

## L'EMPLOI DES GEOMEMBRANES DANS LES ILES DE TENERIFE ET DE LA PALMA (ILES CANARIES)

### GEOMEMBRANES IN TENERIFE AND LA PALMA ISLANDS (CANARY ISLANDS)

Daniel FAYOUX<sup>1</sup>, Gaétan POTIE<sup>2</sup>

<sup>1</sup> APPLIGEO, Les Ormes, FRANCE

<sup>2</sup> ALKOR DRAKA, Roissy en France, FRANCE

**RÉSUMÉ** – Les îles Canaries sont situées près des tropiques, à faible distance de la côte marocaine. Le sol de ces îles volcaniques est très perméable. L'eau doit donc être captée et stockée dans des réserves artificielles. Dans les grandes îles occidentales, Tenerife et La Palma, où la culture de la banane exige des quantités d'eau d'irrigation très importante, 24 grands réservoirs ont été construits à partir de 1983 avec divers types de géomembranes, toutes exposées aux UV. La communication présente le schéma hydraulique de chacune des îles, certains ouvrages réalisés, les systèmes d'ancrage pour la tenue au vent, l'intérêt économique et la durabilité de ces géomembranes exposées aux UV en climat tropical, en particulier pour les géomembranes PVC (80 % des membranes en place).

**Mots-clés** : géomembranes, durabilité, ancrages sur talus, tenue au vent, résistance aux UV

**ABSTRACT** – The Canaries Islands are situated, offshore from Morocco southern coast and close to the tropical line. The soil in each island is very permeable. It is then necessary to use artificial waterproofing to store water. Since 1983, in western islands, Tenerife and La Palma islands, 24 large reservoirs are built, and waterproofed with different kind of geomembranes, exposed to the sun. The paper presents the general approach from an economical and hydrologic point of view, shows some typical works and gives also some information on design for the anchoring against wind effect. And the paper present also the considerable experience about durability of geomembrane exposed to the sun in tropical conditions

**Keywords:** géomembranes, durability, anchoring on slopes, wind uplift, UV resistance

### 1. Introduction

Les Iles Canaries sont situées au large des côtes africaines (environ 100 km), à proximité de la ligne des tropiques (environ 600 km au nord). Cet ensemble, d'origine volcanique, est constitué par 7 îles principales qui s'inscrivent dans un rectangle de 550 km d'est en ouest et de 200 km, du nord au sud.

Le climat de ces îles varie en fonction de leur situation et de l'exposition des côtes : sec pour les îles les plus proches de la côte africaine et humide pour les îles les plus occidentales.

Sur le plan économique, outre le tourisme, la production de la banane constitue une ressource très importante, en particulier pour les îles de Ténériffe et de la Palma (3257 Ha sur la seule île de la Palma).

Ce type de culture est très exigeant en irrigation et absorbe, sur l'île de la Palma, 86 % des ressources hydriques utilisées en agricultures. En effet, elle nécessite un arrosage de 15.600 m<sup>3</sup>/an/Ha, (4,2 l/m<sup>2</sup>/jour), pour une production moyenne de 60 tonnes/an, soit environ 0,078 € par kg de banane produite, compte tenu des techniques modernes de stockage de l'eau, sensiblement 3 fois moins cher que les techniques traditionnelles. (Petits bassins individuels en béton).

Pour assurer cette irrigation, il est nécessaire de récolter et de stocker l'eau. Or, les sols de ces îles sont extrêmement perméables, le ruissellement est faible et la plupart des eaux de pluies se perdent par infiltration. Traditionnellement, les eaux provenaient de quelques sources et, à partir du début du 20<sup>ème</sup> siècle, de galeries drainantes creusées dans le rocher. Pour le stockage, il fallait faire appel à des réservoirs de faible capacité, à ciel ouvert, en maçonnerie ou en béton armé. Ces stockages ont été largement développés par les propriétaires privés. Mais ces aménagements étaient coûteux et ne suffisaient plus pour un développement dans le contexte très concurrentiel au plan international.

Suite à la décentralisation, chaque île est administrée par un conseil insulaire (Cabildo). Chaque île ayant des situations hydrauliques différentes, avec des caractéristiques et des problèmes propres, la gestion de l'eau est assurée par un Conseil Insulaire de l'Eau propre à chaque île (Consejo Insular de Aguas de Tenerife et Consejo Insular de Aguas de La Palma, etc.). Ces conseils regroupent à la fois le

secteur public et le secteur privé, qui est le principal destinataire et utilisateur de la ressource, et qui doit donc être impliqué avec le secteur public dans la gestion hydraulique.

