

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed khider –Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie civil et d'Hydraulique
Référence :/2019



جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم الهندسة المدنية و الري
المرجع...../2019

Mémoire de Master

Filière : Hydraulique

Spécialité : Ouvrage Hydraulique

Thème

**Techniques de diminution du débit de fuite des
barrages par les géomembranes**

Nom et Prénom de l'étudiant :
Latreche Soufiane

Encadreur : Pr. Benmebarek Naima

Promotion Juillet 2019

Remerciements

Nous aimerions remercier avant tout, **Dieu** Clément et Miséricordieux le Tout-Puissant, de nous avoir donné la force et la puissance pour pouvoir mener ce travail à terme.

Nous remercions **Pr BENMEBAREK Naima**, notre promoteur pour l'honneur qu'il nous a fait en assurant le suivi du présent mémoire.

Enfin, Merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Dédicaces

Nous dédions ce travail

:

A mes parents ;

A mes frères et sœurs ;

A mes amis ;

A mes enseignants ;

A mes amis de la promo Hydraulique 2019.

Table des matières

Liste des figures	03
Liste des tableaux	05
Liste des abréviations	06
Introduction générale	08

I. Chapitre 01 : Etanchéité des barrages

I.1. Introduction	10
I.2. Les risques liés aux barrages.....	10
I.2.1. La rupture des barrages	10
I.2.2. Types d'organes d'étanchéité dans le corps des barrages.....	18
I.2.3. Types d'étanchéité dans les fondations.....	22
I.3. Conclusion.....	25

II. Chapitre 02 : Les géomembranes

II.1. Introduction.....	27
II.2. Définitions	27
II.2.1. Les géomembranes	27
II.2.2. Les différents types de géomembranes	27
II.2.3. Avantages et inconvénients des géomembranes synthétiques	30
II.3. Classification des géomembranes	32
II.3.1. Selon l'exposition	32
II.3.2. Selon l'usage (Domaine d'utilisation)	33
II.4. Placement de géomembrane sur le barrage	43
II.5. Soudure de géomembranes.....	46
II.5.1. Soudure de Cale	46
II.5.2. Soudage par extrusion	49
II.5.3. Soudure par fusion à l'air chaud	49
II.6. Longévité	50
II.7. Vieillessement de géomembranes	50
II.8. Conclusion	51

III. Chapitre 03 : Etanchéité des barrages par la géomembrane

III.1. Introduction	53
III.2. L'étanchement par géomembrane dans quelques exemples	53
III.2.1. Barrage en maçonnerie ou en béton.....	53
III.2.1.1. Barrage de l'Echapre	54
III.2.2. Barrage en remblai.....	56
III.2.2.1. Barrage du Rouchain	57
III.2.2.2. Barrage d'Aubrac	59
III.2.2.3. Position de la géomembrane dans les barrages en remblai	60
III.2.2.4. Effet de la géomembrane sur le comportement d'un barrage en remblai	61
III.3. Conclusion	71
Conclusion générale.....	73
Bibliographie	75
Résumé	78

Liste des figures

Figure I.01 : Rupture de barrage en terre. Le barrage de Teton (Idaho, États-Unis, 1976)

Figure I.02: Barrage Malpasset avant (a) et après (b) sa rupture.

Figure I.03 : La rupture du barrage de Bouzey.

Figure I.04 : Glissement en rive gauche du barrage du Vajont .

Figure I.05 : La rupture du barrage de San Fernando.

Figure I.06 : Noyau en argile vertical et incliné.

Figure I.07 : technique de pose d'un noyau en béton bitumineux.

Figure I.08 : masque en ciment.

Figure I.09 : Masque en béton bitumineux.

Figure I.10 : masque en membrane souple.

Figure I.11: paroi moulée.

Figure I.12: Tapis d'étanchéité amont.

Figure II.01 : Exemple d'un canal étanché avec une géomembrane.

Figure II.02 : Utilisation d'une géomembrane dans des digues et barrages en masque amont (A) et en cœur (B).

Figure II.03 : Exemple de l'utilisation d'une géomembrane dans un barrage.

Figure II.04 : Utilisation d'une géomembrane dans un réservoir d'eau.

Figure II.05 : Exemple d'une géomembrane dans une application ferroviaire.

Figure II.06 : Géomembrane dans des applications routières.

Figure II.07 : Étanchéité d'un tunnel par la géomembrane.

Figure II.08 : Exemple d'une géomembrane posée dans un bassin.

Figure II.09 : Exemple d'une cellule de confinement de déchets : fond et parois.

Figure II.10 : Schéma d'un recouvrement de terri.

Figure II.11 : Schéma d'une fosse à lisier.

Figure II.12 : Barrage de Bovilla, Albanie 1996, nouvelle construction: des dalles en de béton non renforcées sont moulées in situ au-dessus d'un géotextile protégeant le géocomposite de PVC contre bétonnage.

Figure II.13 : Photographie du sertissage des coins des membranes de géomembranes en PEHD soudeur (vue de côté). Reproduit avec la permission de Sotrafa

Figure II.14 : Photographie d'un soudeur à coin chauffant. Reproduit avec l'autorisation de Leister

Figure II.15 : Photographie du sertissage des calques de géomembranes en PEHD soudeur (vue de face). Reproduit avec la permission de Sotrafa.

Figure III.01: Barrage de l'Echapre vue d'ensemble du parement amont.

Figure III.02 : détails de fixation du complexe géotextile-géomembrane en crête et en pied du Barrage de l'Echapre.

Figure III.03 : profilé vertical au droit du recouvrement de deux lés Barrage de l'Echapre.

Figure III.04 : Barrage du Rouchain réfection du masque amont par géomembrane protégée.

Figure III. 05 : Barrage de l'Aubrac : connexion entre la géomembrane PVC et le rideau vertical en paroi moulée afin d'assurer une continuité de l'étanchéité (1986).jean luce

Figure III.06: (a) Coupe typique batardeau en construction du batardeau Gibe III. (b) Vue du batardeau en construction.

Figure III.07: Forme géométrique du barrage étudié.

Figure III.8.a: maillage du barrage.

Figure III.8.b: cercle de glissement du barrage.

Figure III.9.a : Les lignes de courant de barrage.

Figure III.10 : les lignes du courant de barrage.

Figure III.11.a : les lignes du courant de barrage.

Figure III.11.b : Le cercle du glissement de barrage.

Figure III.12.a : Les lignes de courant.

Figure III.12.b : Le cercle de glissement.

Figure III.13.a : Les lignes de courant.

Figure III.13.b : Le cercle de glissement.

Figure III.14.a : Les lignes de courant.

Figure III.14.b : Le cercle de glissement.

Figure III.15.a : Les lignes de courant.

Figure III.15.b : Le cercle de glissement.

Liste des tableaux

Tableau I.01 : Caractéristiques principales du barrage.

Tableau I.02 : Capacités de certains barrages Algériens en l'an 2010.

Tableau II.01 : Principaux avantages et inconvénients des différents types de géomembranes.

Tableau II.02 : Caractéristiques et paramètres d'exécution des soudeuses généralement utilisées de cale pour géomembranes (données de Leister).

Tableau III.01: Données mécaniques et hydrauliques du barrage.

Liste des abréviations

PEHD : Polyéthylène de haute densité.

LLDPE : Polyéthylène linéaire basse densité.

VFPE : polyéthylène très flexible.

EPDM : Terpolymère d'éthylène propylène diène.

PVC : Chlorure de polyvinyle.

CSPE : Polyéthylène chlorosulfoné.

fPP : Polypropylène (flexible).

BGM : Géomembranes bitumineuses.

SNCF : la société des chemins de fer français.

UV : ultra violet.

CQA : contrôle qualité et analyse.

CIGB : commission international des grands barrages.

Introduction générale

Introduction générale

Le phénomène des fuites d'eau à travers, surtout, les rives et la fondation de n'importe quel barrage en plus des pertes en eau, qui se fait rare surtout en zone aride et semi aride, peut compromettre la stabilité de ces ouvrages, en rendant certains inutile où ils restent la plus part du temps vides ou ils ne seront remplis qu'à un volume limité pour assurer leurs étanchéités à titre.

Parmi les méthodes de diminution du débit de fuite des barrages, la technique la plus célèbre est l'utilisation de géomembrane comme unique élément d'étanchéité ou, pour des ouvrages plus anciens, on peut les ajouter pour obtenir une étanchéité secondaire.

Dans ce travail, on a appliqué cette technique sur un barrage en terre homogène de dimensions les plus ou moins répandues en Algérie, et on a choisi un profil d'une section transversale dont les dimensions géométriques sont connues. Notre choix était établie sur le barrage Laalam qui reposant sur une fondation perméable afin d'obtenir des résultats plus fiables. Puis nous avons procédé à une étude comparative entre l'impacte de l'utilisation de géomembrane sur la stabilité des barrages.

