Use : production of energy
 Date of completion : 1980.

2. Biesbosch reservoirs, Rotterdam (Netherlands)

Maximum height : 23 m
 Area of lining : 543 × 10³ m²
 Sealing : nylon and bitumen
 Date of completion 1971, 1972 and 1973 (3 reservoirs).

Autres ouvrages

Certains autres ouvrages ont été signalés tardivement et n'ont pu figurer dans les tableaux précédents. Citons les deux plus importants :

1. Le réservoir de pompage Mt. Elbert Forebay (U.S.A.)

Hauteur maximale : 28 m
 Volume de la retenue : 14,2 hm³
 Surface du revêtement : 1 180 × 10³ m²
 Etanchéité intérieure en CPE (polyéthylène chloré)
 Usage : production d'énergie
 Année d'achèvement : 1980.

2. Les Réservoirs de Biesbosch, Rotterdam (Pays-Bas)

Hauteur maximale : 23 m
 Surface du revêtement : 543 × 10³ m²
 Etanchéité : nylon et bitume
 Année d'achèvement : 1971, 1972 et 1973 (3 réservoirs).

TABLEAU I - TABLE I
 Ouvrages recensés et ouvrages étudiés
 Checked off structures and those considered

Name	Nom	Listed structures Ouvrages recensés	Structures considered in the report Ouvrages étudiés dans le rapport	
			Dam Barrage	Reservoir Réservoir
Australia	Australie	11	1	—
Austria	Autriche	4	2	—
Belgium	Belgique	1	—	1
Canada	Canada	3	1	—
CSRR (Czechoslovakia)	Tchécoslovaquie	3	2	—
Fed. Rep. Germany	R.F.A.	7	4	—
France	France	9	4	1
Hungary	Hongrie	1	1	—
Rep. of South Africa	Rép. Sud Africaine	7	—	—
Spain	Espagne	5	3	—
UK	Royaume-Uni	5	—	—
USA	USA	6	1	1
USSR	URSS	1	1	—
Venezuela	Vénézuéla	1	—	1
Yugoslavia	Yougoslavie	1	—	—
Total 15 Countries	15 pays	65	20	4

Name	Type of structure (1)	Volume of		Area of lining (10 ³ m ²)	Utilization							
		Reservoir (10 ⁶ m ³) (hm ³)	Dam (10 ³ m ³)		Generation	Drinking water supply	Water supply	Cofferdams	P.V.C.	E.P.D.M.	I.I.R.	E.C.B.
Nom	Type d'ouvrage (1)	Volume du		Surface de revêtement (10 ³ m ²)	Utilisation							
		Réservoir (10 ⁶ m ³) (hm ³)	Barrage (10 ³ m ³)		Production d'énergie	Alimentation en eau potable	Alimentation en eau industrielle	Batardeaux	P.C.V.	E.P.D.M.	I.I.R.	E.C.B.
Dobsina	D	1.1	13	1.3	x				x			
Landstejn	D	3.1	236.5	11		x			x			
Terzaghi	D	1021	2 294	8	x				x			
Atbashin	D	39	352	1.2	x							
Erzberg	D					x						
Heimbach	D					x			x			
St. Martin	D			6		x						x
Kell	D			10				x				x
Vadas	D			2			x					x
Miel	D	0.3		3	x							
Neris	D	0.23		3.2	x							
Ospedale	D			4	x							
Herbes blanches	D			6		x						x
Odiel	D		87	3.1								
Zolina	D			14.5			x					
Los Campitos	D		576	29			x		x			
Mast	D	0.37		3			x					
EI Tablazo	Re	4		490			x					
Kualapuu	Re	5.3	1.15.10 ³	45			x					
La Coche	Re	2.1		110	x				x			
Oelegem	Re	5.1	2.05.10 ³	147		x						
Altenwörth	Em	59.7	5.07.10 ³	70	x				x			
Sugarloaf	Co								x			
Abwinden	Co	23.2	740	94					x			
Number - Nombre					8	6	8	2	7	1	4	3

(1) D : Dam - Barrage
Re : Reservoir - Réservoir

Em : Embankment dam - Barrage en remblai
Co : Cofferdams - Batardeaux

TABLEAU 2 - TABLE 2
Liste des ouvrages
List of structures

Used materials (2)				Year of completion			Height of structure		Position of the lining				
P.E.	Combined materials				Over 10 years	Between 5 and 10 years	Under 5 years	Over 15 m.	Lower than 15 m	Upstream	Interior lining	Valley slopes and bottom	Repair
	Tissue-nylon + C.S.M.	Tissue-nylon + bitumen	Polyester-felt + bitumen	Polyamid + Polyurethane									
Matériaux utilisés (2)				Année d'achèvement			Hauteur de l'ouvrage		Position du revêtement				
P.E.	Matériaux composites				Plus de 10 ans	Entre 5 et 10 ans	Moins de 5 ans	Plus de 15 m.	Moins de 15 m.	Amont	Revêtement interne	Rives et fond de vallée	Incident
	Tissu-nylon + C.S.M.	Tissu-nylon + bitume	Feutre de polyester + bitume	Polyamide + polyuréthane									
x				1960				10		x			
x				1962	1973			26.5		x			
					1970			55					x
					1971			79		x			
					1974			5		x			
					1970			7.5					x
					1971			15		x			
					1973			22		x			
				1968				8		x			
					1970			15		x			
		x						18		x			
					1978			26		x			
x					1975			14		x			
					1974			27			x		
			x		1972			14		x			
x				1963		1975		54				x	
					1973			21					x
		x			1973			20		x			
					1969			18		x			
					1975			33		x			
		x			1978			17			x		
					1973			10		x			
					1976			19		x			
					1975			6			x		
4	1	2	1	1	4	13	7	14	10	17	3	1	3

(2) Others abbreviations : see. Table 3
Autres abréviations : cf. Tableau 3

TABLEAU 3 – TABLE 3
 Produits d'étanchéité employés
 Watertightness material utilized

<i>Chemical properties</i> Caractéristiques chimiques	Abbré- viations Abré- viations	<i>Composition</i>	<i>Composition</i>
<i>Elastomers – Elastomères</i>	CR IIR CSM EPDM EDDR	<i>Polychloroprene</i> <i>Isoprene-Isobutylene</i> <i>(Butyl rubber)</i> <i>Chlorosulphonated polyethylene</i> <i>Ethylene-propylene-diene mixture</i> <i>Ethylene-propylene-diene rubber</i>	Polychloroprène Isoprène-Isobutylène (caoutchouc butyl) Polyéthylène chlorosulfoné Mélangé éthylène-propylène-diène Éthylène-propylène-diène-caoutchouc
<i>Plastomers – Plastomères</i>	CPE EVA PE PIB PVC	<i>Chlorinated polyethylene</i> <i>Ethylene-vinyl acetate</i> <i>Polyethylene</i> <i>Polybutylene or isobutylene</i> <i>Polyvinyl chloride</i>	Polyéthylène chloré Éthylène-acétate de vinyle Polyéthylène Polybutylène ou isobutylène Chlorure de polyvinyle
<i>Combined materials (for instance with bitumen)</i> Produits combinés (par exemple avec un bitume)	ECB FIB NIIR	<i>Ethylene-bitumen copolymer</i> <i>Bitumen impregnated felts</i> <i>Nylon reinforced butyl rubber</i>	Copolymère éthylène-bitume Feutres imprégnés de bitume Caoutchouc butyl renforcé par du nylon
<i>Thermosetting materials</i> Produits thermodurcissables			

TABLEAU 4 – TABLE 4

Classification des matériaux les plus souvent utilisés d'après leurs caractéristiques chimiques, avec indication de leur dénomination commerciale et des épaisseurs du matériau
Classification of the most frequently used materials according to their chemical properties, with indication of their trade mark and of their thicknesses