A la fin des années 1970 début 1980, il est apparu la nécessité et l'intérêt de développer un ensemble de grands bassins, combiné à un réseau de canaux, pour augmenter la ressource en eau utilisable et pour diminuer son coût. Le coût des stockages pour les grands bassins étanchés par géomembrane est de l'ordre de 6 à 9 €/m<sup>3</sup> (à La Palma) contre 18 €/m<sup>3</sup> pour les réserves traditionnelles en béton. De plus, dans ces îles, les pertes par évaporation, mesurées sur les bassins, sont de l'ordre de 1200 à 1500 mm/an (valeur moyenne de l'ordre de 1200 mm à La Palma). Les pertes par évaporation sont donc, pour un même volume stocké, nettement plus importantes dans des stockages de faible profondeur que dans des bassins profonds.

Chaque île a donc développé son propre plan d'aménagement d'ensemble. Mais les démarches ne sont pas isolées. Les expériences sont largement partagées. De plus, le Centre d'Etude et d'Expérimentation des Travaux Publics (CEDEX) suit plus de 80 ouvrages importants étanchés par géomembrane, répartis sur l'ensemble du territoire espagnol, et en particulier les bassins des Canaries, dont les plus anciens ont plus de 20 ans. Ceux-ci sont soumis à des prélèvements et essais périodiques. (Voir en particulier « Jornadas sobre impermeabilización con materiales sintéticos, » 2004 La Palma, organisé par le CEDEX et le Cabildo Insular de La Palma ) et représentent donc une base expérimentale très importante. On constate, sous ce climat sévère, que des géomembranes de même "famille" chimique, mais provenant de producteurs différents, peuvent avoir des comportements très différents, en particulier au niveau durabilité.

## 2. Tenerife

### 2.1. Ressources en eau

La pluviométrie moyenne est de 425 mm/an soit un apport moyen de pluie sur l'ensemble de l'île de 865 Mm<sup>3</sup>/an. L'évapotranspiration totale de l'île est estimée à 606 Mm<sup>3</sup>/an (298 mm/an), soit 70 % de la pluviométrie. De plus, la forte perméabilité entraîne un ruissellement très faible, de sorte que l'approvisionnement en eau se fait à plus de 80 % à partir des eaux souterraines, par 1047 galeries d'une longueur totale de 1621 km et 437 puits de profondeur moyenne de 120 m. La ressource exploitée représente 227 Mm<sup>3</sup>/an. L'usage agricole représente, en 2000, 45 % de cette ressource.

### 2.2. Aménagements

L'infrastructure hydraulique Publique est gérée par BALTEN (Balsas de Tenerife). Cet organisme gère 17 bassins de capacité totale 4,1 Mm<sup>3</sup>, dont 15 sont imperméabilisés par géomembranes, pour une surface totale de 380.000 m<sup>2</sup>. Le tableau I montre la répartition des produits par bassins et surface.

Ces ouvrages ont été réalisés à partir de 1983 avec différentes géomembranes, (mais plus de 80% des géomembranes installées sont en PVC, dont la durabilité a été variable en fonction des producteurs, des formulations, et généralement du prix. Les résultats vont du meilleur et parfois au pire).

On compte en outre plus de 9000 réservoirs en béton ou maçonnerie, d'une capacité unitaire moyenne de 1.600 m<sup>3</sup> et qui stockent un total de 13 Mm<sup>3</sup>.

Tableau I : répartition des bassins – Ile de Tenerife

Nature de géomembrane	Nombre de bassins	Surface totale	Pourcentage
PVC	9	310.000 m <sup>2</sup> dont 2 supérieurs à 80.000 m <sup>2</sup>	81,6 %
PEHD	5	60.000 m <sup>2</sup>	15,8 %
EPDM	1	10.000 m <sup>2</sup>	2,6 %
Total	15	380.000 m <sup>2</sup>	100 %

### 2.3. Ouvrages typiques : Le bassin de Montaña Del Taco

Le bassin le plus emblématique de Tenerife est le bassin de Montaña Del Taco (figure 1 et 2). Ce bassin est situé au sommet d'un cône volcanique, dans le cratère. Construit entre avril 1983 et octobre 1985, il a une capacité de 821.700 m<sup>3</sup>, 13,70 m de hauteur d'eau. Le système d'étanchéité est mixte :

Sur les talus, 37.600 m<sup>2</sup> de géomembrane PVC renforcée de tissu polyester de 0,9 mm (tissus enduit) installé sur une couche de béton poreux et un géotextile de polypropylène.