Pour ce faire, on a élaboré le plan de travail suivant :

- Chapitre 01 : nous avons parlé sur les différents risques menaçants les corps et les fondations des barrages ainsi que les techniques utilisées pour l'étanchéité.
- Chapitre 02 : ce chapitre est une présentation générale de la géomembrane : définition, types, avantage, champs d'usage et la mise en œuvre de la géomembrane.
- Chapitre 03 : on a étudié l'effet d'application de la géomembrane sur l'étanchéité du barrage en terre et homogène de Laalam en utilisant la modélisation par logiciel Plaxis pour analysé la stabilité de ce barrage.

Nous clôturons ce mémoire par une conclusion générale donnant une synthèse des résultats obtenus.

Chapitre 01:

Étanchéité des barrages

I.1. Introduction

Du fait de la charge hydraulique à l'amont du barrage, l'eau s'infiltré progressivement dans le massif du barrage et dans ses fondations, bien que le choix des matériaux de construction et de l'implantation de l'ouvrage aient été fait de manière à limiter les débits d'infiltration.

Les phénomènes des infiltrations qui apparaissent dans les ouvrages hydrauliques peuvent créés dans certaines conditions, des dangers pour la stabilité et la sécurité des barrages. A cet effet on doit prévoir à l'intérieur du massif éventuellement dans les fondations des dispositifs qui ont comme objectifs contrôler et maitriser ces infiltrations dans les barrages.

La conception d'un barrage avec une étanchéité de tout type doit être telle que l'écoulement de liquide dans le barrage résultant d'une défaillance majeure de l'étanchéité ne puisse pas causée la rupture du barrage ou un désordre important de la structure du barrage. Par conséquent, le corps du barrage doit comprendre des zones de filtres pour empêcher son érosion interne.

I.2. Les risques liés aux barrages

I.2.1. La rupture des barrages

Le risque majeur lié à la présence d'un barrage est la rupture, un barrage n'est pas inerte. Il vit, travaille et vieillit en fonction des efforts auxquels il est soumis.

Comme tout ouvrage de génie civil, les barrages peuvent connaître des défaillances de sécurité, qui peuvent aboutir à des accidents plus ou moins graves; la situation de rupture paraît plutôt liée à une évolution plus au moins rapide d'une dégradation de l'ouvrage susceptible d'être détectée par la surveillance et l'auscultation.

I.2.1.1. L'érosion régressive

Plusieurs accidents provoqués par l'érosion, parmi les exemples les plus connus on a la rupture du barrage de Teton (figure I.01).

Le barrage en remblai de Teton d'une hauteur de 91,5 m, est du type en terre avec un noyau argileux imperméable. sa rupture a eu lieu le 5 juin 1976 durant son premier remplissage. Le 3 juin, on constate des sources au niveau du lit de la rivière à environ 450 m à

Chapitre 01 : Etanchéité des barrages

l'aval du barrage.

Le lendemain d'autres sources sont apparues au pied aval du barrage. Le 5 juin, les venues d'eau d'un débit initial de 0,5 à 0,8 m³/s, se sont développées sur la surface aval du barrage à environ 40 m sous le couronnement. L'eau, d'un débit de 0,05 m³/s, sortait en rive droite d'un point proche du contact du barrage avec son appui. Puis de l'eau sale a aussi été vue sortant du talus à proximité du pied du barrage avec un débit 0,7 m³/s. dans la partie supérieure le débit augmenta continuellement. Plus tard un barrage se rompit alors complètement.



(a) Vue sur le barrage de Teton (USA) avant



(b) Rupture du barrage

Figure I.01: Rupture de barrage en terre. Le barrage de Teton (Idaho, États-Unis, 1976), (SCHLEISS A.J. & POUGATASCH H, 2011).

I.2.1.2. L'instabilité

Le barrage-voûte de Malpasset (France) avait une hauteur de 66 m pour en crête de 222 m. l'épaisseur au couronnement était de 1,5 m et son épaisseur à la base de 6,78 m. Le 2 décembre 1959, le barrage de Malpasset fut emporté dans la soirée, alors que le niveau d'eau était voisin de la crête du réservoir. Il s'agissait du premier remplissage. Pratiquement, toute la voûte s'effaça en un instant, seules demeurent la partie du barrage en rive droite et la base de partie centrale. Le barrage fut totalement détruit sur la rive gauche et une grande cavité en forme de dièdre apparut dans le rocher.

L'appui de déplaça horizontalement de 2 m. la partie subsistant subit une rotation en bloc autour de l'extrémité de rive droite avec un déplacement maximum de 80 cm. des morceaux de béton et de roche, on devait constater une bonne adhérence entre béton et rocher. La catastrophe a fait 423 victimes et des dommages matériels comme suite :

2,5 km de voies ferrées arrachées,

951 immeubles touchés dont 155 entièrement détruits,

Chapitre 01 : Etanchéité des barrages

30 fermes complètement détruites, et 50 fermes détruites à 50%,
60 bâtiments d'exploitation complètement détruits et 45 détruits à 50%,
3.200 hectares de terres cultivées endommagées, dont 700 hectares irrécupérables par suite du décapage de la totalité de la terre végétale, et 900 hectares devant faire l'objet de travaux importants pour une remise en culture, une quantité énorme de matériel de culture (tracteurs, motoculteurs, ...), 1.000 moutons et la totalité des animaux de basse-cour ont été noyés.

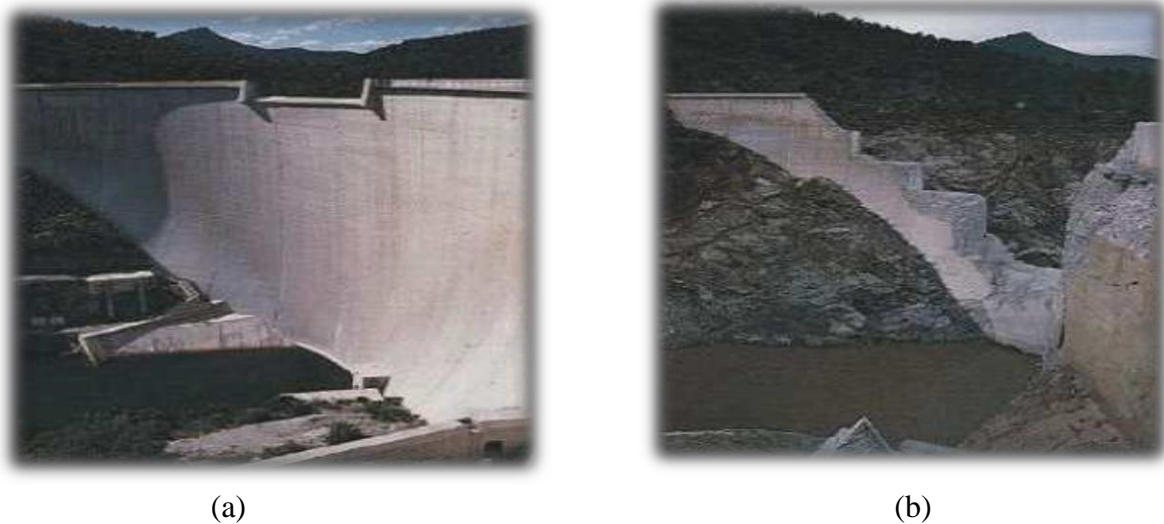


Figure I.02: Barrage Malpasset avant (a) et après (b) sa rupture (SCHLEISS A.J. & POUGATASCH H.2011).

La rupture du barrage fut le résultat d'une combinaison imprévue de causes dont certaines n'avaient pas été envisagées auparavant. Le site de Malpasset est caractérisé par une faille étanche plongeant sous le barrage de l'aval vers l'amont avec un angle de 45° et par un grand nombre de surface de glissements potentiels non détectables plongeant de l'amont vers l'aval. La sous-pression provoquée par l'eau du réservoir agissant sur une surface importante de la fondation rocheuse profonde a développé une force capable d'atteindre une valeur suffisante pour soulever le barrage et le dièdre qui le supportait.

La sous-pression a pu se produire en raison de la faiblesse du rocher et le comportement du gneiss modérément imperméable dans des conditions normales. Ce dernier devient imperméable lorsqu'il est comprimé et agit comme un écran imperméable dans la fondation contre lequel viennent buter les infiltrations en provenance du réservoir. Sous l'effet de la pression hydrostatique du fait de la faible cohésion entre les surfaces de glissement potentielles, la fondation s'est légèrement déplacée vers l'aval, provoquant une fissure dans laquelle la sous-pression a pu se manifester à cause de l'imperméabilité de la faille aval. Cette faille et la fissure amont délimitaient un dièdre rocheux de la fondation, ce bloc et le barrage

Chapitre 01 : Etanchéité des barrages

furent soulevés par la sous-pression comme si la fondation avait explosé.