<i>Chemical specification</i> Spécifications chimiques	<i>Trade mark</i> Dénomination commerciale	<i>Thickness (mm)</i> Epaisseur (mm)
P.V.C. P.C.V.	Isofol BB (CSSR) Sarnafil Rhenofol Interterm WBF Drakatechnofol 0411 Sika-Norm Wolfin Trokal	0,6 – 1,1 (2,0) 0,5 – 1,6
E.P.D.M.	Hertalan Hermesit Sika-Teraplan Miner-Butyl-Membran	1,0 – 2,0
I.I.R. : <i>Butyl-Rubber</i> Caoutchouc butyl	Rhepanol Butyl (Esso) RMB (Esso)	0,5 – 2,0
<i>Bitumen and Tissues</i> Bitume et tissus	Hypofors (Nylon-Tissue)-(Tissu de nylon) U.P.M. (Polyester-Tissue)-(Tissu de polyester) Lucobit 1210 (Glass-Tissue)-(Tissu de verre) Coletanche NTP 3 (Felt)-(Feutre)	1,5 – 5,0
N.B.R. : <i>Synthetic Elastomers</i> Elastomères synthétiques	Hypalon Hy-Bar Nitril-Rubber Optifol (CSSR)	0,5 – 2,0
<i>Polyolefin</i> Polyoléfine	3110 du Pont	0,5 – 1,5
E.C.B.	Carbofol Tixproof Aquaguard Bitulen Lucobit	1,0 – 2,0
P.E.	Schlegelplatte Saraloy (CPE) Trespalen (H.P.D.E.)	1,0 – 2,5

Name of structure	Year of completion	Country	Owner	Dam features			
				Type	Maximum Height (m)	Maximum slope	Surface of sealing (10 ³ m ²)
Nom de l'ouvrage	Année de mise en service	Pays	Maître d'ouvrage	Caractéristiques de l'ouvrage			
				Type	Hauteur maximale (m)	Fruit maximal	Surface de l'étanchéité (10 ³ m ²)
1 Dobsina	1960	C.S.S.R. Tchécoslovaquie	Povodi Hornadu à Bodrogu Kosice	E.R.	10	1 : 2,5	1,3
2 Landstejn	1973	C.S.S.R. Tchécoslovaquie	Povodi Moravy Brno	R	26.5	1 : 2	11
3 Terzaghi	1962	Canada	British Columbia Hydro and Power Authority (Bridge-river)	E.R.	55	1 : 3	8
4 Atbashin	1970	USSR URSS	Kirgisian S.S.R. Kirgis. R.S.S.	E.	Height sealing Hauteur étanch.	1 : 2,4	1,2
5 Heimbach	1974	Fed. Rep. Germany Rep. Fed. Allemagne	Talsperrenverband Eifel Ruhr	Repair of old conc. dam Restaur barr. bét.		Vertical	
6 St Martin. Pfalz	1970	F.R.G. R.F.A.	Gemeinde St. Martin	E.	10	1 : 2,5	

TABLEAU 5 - TABLE 5
Renseignements complémentaires sur les 24 ouvrages étudiés dans le présent rapport
Additional information on the 24 structures considered in the present report

Used synthetic foils				Support and protective layers			
Product	Type	Thickness (mm)	Joints treatment	Base of foil	Placing method	Fixing on the base	Protective covering
Feuilles synthétiques utilisées				Couches supports et de protection			
Nature chimique	Fournisseur et dénomination commerciale	Epaisseur (mm)	Type de joint	Couche support	Mise en place	Liaison avec la couche support	Couche de protection
P.V.C.	Fatra Napajedla Isofol BB	0.90	HF - welded Soudé par HF	Precast concrete slabs Dalles préfabriquées en béton	By hand A la main	By load of the concrete slabs Par le poids des dalles préfabriquées	Between 2 layers of precast concrete slabs Entre deux dalles en béton
P.V.C.	Fatra Napajedla Isofol BB	1.4	HF - welding by machine type EDS/HF soudé avec une machine type EDS/HF	Precast concrete slabs Dalles préfabriquées en béton	By hand A la main	" "	Between 2 layers of precast concrete slabs (25 cm) Entre 2 dalles en béton (25 cm)
P.V.C. embossed on underside P.V.C. martelé en-dessous	Canadian Resins and chemicals KF 367 Black Code Nr. 90776	0.76	HF welding and adhesive soudé et collé par HF	Clay Argile	Machine placed Placé à la machine	No special fixing on clay supp. Pas de fixation spéciale sur le support d'argile	Sand and rock rubble Sable et pierres cassées
P.E.	Unknown Inconnue	0,6	Hot welded Soudé à chaud	Sand and pebbles max Ø 5 mm Sable et cailloux max Ø 5 mm	By hand A la main	Rubber packing between iron - construction above is a concr. plug Joint de caoutchouc entre béton et acier	Prot. strips 2 x 0,6 mm of same material Feuilles de prot. 2 x 0,6 mm, même matériau
P.V.C.	Dynamit Nobel	3,0	Swell welded	Concrete wall	By hand	Fixed with a non iron nail loose areas of 1 m ²	No
P.V.C.	Trocacal WB		Soudé à froid	Surface en béton	A la main	Surfaces de 1 m ² fixées par des épingles	Néant
Lucobit	Niederberg Chemie	2,0	Hot welded	Compacted sand layer	Placed on sand Noppen 50 % to base 50 % to Prot. layer	Fixed on crest and on toe in trenches	Sand/Gravel, 40 cm thick
E.C.B.	Carbofol Noppen foil		Soudé à chaud	Couche de sable compactée	Sur sable, noppen 50 % en haut, 50 % en bas	Ancrage en tête et au pied de talus dans les tranchées	Sable et cailloux, épaisseur 40 cm.

Name of structure	Year of completion	Country	Owner	Dam features				Product
				Type	Maximum Height (m)	Maximum slope	Surface of sealing (10 ³ m ²)	
Nom de l'ouvrage	Année de mise en service	Pays	Maître d'ouvrage	Caractéristiques de l'ouvrage				Nature chimique
				Type	Hauteur maximale (m)	Fruit maximal	Surface de l'étanchéité (10 ³ m ²)	
7 Kell bei Trier	1971	F.R.G.	Verbandsgemeinde Kell	E.	22	1 : 2,3	10	Lucobit
		R.F.A.						E.C.B.
8 Vadas	1973	Hungary Hongrie	Chemo Limpex, Budapest	E.	8	1 : 1,75	2	Lucobit E.C.B.
9 Miel	1968	France	Commune de Beynat (Corrèze)	E.	15	1 : 2,5	3	IIR
10 Néris	1970	France	Ville de Néris-les-Bains	R	18	1 : 1,6	3,2	IIR
11 La Coche	1975	France	Environs de Moutiers (Savoie)	R	33	1 : 2,5	110	P.V.C. polyester P.V.C. armé du polyéster
12 Odiel	1974	Spain Espagne	Rio Tinto Patino S.A. Huelva	R	27	1 : 1,3	3,1	PE et P.V.C.
13 Los Campitos	1975	Spain Espagne	City of St. Cruz Tenerifa, Canary Islands	E	Upper fondat. 54 Waterl. forces d'eau 19	1 : 3 to 1 : 4	29	EPDM 50 % Ethyl. 45 % Pro. 5 % Diene

TABLEAU 5 (suite) – TABLE 5 (cont.)

Renseignements complémentaires sur les 24 ouvrages étudiés dans le présent rapport
Additional information on the 24 structures considered in the present report

<i>Used synthetic foils</i>			<i>Support and protective layers</i>			
<i>Type</i>	<i>Thickness (mm)</i>	<i>Joints treatment</i>	<i>Base of foil</i>	<i>Placing method</i>	<i>Fixing on the base</i>	<i>Protective covering</i>
Feuilles synthétiques utilisées			Couches supports et de protection			
Fournis- seur et dénomina- tion commer- ciale	Epais- seur (mm)	Type de joint	Couche support	Mise en place	Liaison avec la couche support	Couche de protection
..	2,0	..	..	..	<i>Anchor, on crest in trench</i> Ancrage dans une tranchée en tête de talus	<i>10 cm Styropor, exp. concrete set-paving</i> Styropor ép. 10 cm, au dessus des dalles de béton
..	2,0	..	..	..	<i>Fixed on crest in trench</i> Ancrage en crête dans une tranchée	<i>Sand and Gravel-layer, 40 cm thick</i> Sable et cailloux ép. 40 cm
FIPEC	1,0	<i>Hot vulc. in factory</i> Vulcan. à chaud en usine	<i>Gravel filter, thick 20 cm, Ø 5/30 mm</i> Tout venant de ballastière, ép. 20 cm Ø 5 à 30 mm	<i>Strips rolled down by hand</i> Nappes préfr. déroulées à la main	<i>Embedded in a cut off trench</i> Ancrée dans une tranchée, remplie de béton	<i>Sand layer 20 cm</i> <i>Rockfill 70 cm</i> Couche de sable 20 cm Enrochem. 70 cm
FIPEC	1,5	<i>Hot vulc. in fact., cold vulc. on site.</i> Soudé à ch. en usine à froid au ch.	<i>Pervious bituminous concrete, 4 cm thick</i> Enrobé ouvert ép. 4 cm.	<i>By hand</i> A la main	<i>Embedded in a cut off trench</i> Ancrée dans une tranchée, remplie de béton	<i>Pref. concrete slabs, 4 cm thick and felt BIDIM,</i> Feutre BIDIM et dalles de béton préfabr., ép. 4 cm
Euroflor	1,0	<i>Hot air welded</i> Soudé à l'air chaud	<i>Sand-Gravel with much fine elements thick (ép.) 50 cm</i> Tout venant, riche en éléments fins, ép. 50 cm	<i>By hand in pieces 2 to 4 m ; overlapped 10 cm.</i> Pièces 2 à 4 m, pos. à la main ; recouvr. minimal de 10 cm	<i>The lining covered the reservoir completely</i> Revêtement sur toute la cuvette	<i>Draining conor. 20 cm Reinf. concr. slabs 30 cm.</i> Béton-drainant ép. 20 cm, dalles de béton armé ép. 30 cm
Saraloy 660	1,5	<i>Cemented by dissolvent</i> Collé au moyen de dissolut.	<i>Sand filter regul. by hand.</i> Filtre de sable, réglé à la main.		<i>Foil between 2 layers of filter inside the dam in a slope 1 : 0,7</i> Feuilles pos. dans l'int. du barrage	<i>Inside the dam not necessary</i> A l'intérieur du barrage pas nécessaire
Unknown. Inconnue	2,0	<i>Ho: vulcanis.</i> Vulcanis. à chaud	<i>Lapilli vulc., regulated by bulldozers compacted by vibroplates</i> Pentes en lapilli volcaniques réglées au bulldozer et compactées		<i>Anchored with small concrete walls</i> Ancrage dans de petits blocs de béton.	