Sur le fond, 47.400 m<sup>2</sup> d'argile compactée de 1,5 m d'épaisseur.

Il faut remarquer que la géomembrane est plus mince que celles installées actuellement. Néanmoins, la géomembrane a assuré sa fonction jusqu'à maintenant (avec cependant une protection « parasol » installée en 1994 sur la partie haute du quart supérieur nord (exposé au sud), pour 2 % du coût des travaux initiaux.

Après 22 ans, en 2005, la géomembrane d'origine a été remplacée par une nouvelle géomembrane PVC ALKORPLAN armée 1,5 mm, identique à celle utilisée pour Barlovento. Le remplacement a été total, y compris dans la partie inférieure, protégée des UV par l'eau stockée et qui ne nécessitait pas un remplacement immédiat.



Figure 1 : le bassin de Montaña Del Taco. Vue générale. Le bassin est en clair au sommet du volcan.



Figure 2 : Vue du bassin de Montaña Del Taco

## 3. Ile de La Palma

### 3.1. Ressources en eau

La pluviométrie moyenne est de 740 mm/an. D'après le "Plan Hydrologique Insulaire" le bilan hydrologique est estimé comme suit : Apport moyen de pluie sur l'ensemble de l'île de 518 Mm<sup>3</sup>/an. - Evapotranspiration totale de l'île 238 Mm<sup>3</sup>/an. - Ruissellement superficiel de l'ordre de 15 Mm<sup>3</sup>/an (les estimations sont légèrement divergentes) - Infiltration dans le sol 260 Mm<sup>3</sup>/an.

L'approvisionnement en eau se fait là aussi en majorité à partir des eaux souterraines, par 264 km de galeries et 5 km de puits de grand diamètre avec 11 km de galeries en fond des puits. Le prélèvement total annuel est de 82,5 Mm<sup>3</sup>/an.

Le captage des eaux superficielles est utilisé partiellement dans la partie Nord-est pour l'alimentation de la lagune de Barlovento, mais la seule alimentation à partir des eaux superficielles par les ouvrages existants n'est que de 0,5 à 1 Mm<sup>3</sup>/an, ce qui est insuffisant pour cet ouvrage. De nouveaux ouvrages de prise et d'amenée doivent permettre de multiplier cet approvisionnement par 3 et d'assurer le bon remplissage de l'ouvrage.

Le torrent de Las Angustias, coulant au fond de la Caldeira de Taburiente, a des apports sensiblement plus importants : environ 26 Mm<sup>3</sup>/an dont 16 ± 3 (en fonction de la pluviométrie) sont captés. La récupération de ces eaux est assez difficile, à cause de la grande perméabilité des sols, la topographie très encaissée du site, avec des pentes abruptes, des transports solides très importants, et des crues très brutales. Des nouveaux aménagements doivent se faire, mais font l'objet de longues études.

L'usage agricole représente 92 % de l'eau utilisée à la Palma. (Surface irriguée 4300 Ha, dont 3300 Ha pour la culture de la banane, qui consomme 86 % de l'eau d'irrigation)

### 3.2. Aménagements

Le développement de l'irrigation a d'abord commencé, là aussi, par la construction de petits réservoirs privés, en béton ou en maçonnerie, de profondeur moyenne 4,5 m. On en compte plus de 5900, dont seulement 2000 ont une capacité supérieure à 1000 m<sup>3</sup>, mais qui représentent, avec les ouvrages récents, plus de 98 % du volume stocké.