I.2.1.3. Vieillessement

En effet, un contrôle défectueux des écoulements à travers le barrage de Beli Iskar met en cause à la fois la stabilité de l'ouvrage, par la répartition défavorable des sous pressions et sa pérennité par l'accélération des processus de vieillissement. Les principes caractéristiques du barrage sont représentés dans le tableau (Tableau I.01).

Tableau I.01: Caractéristiques principales du barrage (BOUHALALI M., 2006)

En droit	Bulgarie
Date de construction	1935-1945
Type de barrage	Barrage poids
Hauteur	50.7 m
Longueur en crête	533 m
Hauteur maximale sur fondation	51 m
Volume du corps du barrage	226000 m ³

I.2.1.4. L'envasement

Dans de nombreux pays du monde, le transport des sédiments dans le réseau hydrographique des bassins versants et leur dépôt dans les retenues pose aux exploitants des barrages des problèmes dont la résolution ne peut qu'être onéreuse. Non seulement la capacité utile est progressivement réduite au fur et à mesure que les sédiments se déposent dans la retenue.

Cette réduction de la capacité de stockage de l'eau est sans aucun doute la conséquence la plus dramatique de l'envasement: chaque année le fond vaseux évolue et se consolide avec occupation d'un volume considérable de la retenue par exemple l'Algérie perd annuellement une capacité estimée à 20 millions de m³ par le dépôt des sédiments dans les retenues (Tableau I.02).

Chapitre 01 : Etanchéité des barrages

Tableau I.02 : Capacités de certains barrages Algériens en l'an 2010. (REMINI B.2007)

Barrages	Capacité initiale (10 6 m ³)	Quantité de vase en 2010 (10 6 m ³)
Fergoug	18	31
Zardezas	31	37
Oued El Fodda	228	82
Ghrib	280	227
K'sob	11.6	11.1
Foum El Gherza	47	39.5

I.2.1.5. Sous pression

La rupture du barrage de Bouzey (France) (barrage poids en maçonnerie, d'une hauteur de 18 mètres, construit en 1880) (Vosges), en avril 1895, a fait 87 morts. Il s'agissait d'une rupture brusque, mais qui avait été précédée par l'apparition de fissures et de déformations importantes. La rupture est imputable au comportement du corps du barrage, avec comme cause principale l'apparition de sous-pressions (Deroo L.2011).

L'analyse des causes de la rupture du barrage de Bouzey a considérablement fait progresser la compréhension des mécanismes de rupture des barrages poids. En particulier, le mécanisme de création de fissure en pied amont de barrage et de propagation des sous-pressions dans l'ouvrage, ont permis de définir des règles de dimensionnement beaucoup plus fiable pour les ouvrages ultérieurs



Figure I.03 : La rupture du barrage de Bouzey (Deroo L. 2011).

I.2.1.6. Glissement terrain

Nous pourrions illustrer ce point par le glissement en rive gauche du barrage du Vajont (Italie), ce dernier à une hauteur de 265,5m pour une longueur en crête de 190,5m. L'épaisseur au couronnement est de 3,40 m et son épaisseur à la base de 22,71m.

La mise en eau du réservoir a commencé en mars 1960. Durant l'automne 1960, on constata un fluage d'une grande surface de rive gauche près du barrage et en éboulement superficiel de 700 000 m³. Le niveau du réservoir a été réduit et le mouvement cessa quelques semaines plus tard. Pendant l'été 1960, le remplissage se poursuivit après l'exécution d'un tunnel by-pass autour de la zone de glissement. Le mouvement a été réactivé lorsque le niveau de la retenue atteignit une cote supérieure de 25 m à la cote atteinte précédemment.

Le niveau fut alors réduit et le glissement s'arrêta quelques semaines plus tard. En été 1963, l'opération de remplissage, ainsi que le mouvement reprit. En octobre 1963, le glissement se transforma en un éboulement soudain d'une masse rocheuse d'environ 250 millions de m³. Elle chassait 40 millions de m³ d'eau qui ont passé 260m au-dessus du barrage pour s'écouler dans la gorge de vallée et détruire 4 villages. Le barrage ne s'est pas rompu (hydropower & dams).



Figure I.04 : Glissement en rive gauche du barrage du Vajont (hydropower & dams)

I.2.1.7. Gonflement du béton :

Le barrage du Chambon (France) est un ouvrage poids d'une hauteur de 88 m au-dessus du terrain naturel et d'une longueur en crête de 294 m, construit entre 1929 et 1935. Il est composé de béton cyclopéen, dont le dosage en ciment varie de 150 à 250 kg/m³. L'axe du barrage est rectiligne en rive droite et en zone centrale et courbe côté rive gauche.

Le barrage est situé dans les Alpes, sur la haute Romanche, et accueille sur son couronnement

Chapitre 01 : Etanchéité des barrages

une route d'importance nationale à une altitude de 1042 m. La largeur de l'ouvrage est de 5 m en crête et 70 m à sa base (CHULLIAT O. TQUET B. & BOUTET J.M., 2013).

Le barrage du Chambon est soumis à un phénomène d'alcali-réaction (réaction chimique) important, entraînant un certain nombre de désordres, conséquences du gonflement du béton. Les principaux concernent l'apparition d'une fissuration verticale dans le barrage ce qui favorise la circulation d'eau, susceptible d'affecter son intégrité sous séisme, et le développement d'importantes contraintes de cisaillement dans la structure.

I.2.1.8. La font de neige

Le réservoir de stockage de déchets d'Iowa Beef Processors (USA) s'effondre en janvier 1993 à la suite de la fonte des neiges qui élève le niveau des eaux stockées. L'eau s'infiltré alors dans des trous creusés par les animaux près de la crête du barrage et ruine l'ouvrage par érosion interne (Bereysse D., 2009).

I.2.1.9. Les évènements climatiques

Les évènements climatiques peuvent avoir des conséquences dramatiques. Ainsi, le barrage de Shakidor aux Balouchistan (sud-ouest du Pakistan), s'est effondré en février 2005, le barrage n'a pas pu résister à une semaine de pluies torrentielles et de chutes de neige exceptionnelles la rupture de ce barrage de 150 m de long a causé plus de quatre-vingt victimes et quatre cents disparus (Bereysse D., 2009).

I.2.1.10. Lâcher d'eau

Dans le cadre de l'exploitation d'ouvrages hydroélectriques, les exploitants procèdent régulièrement à des lâchers d'eau pour des raisons de production, d'entretien ou pour écouler les crues. Ils peuvent intervenir à tout moment, même par beau temps. Bien qu'effectués par paliers (ce qu'on appelle des vagues d'alerte), ces lâchers d'eau provoquent la montée du niveau de l'eau.

Le 5 décembre 1995 lors d'une sortie scolaire dans le lit du Drac (Isère, France), sept victimes noyées à la suite du lâcher d'eau d'un barrage (Bereysse D., 2009).

Le 29 janvier 2006, sur le barrage de (Tuilière, France), sur la haute Dordogne : dans la nuit, la paire de contrepoids, de 80 tonnes chacun, équilibrant une des huit vannes du barrage a cédé. La vanne est partie. La retenue de cinq millions de m³ s'est aussitôt vidée. Le débit de la Dordogne, de 140 m³/s, a grimpé durant quelques heures à 480 m³/s. en aval, la montée de

Chapitre 01 : Etanchéité des barrages

l'eau s'est étalée en une vague de seulement 70 cm de haut. L'évènement a été classé rouge selon la procédure de déclaration et de traitement des évènements importants pour la sûreté hydraulique. Il n'y a pas eu de victimes, mais les conséquences affaiblissent des berges, envasement, etc. (Bereysse D., 2009).

I.2.1.11. Séisme

On connaît peu de cas graves dans le monde comme la rupture du barrage de San Fernando (Van Norman ; USA) ; le 9 février 1971, au matin, un violent séisme de magnitude 6.6 issu d'une faille de 20 Km ébranla la vallée de San Fernando, dans laquelle étaient construits les barrages en remblai amont et aval de San Fernando. Le barrage amont présentait des signes de fissuration et de déformations irréversibles, tandis que la recharge amont du barrage aval glissa de 46 m dans la retenue. Une revanche résiduelle de 1.4m de matériau en place fissuré subsista. Les reconnaissances montrèrent que la liquéfaction d'une partie inférieure de la recharge était responsable du glissement. Le déplacement maximal du pied amont fut de 61m.

La reconstitution de l'accélérogramme établit l'accélération maximale entre 0.55 et 0.6g et que le glissement se manifesta 20 à 30 secondes après l'arrêt des secousses. La recharge amont glissa pendant 40s à la vitesse de 1.5 m/s ; la retenue n'était pas pleine d'étanchéité (SCHLEISS A.J. & POUGATASCH H., 2011).



(a)



(b)

Figure I.05 : La rupture du barrage de San Fernando (SCHLEISS A.J. & POUGATASCH H., 2011).