Name of structure	Year of completion	Country	Owner	Dam features				Product
				Type	Maximum Height (m)	Maximum slope	Surface of sealing ($10^3 m^2$)	
Nom de l'ouvrage	Année de mise en service	Pays	Maître d'ouvrage	Caractéristiques de l'ouvrage				Nature chimique
				Type	Hauteur maximale (m)	Fruit maximal	Surface de l'étanchéité ($10^3 m^2$)	
14 El Tablazo	1973	Vénézuéla	Instituto Nacional de Obras Sanitarias	E	20	1 : 3,5	490	Sandwich-Construct. Nylon + asph. papier + polyester + Bitumen ox.
15 Mast	1948	USA	Mr. Ben Mast	E, R	21	1 : 3	Approx. 2,5 Environ	Vinylidene-chloride PVC + PE
16 Kualapuu	1969	USA	Molokai Hydroproject Hawaii	E	18	1 : 3 and 1 : 4	45	Nylon reinf. Butyl-rubber NIIR B utyl-caoutch. armé de nylon
17 Herbes blanches	1975	France	Commune de Tampon Ile de la Réunion	E	14	1 : 2	6	IRR
18 Ospedale	1978	France	Syndicat Intercom. pour l'équipement hydraulique du SE de la Corse.	R	26	1 : 1,7	4	Bituminous FIB Non tissé, imprégné de bitume
19 Erzberg	1971	F.R.G. R.F.A.		E	5	1 : 1,75		HDPE

TABLEAU 5 (suite) – TABLE 5 (cont.)
Renseignements complémentaires sur les 24 ouvrages étudiés dans le présent rapport
Additional information on the 24 structures considered in the present report

Used synthetic foils			Support and protective layers			
Type	Thickness (mm)	Joints treatment	Base of foil	Placing method	Fixing on the base	Protective covering
Feuilles synthétiques utilisées			Couches supports et de protection			
Fournisseur et dénomination commerciale	Epaisseur (mm)	Type de joint	Couche support	Mise en place	Liaison avec la couche support	Couche de protection
AKZO-ENKA Colbackmembrane Hypofors NF 1210	5,0 (dam) (barr.) 3,0 (bottom) (cuvette)	Overlapp. 50 cm, hot welded Recouvr. de 50 cm et soudé à chaud	Compacted soil Terre compactée	Rolled down by hand Déroulé à la main	Anchored by means of an iron tube Ancrage à l'aide d'un tube d'acier	Slope : Polypropylene and rip-rap 20 cm. Bottom : sand 20 cm. Pente : polypropylene and rip-rap 20 cm Fond : Sable 20 cm
1) Saraloy 660 2) " " 3) Polyfilm DOW-Chemic. Co.	0,8 1,6 0,015	Overlapp. 5 cm and welded Recouvr. de 5 cm et soudé	Sand and gravel Sable et cailloux	By hand A la main	Embedded in the dam continuously Noyé dans le barrage	Internal sealing Etanchéité à l'intérieur
Wisdom-Rubber Enjay-Butyl-rubber	0,8	Lap joints cold cem. welded Recouvr. soudé à froid	Compacted layer of fine grained material, 8 cm thick Couche de matériaux fins, comp. et réglée ép. 8 cm	180 m rolls by 2 light trucks unrolling Mise en place à l'aide de 2 camions légers	Lining secured in an anchor-trench at the top of embankment. Ancrage en tête dans une tranchée	No protective covering. Bitum. felt under all field joints. Pas de couche de protection.
FIPEC	1	Hot vulc. Vulcanis. à chaud	Felt BIDIM EB 30 Feutre BIDIM EB 30	Rolled down by hand Déroulé à la main	Embedded in cut-off trench Noyé dans la tranchée parafouille	2 layers BIDIM under 30 cm porous concr., made on site 2 couches BIDIM 1 couche béton, poreux coulé au chantier
Société Routière Colas, Coletanche NIP 3	5	Hot glued Recouvrement et collage à chaud	Felt BIDIM Feutre BIDIM	Hand-rolled down the crest Déroulé de la crête à la main	Embedded in concr. and mastix over the cut off wall Noyé dans béton et mastic sur le parafouille	Felt BIDIM and pitching in concrete slabs, 8 cm thickn. Feutre BIDIM et dalles de béton ép. 8 cm
Kalle/Hoechst Trespalen ADB 531	1	Hot welding Soudage à chaud	Compacted sand and gravel layer Couche compactée de sable et gravier		Drain-concrete bit. Coated with bitum. Levelled with coated filler Enrobé ouvert 8/12 réglé au vernis de filler.	Sand layer 8 cm concrete settpaving indented, 12 cm. Couche de sable 8 cm dalles de béton, de pavage, en retrait ép. 12 cm

Name of structure	Year of completion	Country	Owner	Dam features				Product
				Type	Maximum Height (m)	Maximum slope	Surface of sealing (10 ³ m ²)	
Nom de l'ouvrage	Année de mise en service	Pays	Maître d'ouvrage	Caractéristiques de l'ouvrage				Nature chimique
				Type	Hauteur maximale (m)	Fruit maximal	Surface de l'étanchéité (10 ³ m ²)	
20 Zolina	1972	<i>Spain</i> Espagne	Exploitation des Potasses Zolina (Navarra)	E	14	1 : 3	14,5	<i>Epoxy-Polyurethane reinf. fibres. polyamid armé avec fibres polyan.</i>
21 Oelegem	1978	<i>Belgium</i> Belgique	<i>City of Antwerpen</i> Ville d'Anvers	E	17	1 : 2,5	147	<i>Nylon tissue and bitumen on sandwich construction</i>
22 Altenwörth	1973	<i>Austria</i> Autriche	Osterr. Donaukraftwerke AG., Wien	E	10	1 : 2	70	PVC PCV
23 Abwinden	1975	<i>Austria</i> Autriche	Osterr. Donaukraftwerke AG., Wien	E	6	1 : 2	94	PVC PCV
24 Sugarloaf	1976	<i>Australia</i> Australie	<i>Melbourne and Metropolitan Board of Works</i>		19			<i>CSM, reinf. Nylon-mesh CSM armé d'un filet de nylon</i>

TABLEAU 5 (suite) – TABLE 5 (cont.)