Les ouvrages construits depuis 1990 sont beaucoup plus grands et étanchés par géomembranes. Ceci a permis d'abaisser le coût du m<sup>3</sup> stocké de 18 €/m<sup>3</sup> pour les petits ouvrages à une fourchette de 6 à 9 €/m<sup>3</sup> pour les ouvrages récents. On compte 9 bassins publics, d'une capacité totale de 4,43 Mm<sup>3</sup> (voir tableau II) et 5 bassins privés de capacité variant entre 22.000 et 99.000 m<sup>3</sup> et totalisant 0,23 Mm<sup>3</sup>. Le stockage total en grands bassins est donc de 4,6 Mm<sup>3</sup>, dont 95 % dans les bassins publics. Le bassin de Barlovento représente à lui seul 67 % du stockage en grands bassins.

Le tableau II montre que sur les 9 bassins, 7 sont réalisés avec du PVC. Là aussi, la formulation joue sur la durabilité. La formulation utilisée à Barlovento ayant donné satisfaction et la membrane étant toujours dans un état satisfaisant en 2004, cette formulation a été utilisée pour les derniers bassins réalisés en 2004, de même que pour la rénovation de Montaña Del Taco à Tenerife.

Tableau II : Bassins de La Palma (Gérés par le Public)

Nom	Commune	Capacité (m <sup>3</sup> )	Nature GMB	Date construction
Laguna de Barlovento	Barlovento	3 120 000	PVC-P	1991
Dos Pinos	Los Llanos de Arid.	384 000	EPDM	1999
Adeyahamen	San Andrés y Sauces	326 000	PVC-P	1994
Bediesta	San Andrés y Sauces	170 000	PVC-P	2004
Balsa de Puntagorda	Puntagorda	109 440	PVC-P	1990
Cuatro Caminos	Los Llanos de Arid.	108 000	PEHD	1990
Montaña del Arco	Puntagorda	107 200	PVC-P	2004
Las Lomadas	San Andrés y Sauces	96 960	PVC-P	1995
Aduares	Brena Alta	13 440	PVC-P	
<b>Total bassins publics</b>		<b>4 435 040</b>		

### 3.3. Ouvrages typiques : Le bassin de Barlovento.

Ce bassin est en bordure de mer, à 700 m d'altitude. Il est destiné à l'irrigation. L'étanchéité de l'ouvrage, initialement réalisée par des matériaux naturels en 1976, n'a jamais fonctionné. En effet, l'étanchéité des 6 m d'argile volcanique compactée était profondément altérée par des fissures de retrait. Ces fissures ne pouvaient pas se refermer lors d'une mise en eau, l'écoulement de celle-ci les maintenant ouvertes. Toutes les tentatives pour restaurer l'étanchéité de cette couche d'argile ont été un échec. L'étanchéité a donc été refaite en 1991/1992 à l'aide d'une géomembrane en PVC ALKOR DRAKA.

Les caractéristiques principales de l'ouvrage sont :

- capacité : 3,12 millions de m<sup>3</sup>
- Superficie : 250.000 m<sup>2</sup> (fond : 80.000 m<sup>2</sup> ; talus: 170.000 m<sup>2</sup>)
- Profondeur maximale étanchée : 27 m

*Structure en fond de bassin :*

Géomembrane PVC homogène 1,5 mm, non protégée, disposée sur un géotextile aiguilleté de 280 g/m<sup>2</sup>, une couche support de sable compactable de 0,1 m, un géotextile aiguilleté de 500 g/m<sup>2</sup>, une couche drainante de 0,4 m, complétée par un réseau de collecteurs et exutoires, et un géotextile aiguilleté de 500 g/m<sup>2</sup>, imprégné d'une émulsion de bitume pour respecter les conditions de filtre par rapport au support argileux. Cette structure (y compris le choix du PVC) a été étudiée en prévision de tassements différentiels pouvant atteindre 1 m et de la pression hydrostatique importante.

Une auscultation du fond de bassin est assurée par une série de tassomètres et de piézomètres.



Figure 3 : le bassin de Barlovento en 2004, 13 ans, Géomembrane PVC, 250.000 m<sup>2</sup>, diamètre 600 m

*Structure sur talus:*

La pente des talus est de 2,75 (horizontal) pour 1 (vertical) Les talus sont revêtus sur une hauteur de 20 m par une géomembrane non protégée en PVC armé 1,5 mm, placée sur un géotextile aiguilleté de 500 g/m<sup>2</sup> et une couche de béton poreux. Cette dernière assure, outre le drainage sous la membrane, la résistance mécanique du support à l'action des vagues (fetch de l'ordre de 600 m). La stabilité au vent est obtenue par des ancrages en tranchées, remplies par du béton poreux : ancrage en tête, ancrage en pied, et 3 à 4 ancrages intermédiaires sur talus. L'ouvrage a subi de fortes tempêtes avec des vents de plus de 140 km/h, sans dommages. Les soudures horizontales en talus sur ces lignes d'ancrage résistent également parfaitement dans le temps (ce qui est une spécificité des géomembranes PVC).