I.2.1.12. Les fuites d'eau à travers les barrages

Le phénomène des fuites d'eau au niveau des barrages se traduit non seulement par des pertes considérables en eau précieuse et rare mais menace aussi sérieusement la stabilité

Chapitre 01 : Etanchéité des barrages

des ouvrages hydrauliques (ANB, 2003). De plus, rappelons que la perte de capacité est due essentiellement aux fuites d'eau mais contribue également, à l'envasement des retenues et à l'évaporation intense lorsqu'ils sont implantés dans des régions chaudes (REMINI B, 2005). Le problème des fuites d'eau est très complexe car il menace les quantités d'eau accumulées dans la plupart des barrages à travers le monde et engendre une inquiétude sur la stabilité de ces ouvrages, sur tout si ce problème persiste.

I.2.2. Types d'organes d'étanchéité dans le corps des barrages

Lorsque la terre du remblai n'est pas suffisamment imperméable pour constituer un remblai homogène étanche, il faut équiper le barrage d'un organe d'étanchéité spéciale. Les techniques les plus couramment mise en œuvre sont les noyaux en matériaux argileux compactés, en béton bitumineux et les masques amont en béton de ciment ou bitumineux. Il existe néanmoins d'autres techniques telle que : parois moulée, chape et les membranes souples. (HERAGMI, 2009)

I.2.2.1. Noyaux aux matériaux argileux

Le noyau argileux compacté disposé verticalement au centre du barrage ou en position inclinée à l'amont de celui-ci, son épaisseur est de l'ordre 1/6 de la hauteur de l'ouvrage. (CHERIF, et al, 2013)

Vers le sommet le noyau doit être monté au-dessus des plus hautes eaux et pratiquement, compte tenu des remontes capillaires, jusqu'à la tête du barrage.

Il doit être protégé de la dessiccation à sa partie supérieure pour éviter toute fissure de retrait qui risquerait de se révéler catastrophique. Cette protection peut être assurée par une couche de sable ou de préférence, en traite le sommet du barrage en chemin avec une chaussée enrobée bitumineuse. (HERAGMI, 2009)

I.2.2.3. Masque amont

Le masque amont qui constitue l'organe d'étanchéité est classiquement exécuté en béton de ciment, en béton bitumineux ou en géomembrane. Il a une épaisseur réduite, ce qui lui permet de s'accommoder aux déformations du massif support. (CHERIF, et al, 2013)

I.2.2.4. Masque en béton de ciment

La dalle doit posséder des joints de construction, du fait du retrait, que l'on munit de lames d'étanchéité. Ces joints sont respectivement parallèles et perpendiculaires aux lignes de plus grande pente du talus, ces dernières étant nécessaires pour diminuer l'importance des efforts de flexion. (HERAGMI)

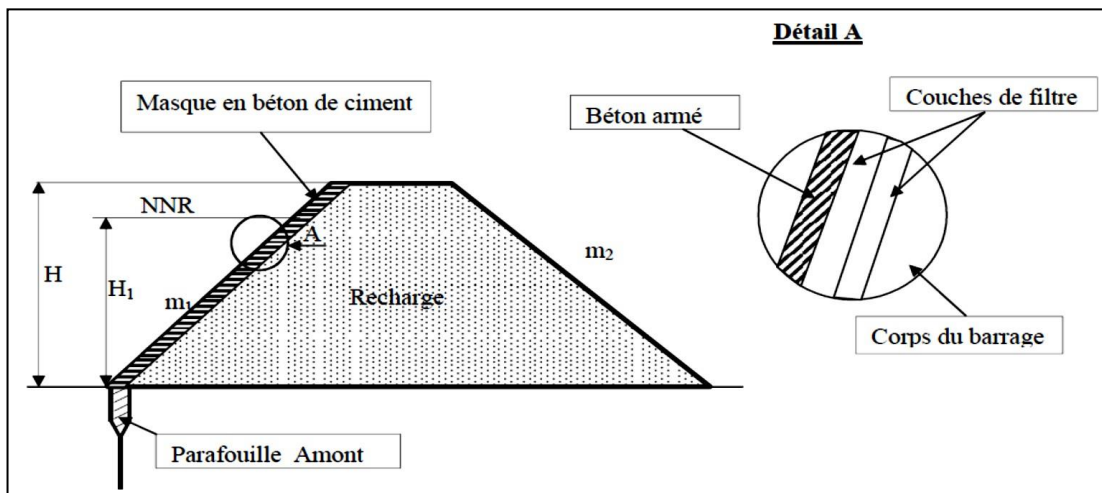


Figure I.08:masque en ciment. (MESSAID, 2009)

I.2.2.5. Masque en béton bitumineux

C'est a priori le produit idéal en raison de sa remarquable étanchéité et de sa résistance à flexion. Si certaines fissures se produisent, elles se colmatent d'elles-mêmes peu à peu sous l'effet de la pression de l'eau, par déformation plastique. Grosso modo, un béton bitumineux agit de façon plastique aux déformations lentes, de façon élastique aux déformations rapides, or le tassement s'effectue en général de façon lente. Egalement, il n'y a pas de problème de joint, les différentes couches de béton bitumineux se soudent littéralement à chaud. (CHERIF, et al, 2013)

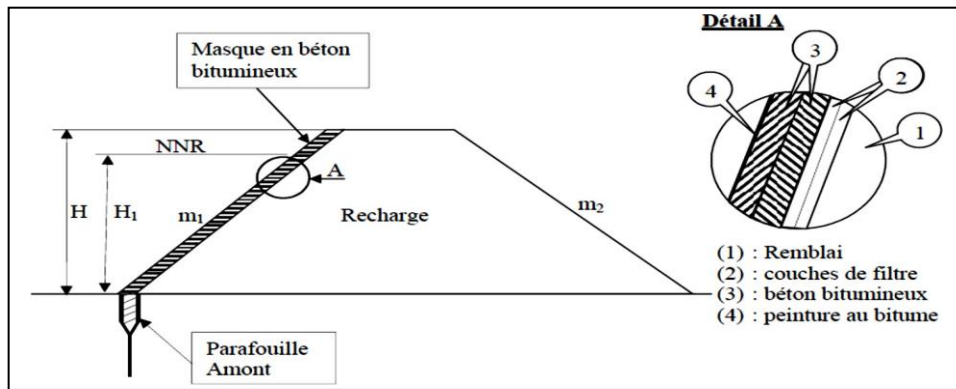


Figure I.09 : Masque en béton bitumineux. (MESSAID, 2009)

I.2.2.6. Masque en acier

En raison de la grande déformabilité alliée à une résistance élevée et une étanchéité faite de l'acier, celui-ci constitue un matériau techniquement à peu près parfait pour un masque amont. (HERAGMI, 2009)

L'inconvénient en est généralement une question de coût. (CHERIF, et al, 2013)

I.2.2.7. Masque en terre

Au moyen de terre argileuse compactée, nous pouvons réaliser une étanchéité convenable, avec des épaisseurs qui sont des caractéristiques de perméabilité du matériau dont on dispose. (CHERIF, et al, 2013)

I.2.2.8. Masque en membrane souple

Le masque en membrane souple est un procédé d'étanchéité relativement récent. Il présente l'avantage d'être très simple à réaliser et résistant physiquement et chimiquement avec toutefois l'inconvénient d'être sensible aux chocs, aux poinçonnements et aux poussées des racines de végétaux. Pour la réalisation de ce type de masque les produits, les plus utilisés sont : le butyle caoutchouc, les matières plastiques, les produits bitumineux etc. (Fig. I.10). (MESSAID, 2009)

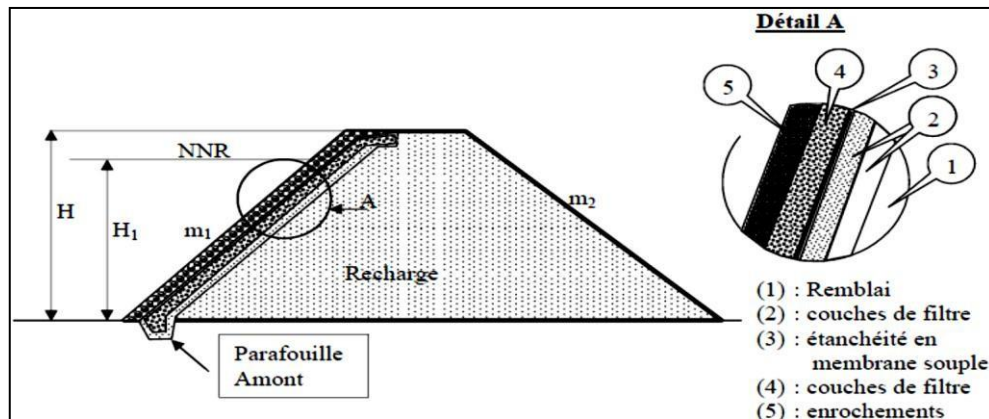


Figure I.10 : masque en membrane souple. (MESSAID, 2009)