Renseignements complémentaires sur les 24 ouvrages étudiés dans le présent rapport
Additional information on the 24 structures considered in the present report

<i>Used synthetic foils</i>			<i>Support and protective layers</i>			
<i>Type</i>	<i>Thickness (mm)</i>	<i>Joints treatment</i>	<i>Base of foil</i>	<i>Placing method</i>	<i>Fixing on the base</i>	<i>Protective covering</i>
Feuilles synthétiques utilisées			Couches supports et de protection			
Fournisseur et dénomination commerciale	Epaisseur (mm)	Type de joint	Couche support	Mise en place	Liaison avec la couche support	Couche de protection
	1.1	<i>Fresh str. welded only by contact</i> Recouvr. et soudage par contact	<i>Concrete slabs 6,00 x 7,50 x 0,07 m above a gravel filter.</i> Dalles de béton 6,00 x 7,50 x 0,07 m au-dessus d'un filtre gravier	<i>Foil is made direct on site in strips to 2,05 m by spec. machine.</i> Feuille faite directement sur le chantier en bandes de 2,05 m par machine spéciale	<i>Cemented on the cut off wall</i> Collée sur le mur parafouille	<i>No prot. layer</i> Néant
<i>ENKA-Glanzstoff bv. Netherland hypofors</i>	5	<i>Welded with hot bitumen</i> Collage au bitume chaud	<i>Compacted and regulated sand layer</i> Couche de sable, réglée et compactée	<i>By hydraulic crane on the crest rolled from bottom to the top of the dam</i> Déroulé du fond vers la crête par grue hydraulique	<i>Embedded in clay at the upstream toe (bottom : 1,5 m clay)</i> Enfoncé dans l'argile au pied de talus (prof. 1,5 m)	<i>Concrete slabs 15 cm, at toe sand and gravel-layer.</i> Dalles de béton, ép. 15 cm ; 1 couche de sable et gravier en pied.
<i>Intertherm Wels. WB-Foil 274/1000 C</i>	0,60	<i>In fabric. HF-welded</i> Soudage par HF en usine	<i>Regulated, not compacted fine sand layer, 20 cm thick</i> Couche de sable, réglée, mais pas compactée, ép. 20 cm	<i>Delivery folded-spread on the crest and rolled down.</i> Livré plié, déplié à la crête et déroulé à la main	<i>Embedded in concr. above the top of the diaphragm.</i> Ancré dans du béton en tête de la paroi moulée	<i>1,00 m thick fine gravel, heaved by caterpillar from bottom to top.</i> Couche de gravier fin, ép. 1,00 m répartie par caterpillar du pied vers la crête
<i>Intertherm WB-Foil 274/1000 C</i>	0,50	<i>Field seams stapled in vertic. folds</i> Agrafage sur place par feuilles verticales	"	"	"	"
<i>Legett Rubber Co.</i>		<i>Lap joints hot vulc.</i> Recouvr. vulcanisé à chaud	<i>Fine to medium sand</i> Sable fin et moyen	<i>Spread by dozer, then hand-raked</i> Etendue par tracteur, déplacée à la main	<i>Grouted in keyway in concrete wall along perimeter</i> Ancrage dans un mur de béton le long du pourtour	<i>None</i> Néant

TABLEAU 5a - TABLE 5a
 Caractéristiques des feuilles synthétiques
 Properties of synthetic foils

Name of structure		Properties of synthetic foils						Remarks
		Tear resistance (MPa)	Tearing elongation (%)	Permeability (m/s)	Resistance to cold	Acid and alkali proofness	Compatibility with bitumen	
Nom de l'ouvrage		Caractéristiques des feuilles synthétiques						Remarques
		Résistance à la traction (MPa)	Extensibilité (%)	Perméabilité (m/s)	Résistance au froid	Résistance aux acides et alcalis	Compatibilité avec le bitume	
1	Dobsina	New : 17 after 11 years : 14,6-18,5 Nouveau : 17 après 11 ans : 14,6-18,5	240 min : 180		Good (built in by -5°C possible) Bon (mise en place possible jusqu'à -5°C)	+	+	After 18 years : no problem Après 18 ans : pas de problème
2	Landstein	17	240 min. 180	Total seepage through the dam about 1 l/s. Fuite totale à travers le barrage environ 1 l/s.				One year U.V.Ray : no cracks Après une année et action des rayons solaires : pas de fissures
3	Terzaghi	22	180 C - 12°C 310C + 21°C 180 à - 12°C jusque 310 à + 21°C			+	+	The older name of this dam was : "Mission - Dam". Le premier nom de ce barrage était : "Mission - Dam".
4	Atbashin			Total seepage through the dam : 6 to 7 l/s. Fuite totale à travers le barrage : 6 à 7 l/s.				The sealing is made vertical in the axis of the dam upper the grouting gallery. L'étanchéité est posée verticalement dans l'axe du barrage au dessus de la galerie d'injection.
5	Heimbach	20	250	Dense Imperméable	- 35°C		+	The repair consists in the sealing of the vertical upstream face on the old concrete dam La réparation consiste en la construction d'une étanchéité sur la face amont verticale du barrage.
6	St Martin/Pfalz	35	700	Dense Imperméable	- 30°C		+	
7	Kell bei Trier	35	700	Dense Imperméable	30°C		+	
8	Vadas	35	700	Dense Imperméable	- 30°C		+	
9	Miel	10	400	10 ⁻¹⁴	+	+	+	
10	Néris	10	400	10 ⁻¹⁴	+	+	+	
11	La Coche	12	PVC 150, Polyester 15 (armatures) PVC 150, Polyéster 15	None Nulle				The foil is a secondary tight element. The main lining are reinforced concrete slabs. La feuille est une étanchéité secondaire. La première est formée de dalles en béton préfabriquées.

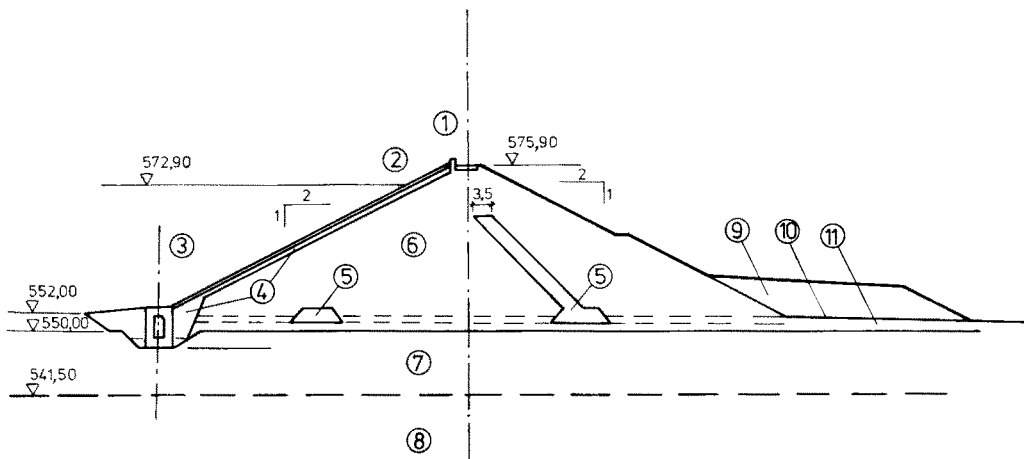
TABLEAU 5a (suite) – TABLE 5a (cont.)
 Caractéristiques des feuilles synthétiques
 Properties of synthetic foils

Name of structure		Properties of synthetic foils						Remarks
		Tear resistance MPa	Tearing elongation (%)	Permeability (m/s)	Resistance to cold	Acid and alkali proofness	Compatibility with bitumen	
Nom de l'ouvrage		Caractéristiques des feuilles synthétiques						Remarques
		Résistance à la traction (MPa)	Extensibilité (%)	Perméabilité (m/s)	Résistance au froid	Résistance aux acides et alcalis	Compatibilité avec le bitume	
12	Odiel	8	500					
13	Los Campitos	6	450	Permeability to vapour 3 g/m ² /24 h Perméabilité à la vapeur : 3 g/m ² /24 h			Foils only for lining on the slopes and bottom of valley. L'euilles seulement pour le revêtement des flancs et du fond de la vallée.	
14	El Tablazo	23 or 9 23 ou 9	25	Unknown Inconnue	+	+	+	Working more as 25 000 m ² /day! Plus de 25 000 m ² mis en place par jour !
15	Mast							
16	Kualapuu		30		No cracking or flacking by - 40°C. Pas de fissures pas d'effeuillement.			Ozone resistance : 7 days no cracks. Résistance à l'ozone : Après 7 journées pas de fissure.
17	Herbes blanches	8,5	350	By 1 bar : 10 ⁻¹⁴ Sous 1 bar : 10 ⁻¹⁴	+	+	+	A little problem was the settlements in the bottom of lake. Il y a eu tassement du support au fond du lac.
18	Ospedale				+	+	+	
19	Erzberg	20 to 26 20 à 26	600	Dense Imperméable	Resistant from - 50°C to + 90°C. Résistance de - 50°C à + 90°C.	+	+	
20	Zolina	3	80	Dense Imperméable	Resistant to + 110°C. Résistance jusqu'à + 110°C.			Resistant against UV rays (ASTM-Standard) during 600 hours. Resistant ag. agr. ions specially. MgCl ₂ . Résistance aux rayons UV pour un temps de 600 h. Rés. aux ions agress., spéc. MgCl ₂
21	Oelegem	20	25		+	+	+	Weight per face-unit : 5,8 kg/m ² Poids surfacique 5,8 kg/m ²
22	Altenwörth	15	200	Dense Imperméable	No cracks by - 20°C. Pas de fissure jusqu'à - 20°C	+	-	Warranty 3 years Garantie 3 années
23	Abwinden	15	250	Dense Imperméable	"	+	-	Test specimen after 3 years : Tear resist. 11 MPa Tear elong. 140 % Un échantillon détérré après 3 années eut les caractéristiques ci-dessus.
24	Sugarloaf							