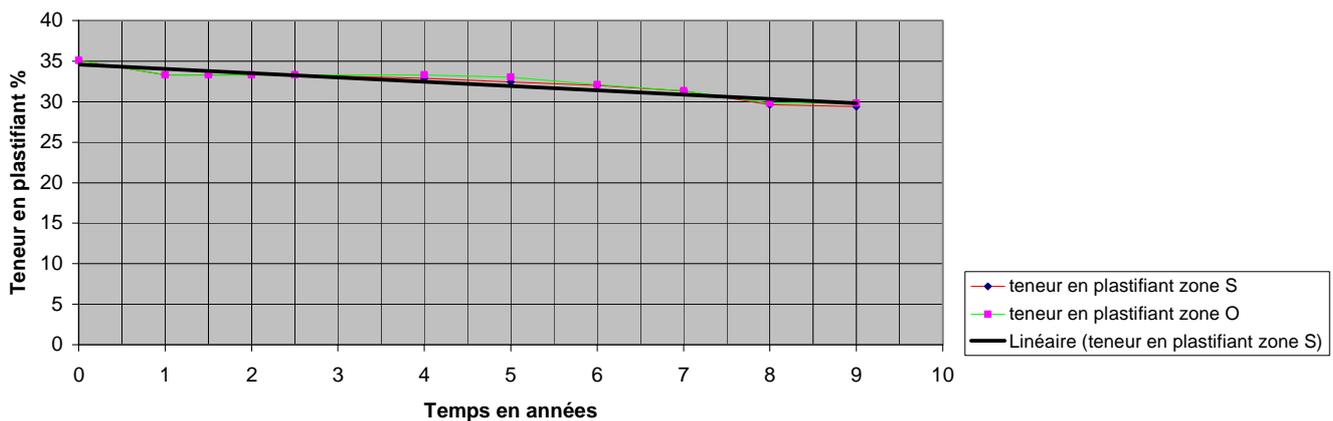
*Comportement à long terme de la géomembrane PVC.*

Figure 4 : Bassin de Barlovento – Teneur en plastifiant en fonction du temps (en années)

Après 13 ans d'exposition au climat tropical, elle reste souple avec des pertes de plastifiant limitées, garantissant une longue durée de vie. La géomembrane fait l'objet d'un suivi régulier par l'Administration espagnole (Blanco et al., 2000) et se comporte de façon très satisfaisante. Un rapport du CEDEX montre l'évolution sur 9 ans. La membrane passe toujours avec succès le test de pliage à froid à -20°C. Les caractéristiques mécaniques sont très stables : la résistance à la rupture est pratiquement inchangée (environ 1400 N/50 mm dans le sens longitudinal  $\pm 7$  %). L'allongement à la rupture semble montrer une légère augmentation, passant de 23 à 25 % en sens longitudinal et 25 à 28 % en sens transversal. Il faut noter qu'il s'agit d'une géomembrane armée d'une grille polyester, qui impose la déformabilité. Les tests de traction sur soudure montrent des résultats constants. Les courbes en figure

4 montrent la variation de plastifiant sur des prélèvements faits sur le sur le couronnement de l'ouvrage à l'est et à l'ouest du bassin et testés par l'administration espagnole. Les zones prélevées ont toujours été hors d'eau et ont donc subi l'exposition maximum. En 9 ans, la teneur en plastifiant est passée de 35,1 à 29,8 % (zone Ouest) ou 29,4 % (zone Sud). Il faut noter que, les géomembranes PVC assurent leur fonction jusqu'à une teneur en plastifiant de l'ordre de 20 %. Ceci laisse donc une longue marge de durabilité. Cette formulation est d'ailleurs demandée par l'Administration de l'île pour les nouveaux ouvrages.