I.2.3. Types d'étanchéité dans les fondations

On peut considérer les trois cas suivants pour les barrages de types homogènes et zonés :

- cas d'une fondation constituée de matériaux peu perméables : il est recommandé d'exécuter une clé d'étanchéité en matériaux argileux compactés afin de tenir compte de la fissuration superficielle et d'hétérogénéités éventuelles.
- cas d'une fondation où la présence de couches perméables n'a été mise en évidence que jusqu'à une profondeur de quelques mètres : la clé d'étanchéité doit les barrer et être ancrée dans le niveau étanche ; si ce dernier est le rocher sain, après son nettoyage et une régularisation éventuelle de sa surface, la mise en place d'une première couche d'épaisseur décimétrique constituée d'argile humide permet d'assurer un bon contact ; il peut être nécessaire un filtre entre la face aval de la clé et les matériaux perméables de la fondation.
- cas d'une fondation perméable jusqu'à une profondeur importante : les injections sont utilisables aussi bien dans le cas d'une fondation meuble que dans celui de massifs rocheux plus ou moins fissurés, les produits d'injection étant adaptés au matériau traité (coulis bentonite-ciment, coulis spéciaux) ; la coupure comporte le plus souvent trois lignes de forages en quinconce ; comme l'injection ne peut être efficace en surface, soit on recoupe les premiers mètres injectés par une clé d'étanchéité, soit on traite à partir d'une certaine hauteur de remblai.

L'autre technique d'étanchéité est la paroi moulée en coulis auto-durcissable bentonite-ciment ou en béton plastique ; cette solution est assez classique dans les terrains meubles ; elle est aussi possible dans les fondations rocheuses selon la technique, plus

Chapitre 01 : Etanchéité des barrages

coûteuse, de l'hydro-fraise. Elle peut entraîner des désordres si des déplacements importants se produisent, par exemple le poinçonnement inverse du remblai dans le cas d'un fort tassement de la fondation meuble (risque aussi d'un frottement latéral excessif) ; si elle est située au pied amont du remblai, la paroi peut subir un cisaillement important dans sa partie supérieure.

Lorsque l'étanchéité de la retenue ne peut pas être réalisée par une coupure au droit du barrage, la solution consiste à étancher la cuvette totalement ou partiellement à l'aide d'une géomembrane ou d'un tapis en matériaux argileux compactés (au minimum deux couches d'épaisseur de 0.2 mètre chacune), ces derniers étant à protéger contre tout risque de dessiccation. Ces techniques conduiront nécessairement à un prix élevé du m³ d'eau stockée.

En ce qui concerne le support il faut :

Respecter les conditions de filtres dans le cas du tapis amont ;

Éliminer les aspérités susceptibles de perforer la géomembrane ;

Éviter tout risque de sous-pression, notamment gazeuse, sous la géomembrane (MALFI & KOLLI, 2012).

I.2.3.1. Paroi moulé

Cette solution est assez classique dans les terrains meubles ; elle est aussi possible dans les fondations rocheuses selon la technique, plus coûteuse, de hydro fraise. Elle peut entraîner des désordres si des déplacements importants se produisent, par exemple le poinçonnement inverse du remblai dans le cas d'un fort tassement de la fondation meuble (risque aussi d'un frottement latéral excessif) ; si elle est située au pied amont du remblai, la paroi peut subir un cisaillement important dans sa partie supérieure. (CHERIF, et al. 2013)

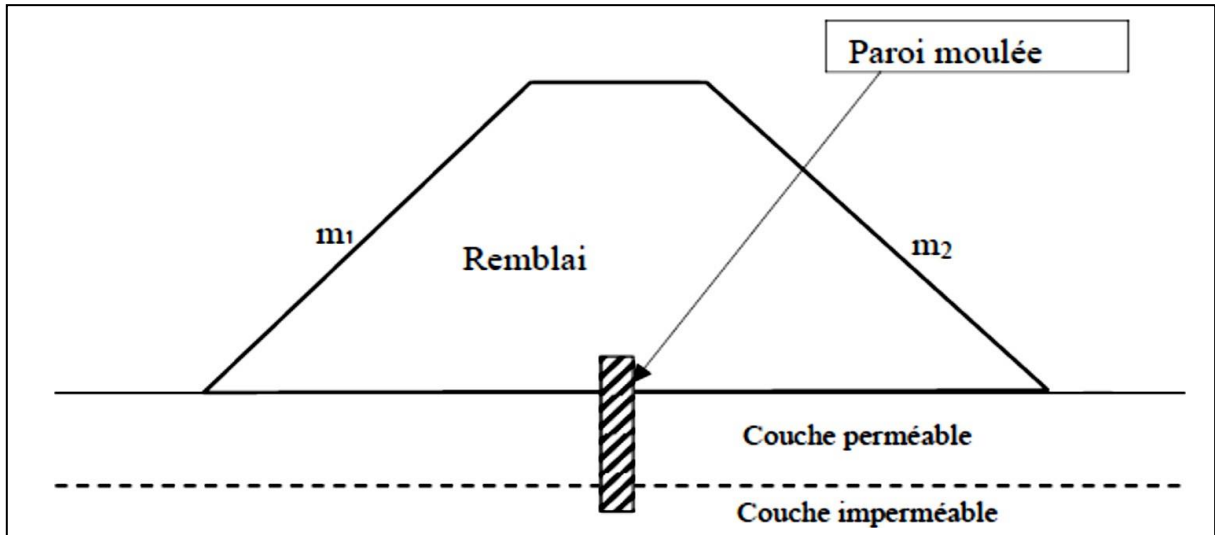


Figure I.11: paroi moulée. (MESSAID, 2009)

I.2.3.2. Tapis d'étanchéité amont

Lorsque l'étanchéité de la retenue ne peut pas être réalisée par une coupure au droit du barrage, la solution consiste à étancher la cuvette totalement ou partiellement à l'aide d'un tapis en matériaux argileux compactés. On peut adjoindre aux matériaux argileux des produits d'étanchéité, des polymères synthétiques et de la bentonite pour améliorer son efficacité. (Figure I.12). (MESSAID, 2009)

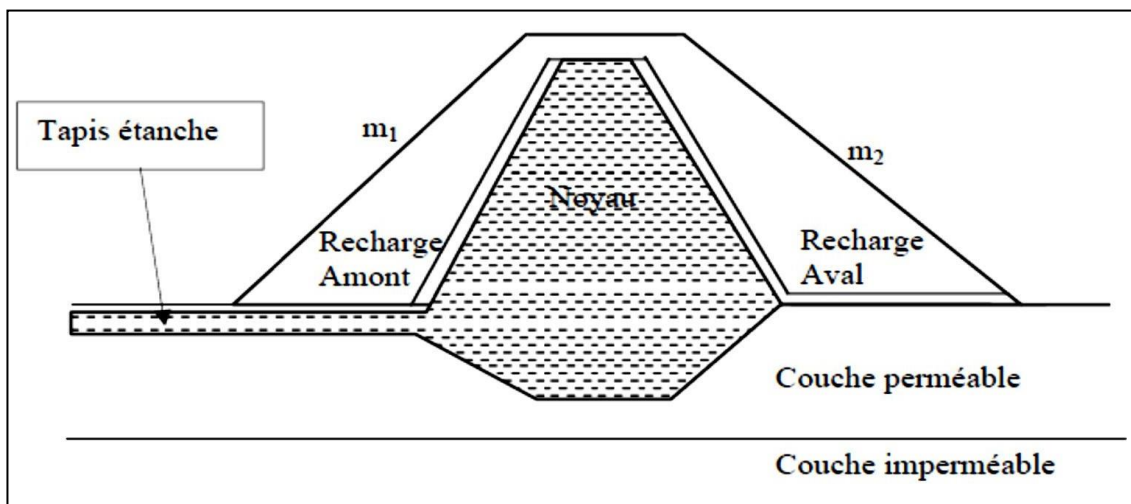


Figure I.12 : Tapis d'étanchéité amont. (MESSAID, 2009)

I.3. Conclusion

Chaque barrage est calibré pour supporté une quantité d'eau-et donc une pression donnée.

Sur un ouvrage en bon état, le risque se produit lorsque cette valeur est dépassée. Les structures fragilisées peuvent en revanche céder avant que la pression ne soit à son maximum. Dans cette étude bibliographique, nous avons présenté et analysé les différents risques menaçant les corps et les fondations des barrages. Ces risques ont éclairé sur les différentes techniques utilisées pour l'étanchéité du corps et des fondations des barrages. Toutes ces techniques nous permettront de choisir la méthode adoptée pour le cas que nous avons abordé dans le cadre de notre étude.