**TABLE OF CONTENTS
OF FIGURES**

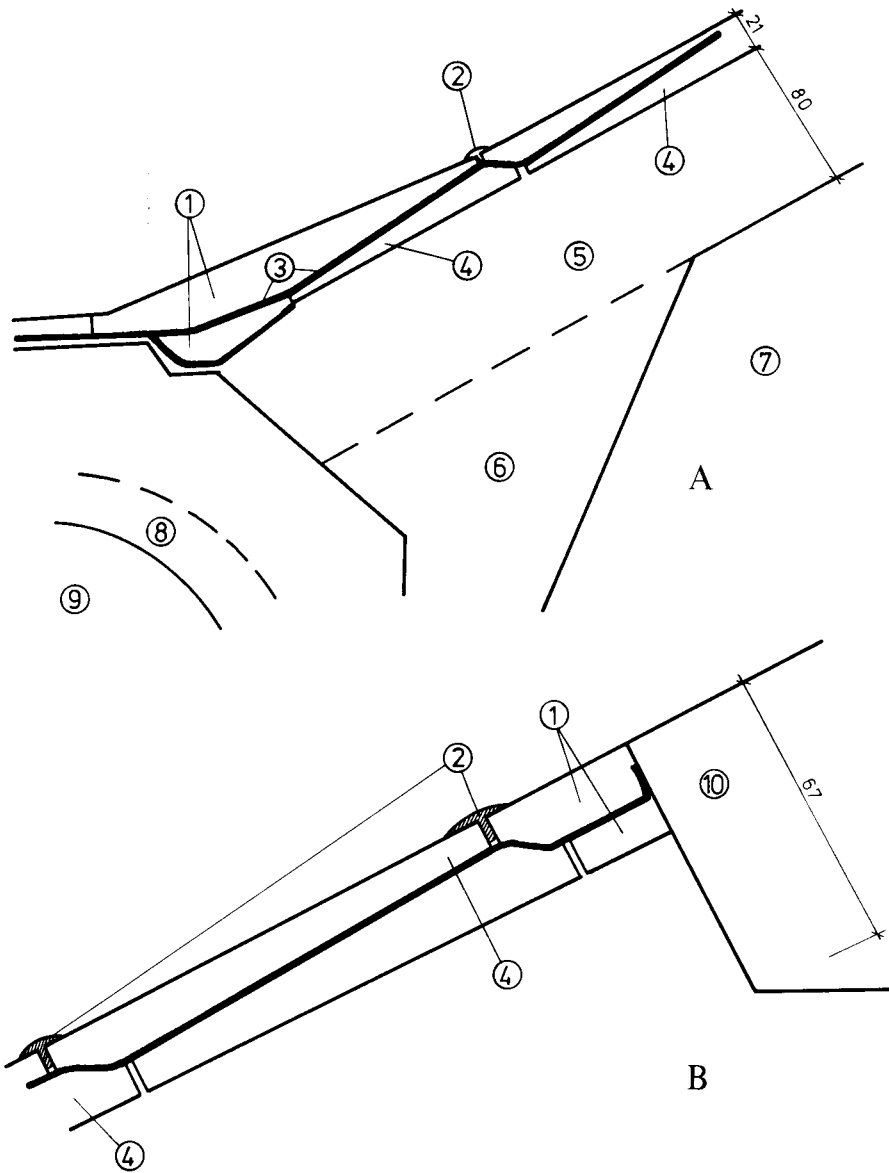
**TABLE DES MATIÈRES
DES CROQUIS**

Landstejn dam		Barrage de Landstejn	
- Cross section	64	- Coupe transversale	
- Connection of foil with the grouting gallery	65	- Jonction de la feuille avec la galerie d'injection	
- Connection of foil with the wave wall	65	- Jonction de la feuille avec le mur anti-batillage	
- Placing of foil	66	- Mise en place de la feuille	
- Fixing of foil on gallery	67	- Fixation de la feuille sur la galerie	
- Slab joint by PVC	67	- Joint des dalles en PCV	
Miel dam		Barrage de Miel	
- Cross section	68	- Coupe transversale	
Neris dam		Barrage de Neris	
- Scheme of revetment	69	- Schéma du dispositif d'étanchéité	
- Cross section	69	- Coupe transversale	
La Coche dam		Réservoir de La Coche	
- Details of drain	70	- Détails du drainage	
Odiel dam		Barrage d'Odiel	
- Cross section	71	- Coupe transversale	
- Detail of fixing of the membrane	72	- Détail de la fixation de la membrane	
Dams Altenwörth		Digues de la chute d'Altenwörth	
- Placing of foil on the diaphragm crest	73	- Disposition de la membrane en PCV sur la crête de la paroi moulée	
Ospedale dam		Barrage d'Ospedale	
- Detail of upstream facing	74	- Détail du revêtement d'étanchéité	



BARRAGE DE LANDSTEJN - LANDSTEJN DAM
Coupe principale - Cross section

- Axe du barrage (1) *Dam axis*
- Niveau d'eau maximal (2) *Maximum water level*
- Galerie d'injection (3) *Grouting gallery*
- Macadam (4) *Macadam paving*
- Drainage (5) *Continuous drain*
- Gneiss (6) *Weathering gneiss, like sandy gravel*
- Sable grossier (7) *Coarse grain with gneiss*
- Landstejn-gneiss (8) *Landstejn-gneiss*
- Recharge de pied (9) *Toe weight*
- Couche drainante (10) *Drainage layer*
- Argile sableuse (11) *Sandy clay*

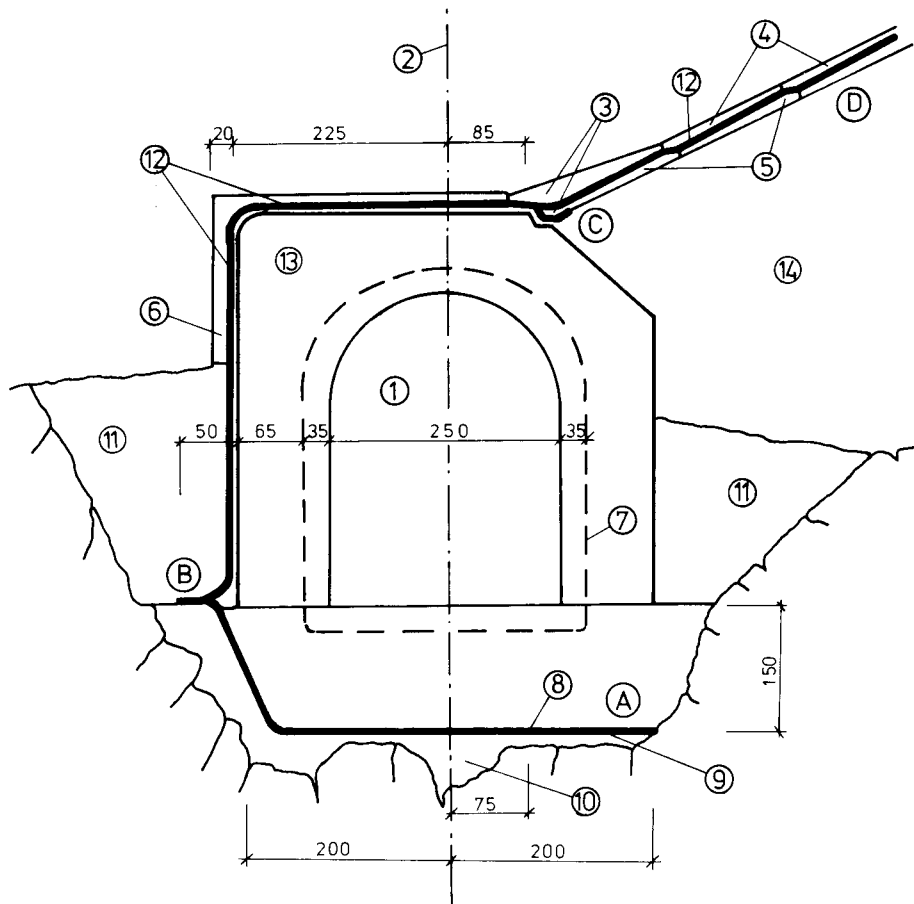


BARRAGE DE LANDSTEJN - LANDSTEJN DAM

Détail A : Jonction de la feuille avec la galerie d'injection
Connection of foil with the grouting gallery