### 3.4. Ouvrages typiques : Les bassins de Adeyahamen et de Bedestia

Les sources de Marcos y Cordero sont parmi les plus importantes de l'île. Jaillissant à 1350 m d'altitude, leurs eaux ont été captées pour la production hydroélectrique par une conduite forcée allant de la cote 1100 jusqu'à une usine hydroélectrique située à la cote 350. Pour récupérer ces eaux en vue de l'irrigation, il était nécessaire de prévoir un stockage de 0,5 à 1 Mm<sup>3</sup>. Le sol à proximité de l'usine était trop perméable. De plus, il n'est pas possible d'implanter de tels bassins dans des lits de torrent pouvant avoir des crues importantes. Le stockage doit de plus se trouver à un niveau altimétrique restreint (au dessous de la centrale hydroélectrique et au dessus de la zone irriguée).

#### 3.4.1. Adeyahamen

Après de longues investigations, le site du bassin d'Adeyahamen a été retenu, à défaut d'autres sites possibles, comme le moins « compliqué » : situé dans un petit thalweg sans bassin versant important, il présente cependant des pentes longitudinales et transversales très fortes. Pour obtenir une capacité de 326.000 m<sup>3</sup>, il a été nécessaire de surcreuser très profondément le terrain, (les parois verticales creusées au dessus du chemin de couronnement du bassin ont plusieurs dizaines de mètres), de donner des pentes très raides aux talus (1,5/1) et de fermer le bassin par une digue imposante atteignant 40 m.



Figure 5 : Vue des bassins d'Adeyahamen et Bedestia réalisés. On remarque l'importance des excavations.



Figure 6 : bassin Adeyahamen partiellement vide ; Profondeur 26 m, pentes 1,5/1. On remarque le premier ancrage sur talus

Le bassin a les caractéristiques suivantes :

Profondeur : 26 m

Pente des talus : 1,5/1

Géomembrane : sur talus : PVC armé grille polyester 1,5 mm

Sur le fond PVC homogène 1,5 mm

Couche support drainante : constituée du haut vers le bas par :

Géotextile antipoinçonnant

Couche de béton poreux de 10 cm d'épaisseur, armé par un treillis

Un géotextile enduit de béton asphaltique à raison de 2 kg/m<sup>2</sup> pour conduire les eaux de drainage vers l'exutoire et éviter les infiltrations dans le terrain.

La géomembrane comprend 4 ancrages :

Un ancrage en tête,

2 files d'ancrages en talus : fixation sur des poutres en béton armé enterrées dans le talus (rocheux), à l'aide d'une platine boulonnée dans le massif béton. Le géotextile et la géomembrane sont disposés sous la platine et une première étanchéité est assurée par un joint compressible entre la platine et la géomembrane. L'étanchéité est confirmée par un couvre-joint en géomembrane recouvrant la platine et soudé de part et d'autre sur la membrane d'étanchéité.

L'ancrage en pied est réalisé par enfouissement de la géomembrane sous le béton poreux de la couche drainante du fond.

Les eaux de ruissellement sont captées par un grand fossé périphérique, et le drainage du fond récupère les eaux d'infiltration provenant de l'amont.

La raideur des talus, la grande profondeur du bassin et les caractéristiques du terrain, ont rendu très difficile aussi bien le terrassement que la réalisation de l'étanchéité.

### 3.4.2. Bedestia

Le site d'Adeyahaman avait été exploité au maximum, mais la capacité stockée, (326.000 m<sup>3</sup>) est insuffisante par rapport aux objectifs. Après plusieurs études et modification en fonction d'éléments apparus au cours des terrassements, le bassin de Bedestia a été réalisé au pied de la digue d'Adeyahaman. Celle-ci a été renforcée par un massif de pied montant jusqu'au niveau de la route de couronnement du bassin de Bedestia (voir photo). Ce bassin assure un stockage complémentaire de 170.000 m<sup>3</sup>, permettant d'atteindre les objectifs fixés pour la zone. Ce bassin a également été surcreusé dans les flancs et le fond du thalweg. Le talus en rive droite a du être renforcé par un soutènement en blocs cyclopéens.



Figure 7 : Bassin de Bedestia vu de l'aval On remarque sur la droite le talus subvertical creusé dans le rocher et sur la gauche le talus renforcé par un soutènement en blocs cyclopéens. On aperçoit au fond la partie supérieure du talus aval d'Adeyahaman. Profondeur : 21 m, pente des talus : 1,5/1



Figure 8 : Bassin de Bedestia vu de la crête de la digue d'Adeyahaman. La route en pied de talus correspond au sommet du massif de pied de renforcement du talus aval de la digue d'Adeyahaman. On observe à droite le renforcement de talus par un mur en blocs cyclopéen.