Chapitre 02:

Les géomembranes

II.1. Introduction

Depuis les années 1990, l'utilisation des géomembranes a considérablement augmenté, notamment dans les barrages de rétention d'eau, l'adduction d'eau, les bassins de retenue, le confinement des déchets dangereux, les décharges pour déchets solides et les opérations de lixiviation en tas. Bien que les géomembranes constituent une barrière efficace contre les infiltrations, des problèmes de performances peuvent subsister en raison d'une installation médiocre, de l'instabilité de la couverture du sol, de connexions défectueuses avec des structures adjacentes et de l'incompatibilité de la contrainte aux piliers. Le concepteur doit toujours prendre en compte le caractère critique de l'application et les conséquences en cas d'échec de la géomembrane.

Les géomembranes sont vulnérables aux dommages liés à l'installation et peuvent avoir une durée de vie utile limitée. Si elles ne sont pas couvertes, elles ont généralement une durée de vie utile comprise entre 10 et 20 ans. Si elles sont couvertes, leurs performances sont considérablement améliorées, mais elles peuvent ne pas durer indéfiniment en raison de problèmes liés à la dégradation due à l'oxydation et aux dommages post-installation dus à la pénétration des racines ou aux animaux fouisseurs. Ils ne sont souvent pas utilisés par Réclamation dans des endroits critiques ou utilisés comme seule ligne de défense pour contrôler ou réduire les infiltrations. (Bureau of Reclamation, March, 2014)

II.2. Définitions

II.2.1. Les géomembranes

C'est un produit adapté au génie civil, mince, souple, continu, étanche aux liquides même sous les sollicitations de service. Dans l'état actuel des techniques, ni les produits de faible épaisseur fonctionnelle (< 1 mm), ni les produits dont l'étanchéité est assurée uniquement par un matériau argileux, ne sont considérés comme des géomembranes. (Jean-Louis BORDES)

II.2.2. Les différents types de géomembranes

II.2.2.1. Polyéthylène de haute densité

Les géomembranes en PEHD sont composées de polymères cristallins thermoplastiques hautement résistants aux produits chimiques tels que les acides, les huiles et

Chapitre 02 : Les géomembranes

les solvants. La plupart des géomembranes en PEHD ont une teneur en noir de carbone comprise entre 2 et 3% pour offrir une résistance aux UV. Ils sont largement utilisés aux États-Unis et sont très résistants à la déchirure et à la perforation. Les géomembranes en PEHD peuvent être fabriquées dans de nombreuses dimensions, épaisseurs et couleurs pour faciliter leur installation.

À l'inverse, les géomembranes en PEHD étant semi-cristallines, elles peuvent être très rigides, notamment par temps froid, et être difficiles à installer dans les virages serrés. Les rides sont fréquentes en raison de leur coefficient de dilatation élevé. Le PEHD peut se dilater en raison de l'exposition à la chaleur solaire pendant l'installation, ce qui peut empêcher les opérations de sertissage et la mise en place de matériaux de revêtement de protection. Les géomembranes en PEHD se comportent bien lorsqu'elles ne sont pas couvertes; Cependant, ils peuvent être sensibles à la fissuration sous contrainte si la résine n'est pas appropriée. Les joints de géomembrane en PEHD doivent être soudés thermiquement. (Bureau of Reclamation, March, 2014)

II.2.2.2. Polyéthylène linéaire basse densité

Le LLDPE, parfois appelé géomembranes en polyéthylène très flexible (VFPE), est similaire au PEHD, à la différence qu'il a une densité inférieure (généralement inférieure à 0,94 gramme par centimètre cube). En conséquence, les géomembranes en LLDPE sont plus flexibles que les géomembranes en PEHD et ont une plus grande résistance à la perforation lorsqu'elles sont allongées, mais ont une résistance à la traction inférieure. Le LLDPE possède d'excellentes propriétés d'allongement, qui sont essentielles lorsque des tassements différentiels ou des conditions de sous-sol rugueuses sont anticipés. Ils sont couramment utilisés aux États-Unis et résistent quelque peu à la dégradation de l'environnement. Le LLDPE est souvent choisi plutôt que le PEHD pour les applications dans les climats nordiques en raison des difficultés d'utilisation du PEHD lors de l'installation par temps froid et des problèmes de fissuration sous contrainte. Le LLDPE est également disponible dans de nombreuses tailles, textures et épaisseurs pour répondre aux besoins de conception et de construction. (Bureau of Reclamation, March, 2014)

II.2.2.3. Chlorure de polyvinyle

Les géomembranes en PVC peuvent également être produites en différentes largeurs et épaisseurs. La plupart ne sont pas renforcés, mais le renforcement des tissus a été utilisé. La

Chapitre 02 : Les géomembranes

plupart des géomembranes en PVC fabriquées aux États-Unis ne sont pas formulées pour des applications exposées comme c'est le cas en Europe. Les géomembranes en PVC contiennent jusqu'à 40% d'un ou plusieurs plastifiants pour rendre la feuille flexible. Différents plastifiants peuvent être utilisés dans les géomembranes en PVC en fonction de l'application et de la durée de vie requise. La perte de plastifiant est la principale cause de la détérioration des géomembranes en PVC. La perte de plastifiant résulte de la volatilisation due aux températures élevées. Cependant, sur la base de l'observation et des tests des géomembranes en PVC installées dans certaines installations de régénération, les géomembranes en PVC ont donné des résultats satisfaisants lorsqu'elles ont été recouvertes, avec très peu de perte de plastifiants dans le temps. En outre, la prise de conscience accrue de ce problème a abouti à la production de géomembranes en PVC de meilleure qualité en incorporant des plastifiants de haut poids moléculaire à faible taux de migration. (Richardson et al.,)

Les géomembranes en PVC ont de bonnes propriétés de résistance à la traction, à l'allongement, à la perforation et à l'abrasion. Les géomembranes en PVC peuvent être facilement soudées par soudage au solvant, adhésifs et méthodes thermiques ou diélectriques. En raison de la nature flexible du PVC et éventuellement du processus de fabrication, l'angle de frottement de l'interface avec les sols sous-jacents ou sous-jacents est généralement supérieur à celui des autres géomembranes lisses. Les géomembranes en PVC sont largement utilisées aux États-Unis et en Europe. En fait, il s'agit du produit de géomembrane le plus utilisé au monde dans les applications de barrage en remblai (ICOLD /CIGB, 2010). Des géomembranes en PVC spécialement formulées (utilisant des stabilisants anti-UV de la plus haute qualité) sont utilisées dans les revêtements de digue exposés lors de l'incorporation d'additifs conformes aux normes européennes. (Bureau of Reclamation, March, 2014)

II.2.2.4. Polyéthylène chlorosulfoné

Les géomembranes CSPE sont des caoutchoucs thermoplastiques et constituent une classe relativement nouvelle de géomembranes. Les géomembranes CSPE sont traitées et façonnées à des températures relativement élevées lorsqu'elles sont en plastique; lorsqu'ils se refroidissent à des températures ambiantes normales, ils se comportent comme des caoutchoucs vulcanisés. Comme avec les géomembranes en PEHD et en LLDPE, leurs soudures peuvent être soudées thermiquement. Cependant, leur durabilité à long terme est principalement liée aux revêtements flottants des 25 dernières années et leur réparation peut

Chapitre 02 : Les géomembranes

être plus difficile en raison de la réticulation ou de la vulcanisation du caoutchouc thermoplastique avec le temps.

II.2.2.5. Terpolymère d'éthylène propylène diène

Les géomembranes en EPDM ont une excellente résistance aux intempéries et aux ultraviolets, ainsi qu'à l'abrasion et aux déchirures. EPDM peut tolérer des températures extrêmes et maintenir la flexibilité à basse température. Les géomembranes EPDM sont des polymères thermo durcis; par conséquent, ils nécessitent l'utilisation de ciments spéciaux et une application minutieuse pour assurer un sertissage satisfaisant sur le terrain. De bons tests de contrôle de la qualité et des procédures d'observation doivent être en place pour assurer la durabilité à long terme.

II.2.2.6. Polypropylène (flexible)

Les géomembranes fPP sont constituées de polypropylène et d'un caoutchouc thermodurcissable et sont flexibles, similaires aux géomembranes de PVC et d'EPDM. Ils sont également considérés comme durables, mais peuvent être dégradés par les acides organiques et pourraient se fissurer dans les virages serrés exposés (Stark et al.,2005. Comme ils sont flexibles, ils sont plus faciles à installer que les géomembranes LLDPE et PEHD. Semblables aux géomembranes PEHD, LLDPE et CSPE, elles sont soudées thermiquement. Toutefois, contrairement aux géomembranes CSPE, les géomembranes fPP sont généralement plus faciles à réparer.