Détail B : Jonction de la feuille avec le mur anti-batillage
Connection of foil with the wave wall

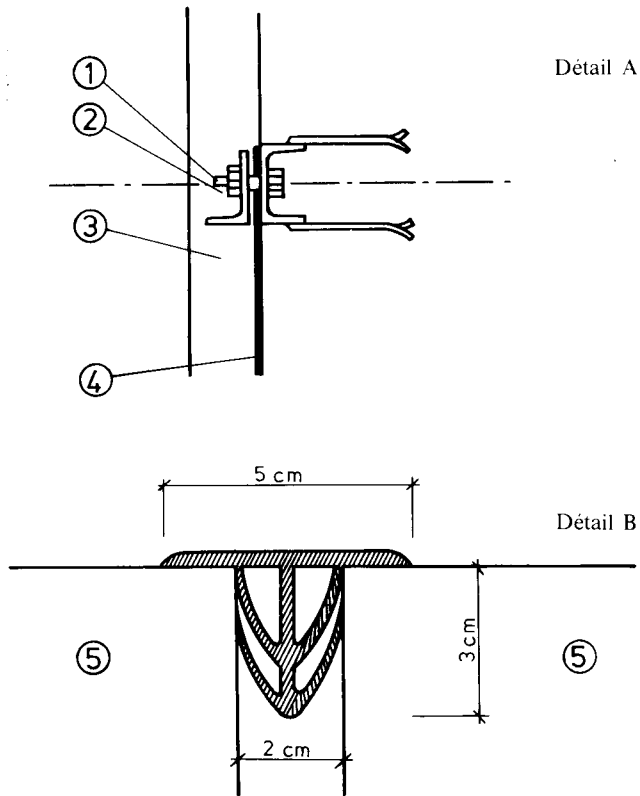
- | | | |
|---------------------------------------|------|---|
| Béton en place | (1) | <i>Covering-infill under concrete and over concrete</i> |
| Waterstop en P.V.C. | (2) | <i>P.V.C. waterstop</i> |
| Feuille B.B. 1.1 mm | (3) | <i>Foil B.B. 1.1 mm</i> |
| Plaques préfabriquées | (4) | <i>Under precast panel and over pr.p.</i> |
| Macadam compacté | (5) | <i>Compacted macadam paving</i> |
| Gravier compacté autour de la galerie | (6) | <i>Compacted gravel around the gallery</i> |
| Corps du barrage | (7) | <i>Dam body</i> |
| Waterstop caoutchouc | (8) | <i>Waterstop (rubber)</i> |
| Galerie d'injection | (9) | <i>Grouting gallery</i> |
| Mur anti-batillage | (10) | <i>Wave wall</i> |



BARRAGE DE LANDSTEJN - LANDSTEJN DAM

Mise en place de la feuille :	Placing of foil :
A-B : 1. Phase	A-B : 1. Stage
B-C : 2. Phase (suivant A-B)	B-C : 2. Stage (following A-B)
C-D : 3. Phase (suivant B-C)	C-D : 3. Stage (following B-C)

- | | |
|---|---|
| Galerie d'injection | (1) Grouting gallery |
| Axe de la galerie | (2) Axis of grouting gallery |
| Béton en place | (3) Upper concrete placing and under concrete placing |
| Élément en béton préfabriqué sup. | (4) Upper precast panel |
| Élément en béton préfabriqué inf. | (5) Lower precast panel |
| Béton armé | (6) Reinforced concrete |
| Waterstop (Caoutchouc) | (7) Waterstop |
| Lame de métal | (8) Cover metal plate |
| Papier de goudron + feuille + pap. d. goudron | (9) Black roofing + foil + black roofing |
| Béton de remplissage | (10) Fill concrete |
| Béton maigre | (11) Lean concrete |
| Feuille BB | (12) Foil BB |
| Béton voûte de la galerie, armé | (13) Reinforced concrete for gallery arch |
| Corps du barrage | (14) Dam body |

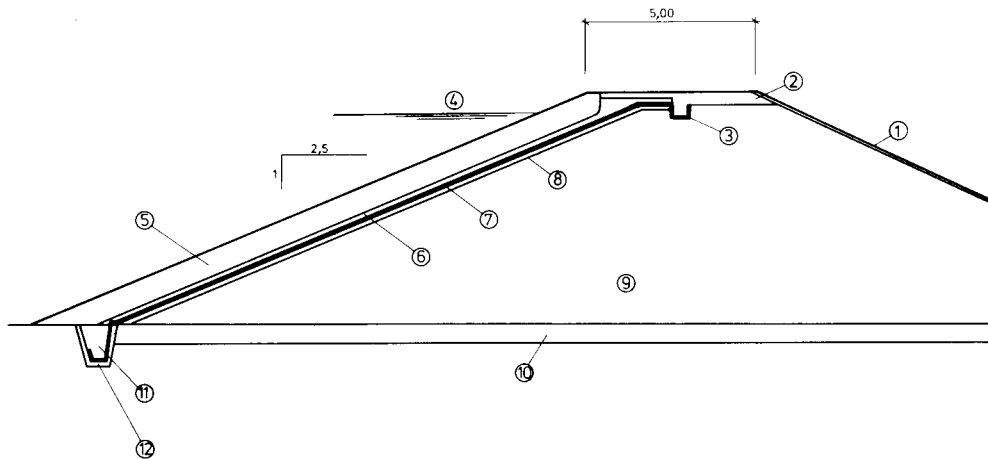


BARRAGE DE LANDSTEJN – LANDSTEJN DAM

Détail A : Fixation de la feuille sur la galerie
Fixing of foil on gallery

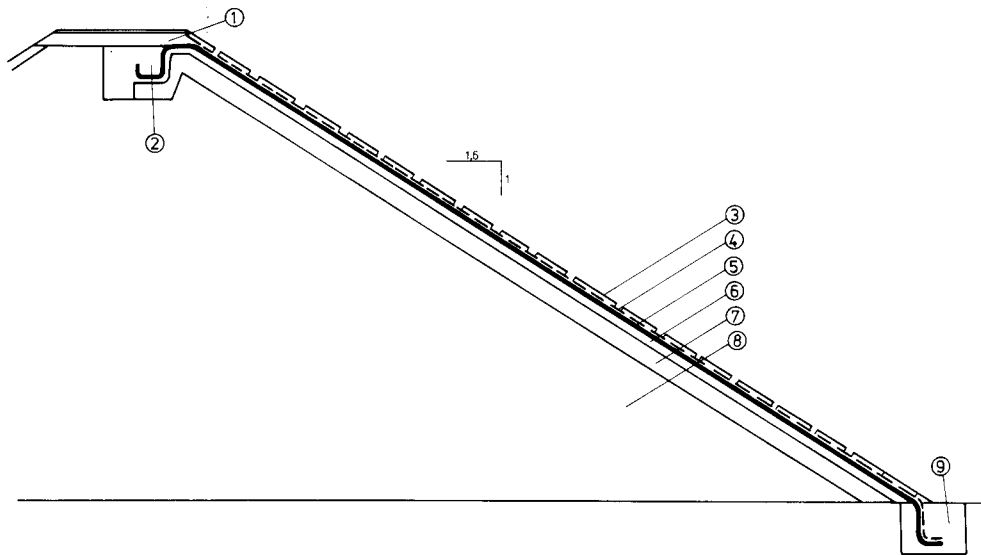
Détail B : Joint des dalles en PCV
Slab joint by P.V.C.