Les caractéristiques de l'ouvrage sont :

Profondeur : 21 m

Pente des talus : 1,5/1

Hauteur de digue : 40 m

Géomembrane : sur talus : PVC armé grille polyester 1,5 mm identique à celui de Barlovento

Sur le fond PVC homogène 1,5 mm identique à celui de Barlovento

Couche support drainante : constituée du haut vers le bas par :

Géotextile antipoinçonnant de 300 g/m<sup>2</sup>

Géosynthétique drainant

Couche de béton poreux de 15cm d'épaisseur armé par un treillis

Un géotextile enduit de béton asphaltique à raison de 2 kg/m<sup>2</sup> pour conduire les eaux de drainage vers l'exutoire et éviter les infiltrations dans le terrain.

La géomembrane comprend 2 ancrages :

Un ancrage en tête,

1 file d'ancrage en talus : fixation sur une poutre en béton armé, enterrée dans le talus (rocheux), à l'aide d'une platine boulonnée dans le massif béton. Le géotextile et la géomembrane sont disposés sous la platine et une première étanchéité est assurée par un joint compressible entre la platine et la géomembrane. L'étanchéité est confirmée par un couvre-joint en géomembrane recouvrant la platine et soudé de part et d'autre sur la membrane d'étanchéité.

D'importants dispositifs de drainage sont prévus, tant au niveau de la digue entre les 2 bassins que sous le bassin de Bedestia ;

- Drainage de la digue intermédiaire par un réseau de forages verticaux drainant d'environ 70 m de profondeur, rejoignant une couche perméable profonde.
- Drainage entre l'ancienne surface du talus aval de la digue et son nouveau massif de pied, par une couche drainante reliée à des exutoires.
- 2 forages de drainage en pied de talus amont de Bedestia
- Tranchée drainante périmétrale en pied de talus intérieur du bassin.

La réalisation de cet ouvrage (Entreprise CORSAN-CORVIAM) a été, là aussi, très difficile, en particulier par la raideur des talus et leur grande hauteur, ainsi que les nombreux dispositifs de drainage. Le volume de terrassement est très important par rapport au volume stocké, mais ceci a permis de réaliser le stockage de 0,5 Mm<sup>3</sup> nécessaire pour la région, à la cote assurant un bon fonctionnement des réseaux d'irrigation.

Notons qu'un mur de dérivation doit être construit à l'aval pour qu'en cas de rupture, les eaux et matériaux soient détournés du village en aval vers un ravin latéral, sans risque pour les biens et les personnes.

#### 4. Conclusions

Ces études et l'expérience montrent l'intérêt économique de l'emploi des géomembranes pour réaliser des stockages d'eau en sites perméable. L'expérience acquise montre aussi l'intérêt des géomembranes PVC pour des applications hydrauliques, grâce à leur résistance au poinçonnement hydraulique et à leur facilité de mise en œuvre, même dans des sites difficiles. Contrairement à certaines assertions et à certains contre-exemples dus à des produits mal étudiés et "le moins cher", elles ont aussi une grande durabilité aux UV, même en climat sévère, à condition d'être correctement formulées.

#### 5. Références bibliographiques

- Blanco M., Aguiar E., (2000) Aspectos más relevantes del comportamiento en obra de los materiales sintéticos utilizados como geomembranas impermeabilizantes en embalses ubicados en la Comunidad Autónoma de Canarias. *Ingeniería Civil*, 117/2000, 25-35.
- Fayoux, D. and Van der Syde, D. (2000) Durability of PVC-P geomembranes. Assessment after very long UV exposure. *Proceedings of 2<sup>nd</sup> European Geosynthetics Conference*, Vol. 2, 651 – 656.
- Fayoux, D. (2004) La impermeabilización del embalse de la laguna de Barlovento, Jornadas sobre impermeabilización con materiales sintéticos, *Isla de la Palma, CEDEX / Consejo Insular de Aguas de La Palma*
- Soler Licerias C. (2004) Los embalses de Adeyahamen y Bedestia, *Jornadas sobre impermeabilización con materiales sintéticos, Isla de la Palma, CEDEX*