II.2.2.7. Géomembranes bitumineuses (BGM)

Le bitume est un résidu goudronneux issu de la distillation du pétrole brut et bien connu pour pavage des routes et imperméabilisation. C'est un hydrocarbure épais et très visqueux. Bitume moderne produits ont été développés qui sont moins visqueux et plus flexibles que les durs traditionnels bitume et ceux-ci peuvent être utilisés comme membranes souples. Il existe deux types de flexibles revêtements de membrane de bitume - ceux qui sont préfabriqués et le bitume pulvérisé sur place doublures. Le bitume utilisé dans les BGM est une qualité spéciale (par exemple de Shell) qui offre une plus grande gamme de résistance chimique et de flexibilité par rapport au bitume traditionnel. (Sheirs. j ,2000)

II.2.3. Avantages et inconvénients des géomembranes synthétiques couramment utilisées

Chapitre 02 : Les géomembranes

Géomembrane	Avantages	Inconvénients
PEHD	Grande résistance chimique Rigidité de la bonne soudure Propriétés de bonne basse température Relativement peu coûteux	Risque de fissuration sous contrainte Haut degré de dilatation thermique Résistance à la perforation pauvre Propriétés de mauvaises souches multiaxiales
LLDPE	Plus souple que le PEHD Layflat mieux que PEHD Propriétés de bonnes souches multiaxiales	Résistance aux UV inférieure à PEHD Résistance aux produits chimiques inférieurs à PEHD
FPP	Peut-être usiné fabriqué et plié donc moins de coutures champ fabriqué Excellentes propriétés multiaxiales Bonne conformabilité Fenêtre de température de jonctions larges	Résistance limitée aux hydrocarbures et l'eau chlorée
PVC	-Bonne ouvrabilité et layflat comportement facile à la couture. Peut-être plié de façon Moins champion coutures fabriques .	Faible résistance aux UV et à l'ozone, à moins spécialement formulé Faible résistance aux intempéries La mauvaise performance à haute et basse températures
CSPE	-Excellente résistance aux UV et à l'ozone. -Bonne performance à faible température. Bonne résistance aux produits chimiques, acides et les huiles	Vous ne pouvez pas être thermiquement soudé après vieillissement

Chapitre 02 : Les géomembranes

PEMD	Bonne résistance aux UV et à l'ozone et aux solvants Caractéristiques de résistance élevée Bonne performance à basse température Comportement layflat Excellente	Faible résistance aux huiles, hydrocarbures La mauvaise qualité de couture
Caoutchouc butyle	Bonne résistance aux UV et érosion Bonne résistance à l'ozone	Propriétés mécaniques relativement faibles Faible résistance à la déchirure Faible résistance aux hydrocarbures Difficile à couture
Caoutchouc nitrile	Bonne résistance aux huiles et carburants (mais pas biodiesel)	résistance à l'ozone Médiocre moins bien formulé Médiocre résistance au déchirement

Tableau II.01 : Principaux avantages et inconvénients des différents types de géomembranes.
(Sheirs.j ,2000)

II.3. Classification des géomembranes

II.3.1. Selon l'exposition

II.3.1.1. Géomembranes couvertes

De nombreuses géomembranes sont uniquement destinées à des applications couvertes et, une fois enterrées, elles devraient durer des centaines d'années. Un rapport mentionne une durée de vie supérieure à 950 ans. De plus, les géomembranes couvertes sont protégées des nombreux éléments susceptibles d'endommager les revêtements exposés, tels que l'oxydation, l'abrasion, la dégradation par les UV, le gel / dégel, l'intrusion d'animaux, le soulèvement du vent et le vandalisme. (Bureau of Reclamation, March, 2014)

II.3.1.2. Géomembranes exposées

Les géomembranes qui ont été formulées pour des applications exposées ont une durée de vie typique d'environ 30 ans. Cependant, certaines géomembranes sont en service depuis

Chapitre 02 : Les géomembranes

plus de 30 ans sur les façades de barrages sans que leurs propriétés physiques d'origine aient été peu ou pas altérées. (Bureau of Reclamation, March, 2014)

II.3.2. Selon l'usage (Domaine d'utilisation)

II.3.2.1. Applications dans des ouvrages du génie civil

Cette section s'attache principalement à l'étanchéité des canaux, des barrages, des bassins et des réservoirs d'eau. Elle fournit également une description de l'étanchéité d'un stationnement souterrain, des réseaux ferroviaires et routiers, et des ouvrages souterrains.

II.3.2.1.1. Canaux

Les géomembranes constituent une solution technico-économique avantageuse pour la réalisation ou la réfection de canaux d'irrigation et de transport d'eau potable.



Figure II.01 : Exemple d'un canal étanché avec une géomembrane (Rollin et al., 2002).

II.3.2.1.2. Barrages

Des la conception d'un barrage, on peut prévoir une géomembrane comme unique élément d'étanchéité ou, pour des ouvrages plus anciens, on peut les ajouter pour obtenir une étanchéité secondaire. Les géomembranes peuvent remplacer les sols de faible conductivité hydraulique comme l'argile, traditionnellement employée dans la construction de barrages. Sur les barrages en terre, la géomembrane pourra être placée dans le corps du barrage ou en masque amont. Une autre fonction des géomembranes, sur ouvrage neufs ou anciens, est de protéger le béton en y limitant les circulations d'eau.

L'emploi des géomembranes permet un meilleur contrôle de l'étanchéité réalisée, une économie de temps de pose et, sur tout, une réduction du coût total de l'ouvrage. Dans un

Chapitre 02 : Les géomembranes

contexte où la quantité de sols argileux disponible est faible ou que ces sols sont trop éloignés de l'emplacement du chantier, les géomembranes constituent une solution de remplacement très intéressante aux sols naturels.

L'imperméabilisation des digues et des barrages en terre avec des géomembranes concerne généralement des réserves d'eau à usage hydroélectrique, domestique ou agricole, ou l'aménagement de plans d'eau à vocation récréative (voile, baignade, canotage, etc.). Ils sont généralement constitués d'enochement et de zones filtrantes ou de remblai de terre à l'intérieur. De plus, les pentes répertoriées pour le parement amont varient de 1.7H :1V (plutôt abrupte) à 2.5H : 1V (relativement douce).

En générale, on place un géotextile sous la géomembranes pour éviter tout endommagement par poinçonnement, du fait de l'agressivité du sol support. Les propriétés du géotextile dépendent de la nature du sol support, très variable d'un barrage à l'autre. Cependant, on privilégie un géotextile non tissé de masse surfacique suffisante. (Rollin et al., 2002)

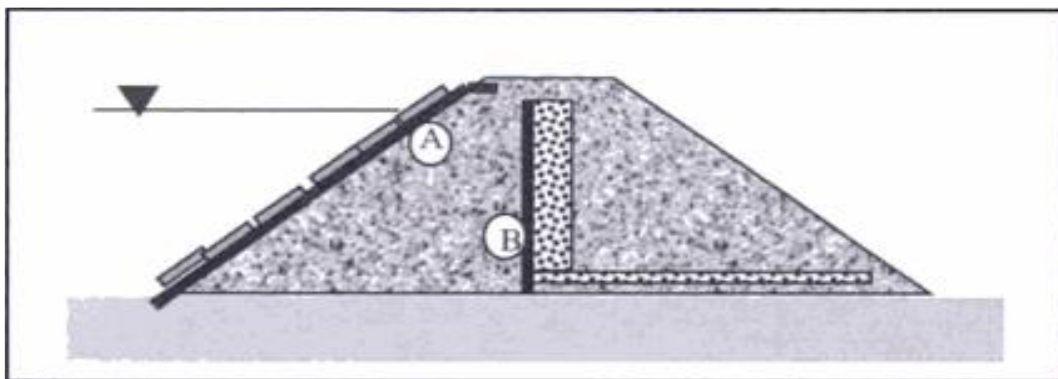


Figure II.02 : Utilisation d'une géomembrane dans des digues et barrages en masque amont (A) et en cœur (B).

Le type de protection sur la géomembrane varie en fonction des conditions climatiques et de la vocation de l'ouvrage à construire. Il s'agit en général d'une couche de protection de dalles de béton sus-jacente à un géotextile non tissé.

L'imperméabilisation de barrages en maçonnerie (voûte ou poids) concerne principalement des ouvrages à vocation hydroélectrique. Des ouvrages (neufs ou restaurés) de très grandes dimensions ont été étanchés par géomembrane, parfois dans les conditions atmosphériques difficiles (cazzuffi, 1997) et pour certains depuis les années 1960 (cazzuffi, 1999). Les techniques de mise en oeuvre des géomembranes sur les barrages verticaux sont assez particuliers, et les géomembranes utilisées répondent à un cahier des charges spécifique.

Chapitre 02 : Les géomembranes

Les paramètres importants de la géomembranes sont :

- l'épaisseur et la masse par unité de surface ;
- la résistance au poinçonnement statique (action du ballast) ;
- la résistance au poinçonnement dynamique (lors de l'installation du ballast) ;
- l'angle de frottement (stabilité sur pente) ;
- la résistance à la traction ;
- la résistance au fluage ;
- la résistance à la traction des joints ;
- la résistance au rayonnement ultraviolet.