- Tige filetée (1) *Screw*
- Écrou (2) *Nut*
- Béton (3) *Concrete placed in situ*
- Ruban de caoutchouc, collé avec la feuille (4) *Rubber tape sticked with the foil*
- Éléments préfabriqués supérieurs (5) *Upper precast panels*



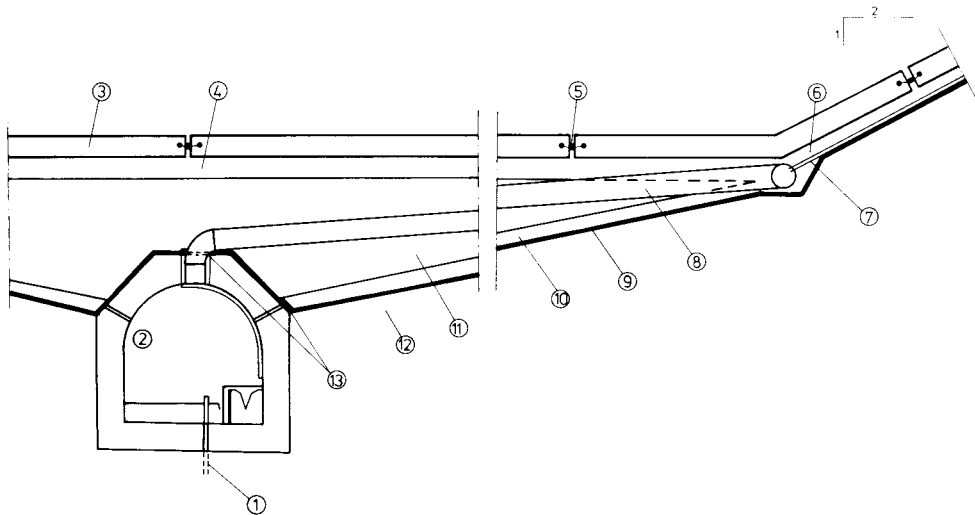
BARRAGE DE MIEL - FRANCE (Corrèze) - MIEL DAM - FRANCE (Corrèze)
Coupe transversale - Cross section

- | | |
|--|---|
| Terre végétale | (1) Top soil |
| Remblai calibré, éléments < 20 mm | (2) Fill with grain size < 20 mm |
| Tranchée d'ancrage 0,40 × 0,40 cm | (3) Anchoring trench |
| Côte des plus hautes eaux : 508,50 | (4) Max. water level in operating state |
| Enrochements | (5) Rockfill |
| Protection contre les enrochements et la lumière, gravier roulé 5/30, ép = 20 cm | (6) Protective layer by compacted gravel, Ø 5-30 mm, thickness 20 cm; for distress by rocks and U.V.-Radiation |
| Etanchéité Butyl ép = 1 mm | (7) Butyl-revetment, 1 mm thick |
| Sable et gravier ép = 20 cm | (8) Sand and gravel layer, 20 cm thick |
| Remblai compacté - Gorre tout-venant de ballastière | (9) Compact raw gravel fill |
| 1 drain tous les 10 m, constitué par des saignées de 0,50 × 0,50, remplies de graviers 20/60 | (10) 1 Gravel filled drain-trench for 10 m, 50 × 50 cm, grain size 20-60 mm |
| Tranchée parafouille exécutée dans le rocher au brise béton | (11) Cut off wall |
| Revêtement des parois béton à 300 kg. Remplissage béton à 150 kg. Profondeur sur radier 1,20 m, largeur au fond 0,40, en tête, 1,00 après revêtement | (12) Wall lining with concrete each 300 kg cement/m ³ . Fill with concrete each 150 kg cement/m ³ . Depth up to invert 1,20 m, wideness below 40 cm, above 1,0 m accomplished |



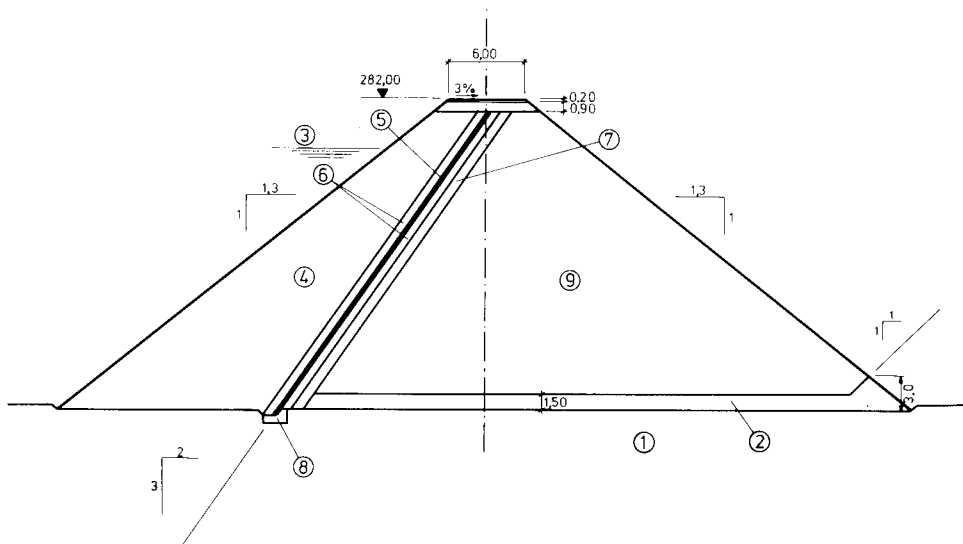
BARRAGE DE NERIS - FRANCE (Allier) - *NERIS DAM - FRANCE (Allier)*
 Schéma du dispositif d'étanchéité - *Scheme of revetment*
 Coupe transversale - *Cross section*

- | | | |
|--|-----|---|
| Terre | (1) | <i>Soil</i> |
| Ancrage en crête | (2) | <i>Anchor beam on the top</i> |
| Dalles préfabriquées 0,80 × 1,0 m, ép = 4 cm | (3) | <i>Prefabricated screens 0.8 × 1.0 m, 4 cm thick</i> |
| Non tissé | (4) | <i>Glass fabric (BIDIM)</i> |
| Butyl, ép = 15/10 mm | (5) | <i>Butyl membrane, 1.5 mm thick</i> |
| Enrobé ouvert à froid, ép = 3-4 cm | (6) | <i>Cold open-graded bituminous concrete, 3-4 cm thick</i> |
| Gravier 40/60 mm | (7) | <i>Gravel, Ø 40-60 mm</i> |
| Enrochement | (8) | <i>Rockfill</i> |
| Béton (mur parafouille) | (9) | <i>Concrete (cut off wall)</i> |



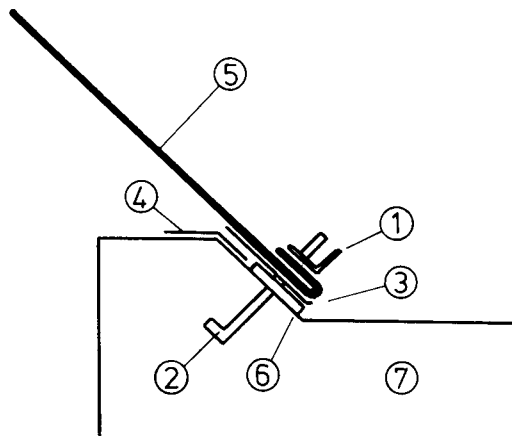
RÉSERVOIR DE LA COCHE - FRANCE (Savoie) - LA COCHE DAM - FRANCE (Savoie)
 Détails du drainage - Details of drain

- | | | |
|------------------------------------|------|--|
| Tubes piézo-métriques | (1) | Piezometers |
| Galerie de réception des drains | (2) | Drainage gallery |
| Dalle béton armé, épaisseur 30 cm | (3) | Reinforced concrete screens, 30 cm thick |
| Béton drainant ép. 30 cm | (4) | Porous concrete for drain, 30 cm thick |
| Garniture waterstop | (5) | Joint sealing strip |
| Béton drainant ép. 20 cm | (6) | Porous concrete for drain, 20 cm thick |
| Tube drainant crépiné, Ø 60 mm | (7) | Drain pipe plastered, Ø 60 mm |
| Collecteur crépiné, Ø 290 mm | (8) | Collecting drain - plastered, Ø 290 mm |
| Étanchéité profonde (P.V.C., armé) | (9) | Deep sealing (P.V.C.) |
| Matériaux de transition | (10) | Transition layer |
| Matériaux drainants | (11) | Drain layer |
| Terrain de fondation compacté | (12) | Compacted basement |
| Collerettes | (13) | Water collecting pipes |



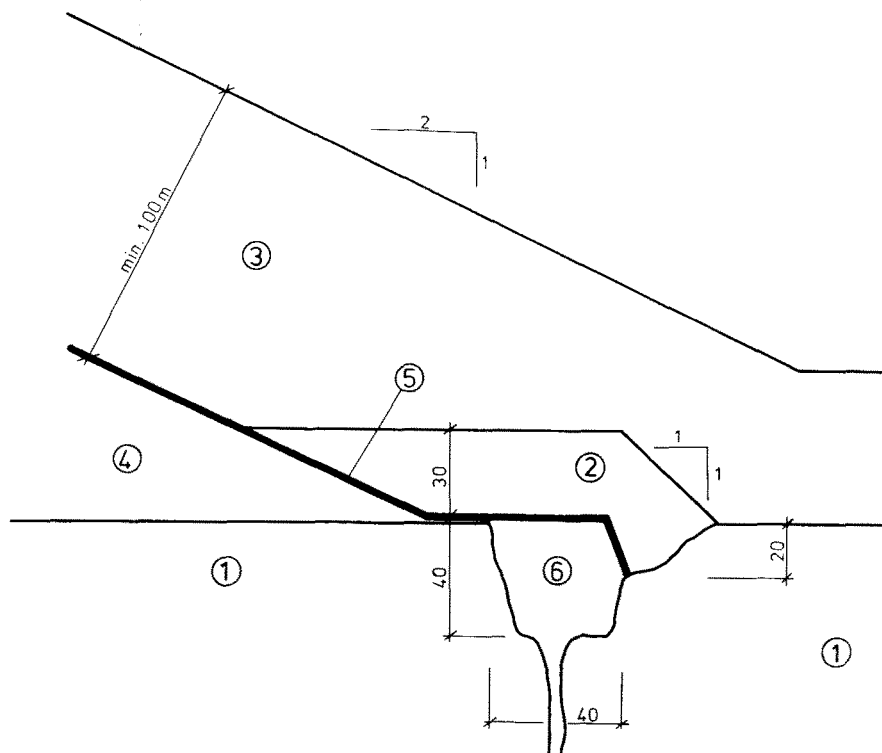
BARRAGE D'ODIEL - ESPAGNE - ODIEL DAM - SPAIN
Coupe transversale - Cross section

- | | | |
|-------------------------------------|-----|--------------------------------------|
| Fondations | (1) | Foundation area |
| Zone 3 (drain) | (2) | Zone 3 (Drainage) |
| Retenue normale | (3) | Normal water level |
| Zone 1 (remblai) | (4) | Zone 1 (fill) |
| Membrane d'étanchéité (Saraloy 660) | (5) | Membrane waterproofing (Saraloy 660) |
| Zone A (sable) | (6) | Zone A (sand) |
| Zone B (gravier filtrant) | (7) | Zone B (drain gravel) |
| Mur parafouille en béton | (8) | Concrete cut off wall |
| Zone 2 (remblai) | (9) | Zone 2 (fill) |



BARRAGE D'ODIEL - ESPAGNE - *ODIEL DAM - SPAIN*
 Détail de la fixation de la membrane - *Detail of fixing of the membrane*

- | | |
|---|--|
| <i>Plaque d'acier rectangulaire</i> | (1) <i>Angle iron</i> |
| <i>Boulon d'ancrage</i> | (2) <i>Mooring screw</i> |
| <i>Membrane auxil. larg. 400 mm</i> | (3) <i>Auxiliary membrane, 400 mm wide</i> |
| <i>Membrane auxil. larg. 500 mm, lier 3 et 4 avec du xylène</i> | (4) <i>Auxiliary membrane, 500 mm wide, (3) and (4) are cemented with Xylene</i> |
| <i>Membrane d'étanchéité (Saraloy 660)</i> | (5) <i>Membrane waterproofing (Saraloy 660)</i> |
| <i>Caoutchouc épais. 5 mm, larg. 140 mm</i> | (6) <i>Rubber, thickness 5 mm, 140 mm wide</i> |
| <i>Mur parafouille en béton</i> | (7) <i>Concrete cut off wall</i> |



DIGUES DE LA CHUTE D'ALTENWÖRTH (DANUBE) – DAMS ALTENWÖRTH (DANUBE)

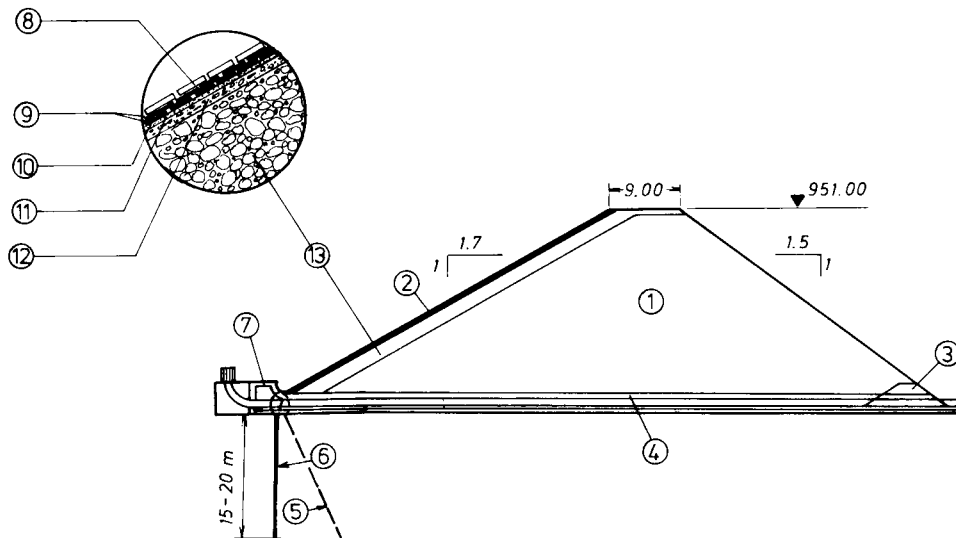
Disposition de la membrane en P.V.C. sur la crête de la paroi moulée

Placing of foil on the diaphragm crest

- | | | |
|-----------------------------|-----|----------------------------------|
| Terrain naturel | (1) | <i>Original ground</i> |
| Béton B 80 | (2) | <i>Concrete B 80</i> |
| Protection du talus (sable) | (3) | <i>Slope protection (sand)</i> |
| Remblai (gravier) | (4) | <i>Fill (gravel)</i> |
| Membrane (0,8 mm) en P.V.C. | (5) | <i>Foil (0.8 mm) by P.V.C.</i> |
| Paroi moulée, type ETMO | (6) | <i>Diaphragm (slurry trench)</i> |

Remarque : Il s'agit des digues le long du Danube, d'environ 20 km de longueur.

Remark : This are dykes along Danube river, with a length of approximately 20 km.



BARRAGE OSPEDALE - FRANCE (Corse) – OSPEDALE DAM - FRANCE (Corsica)
 Détail du revêtement d'étanchéité – Detail of upstream facing

- | | | |
|---|------|--|
| Corps du barrage (Enrochement) | (1) | Dam body (Rockfill) |
| Revêtement du talus amont | (2) | Upstream facing |
| Blocage pied de talus (Enrochement) | (3) | Toe weight (rocks) |
| Ballast | (4) | Ballast layer |
| Voile de drainage | (5) | Drainage curtain |
| Voile d'injection | (6) | Grout curtain |
| Chambre de vannes | (7) | Valve chamber |
| Pavés autobloquants, épaisseur 8 cm | (8) | Indented paving set, 8 cm thick |
| Feutre du type « BIDIM » | (9) | Felt "BIDIM" |
| Membrane mince d'étanchéité (Type Coletanche NTP 3) | (10) | Thin and impervious membrane (Type Coletanche NTP 3) |
| Enrobé à froid 3/6, épaisseur 5 cm | (11) | Cold open-graded bituminous concrete layer 3/6, 5 cm thick |
| Ballast (Couche de forme) 25/50, ép. 5-10 cm | (12) | Crushed material 25/50, 5-10 cm thick (Blinding layer) |
| Ballast (Couche support) 25/120, ép. 200 cm | (13) | Crushed material 25/120, 200 cm thick (supporting layer) |

IMPRIMERIE LOUIS-JEAN

Publications scientifiques et littéraires

TYPO - OFFSET

05002 GAP - Telephone 51.35.23 -

Dépôt légal 544-1981

BULLETIN 38

Texte français - French text

-page 6 - 13° ligne

lire (cf 2-3-1) au lieu de (cf 1-3-1)
read instead of

-page 10 - 2-1-2

lire "Additifs aux.." au lieu de "Additifs aus.."
read instead of

-page 20 - 1° ligne

lire "Par contre" au lieu de "par contre"
read instead of

-page 27 - 3-2-1 a) 3° ligne

lire "dépourvu" au lieu de "dépourvus"
read instead of

-page 28 - 3-2-2 c)

lire "remplacement" au lieu de "remblaiement"
read instead of

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>