Les paramètres importants lors de la conception sont les suivants :

- les valeurs minimales de pentes pour assurer la stabilité des matériaux ;
- la longueur des pentes ;
- les sollicitations hydrostatiques et mécaniques sur la géomembrane ;
- les dimensions de l'ancrage.



Figure II.03 : Exemple de l'utilisation d'une géomembrane dans un barrage. (Rollin et al., 2002)

II.3.2.1.3. Bassins et réservoirs d'eau :

Les géomembranes peuvent garantir l'étanchéité des bassins et des réservoirs pouvant contenir de l'eau potable, des eaux de ruissellement ou des eaux traitées. (Rollin et al., 2002)

Chapitre 02 : Les géomembranes

Les paramètres importants de la géomembranes sont :

- l'épaisseur et la masse par unité de surface ;
- la résistance au poinçonnement statique (action du ballast) ;
- la résistance au poinçonnement dynamique (lors de l'installation du ballast) ;
- l'angle de frottement
- la résistance à la traction des joints ;
- la résistance au rayonnement ultraviolet ;
- la résistance et l'élongation à la traction.

Les paramètres importants lors de la conception sont :

- les valeurs minimales de pentes pour assurer la stabilité des matériaux ;
- les dimensions de l'ancrage.

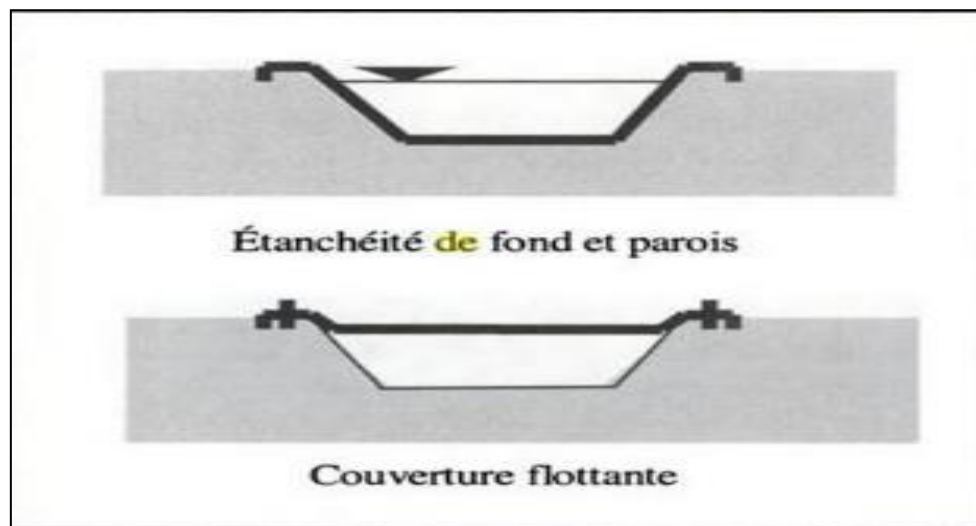


Figure II.04 : Utilisation d'une géomembrane dans un réservoir d'eau. (Rollin et al., 2002)

II.3.2.1.4. Applications ferroviaires

Depuis 1973, la SNCF, la société des chemins de fer français, utilise des géomembranes pour protéger le ballast contre la remontée des fines particules du sol lorsque le terrain est argileux et très humide. (Rollin et al., 2002)

Les paramètres importants de la géomembrane sont :

- l'épaisseur et la masse par unité de surface ;
- la résistance au poinçonnement statique (action du ballast) ;

Chapitre 02 : Les géomembranes

- la résistance au poinçonnement dynamique (lors de l'installation du ballast) ;
- la résistance à la traction des joints ;
- la résistance et l'élongation à la traction ;
- la résistance aux produits chimiques.



Figure II.05 : Exemple d'une géomembrane dans une application ferroviaire (Rollin et al., 2002).

II.3.2.1.5. Application routières

Le trafic routier peut être source de pollution importante pour les nappes phréatiques et, de manière générale, pour la ressource en eau.

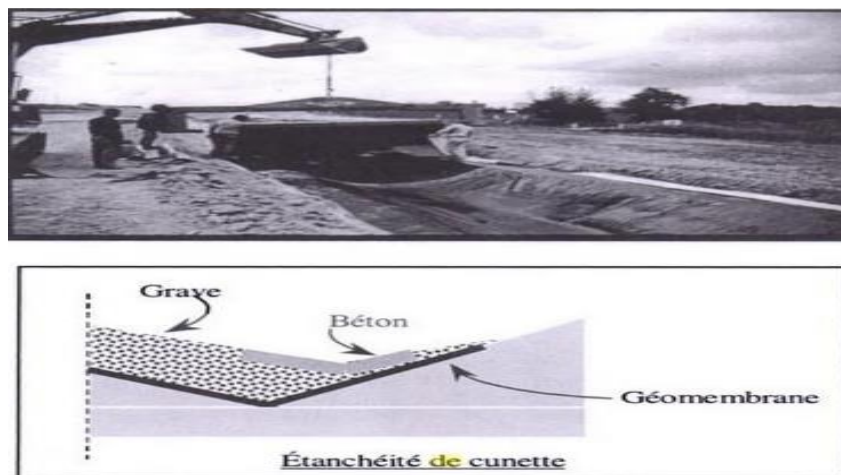


Figure II.06 : Géomembrane dans des applications routières. (Rollin et al., 2002)

II.3.2.1.6. Stationnements

Chapitre 02 : Les géomembranes

Les géomembranes ont été utilisées avec succès dans la construction de stationnements. La géomembrane est utile pour ce type d'ouvrage, qu'elle permet d'étancher le fond, la couverture et les parois latérales d'un stationnement souterrain. (Rollin et al., 2002)

II.3.2.1.7. Ouvrages souterrains

Les géomembranes sont depuis longtemps utilisée pour assurer l'étanchéité des tunnels routiers ou ferroviaire ainsi que de différents ouvrages souterrains. Elles interdisent toute percolation d'eau dans tunnel, assurant une meilleure longévité du béton. Elles évitent également les désagréments liés à la pénétration d'eau dans le tunnel, notamment pour les tunnels routiers. (Rollin et al., 2002)

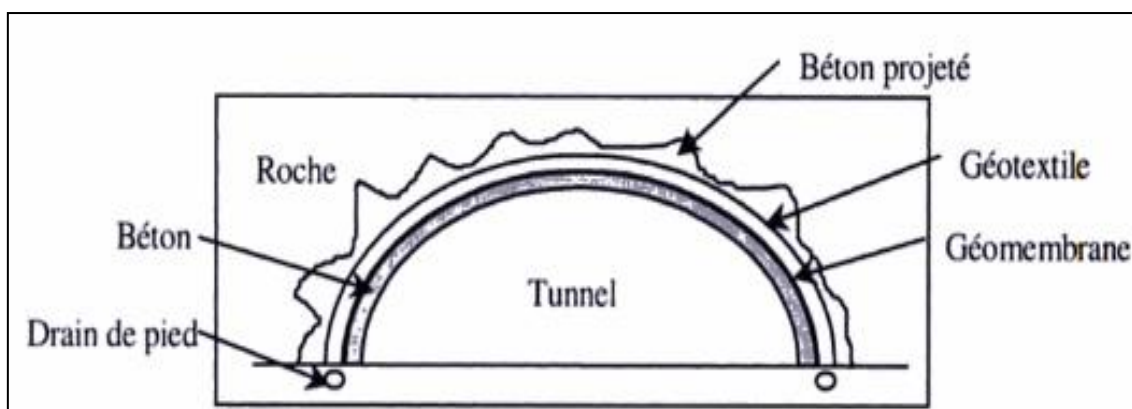


Figure II.07 : Étanchéité d'un tunnel par la géomembrane. (Rollin et al., 2002)

II.3.2.2. Applications de relevant du génie de l'environnement

Les géomembranes sont utilisées dans diverses applications liées au génie de l'environnement.

II.3.2.2.1. Bassins de rétention des effluents industriels

Les géomembranes peuvent servir à obtenir l'étanchéité des bassins et des réservoirs pouvant contenir des effluents industriels. La géomembrane est posée au fond des bassins et ancrée en tête de talus dans des tranchées. (Rollin et al., 2002)

Les paramètres importants de la géomembrane sont :

- l'épaisseur, la masse par unité de surface ;
- la résistance au poinçonnement dynamique (lors de l'installation du ballast) ;
- la résistance à la traction des joints ;

Chapitre 02 : Les géomembranes

- la résistance et l'élongation à la traction ;
- la résistance aux produits chimiques ;
- la résistance au rayonnement ultraviolet ;
- la résistance au cisaillement (l'angle de frottement) ;
- la résistance au poinçonnement statique (action du ballast) ;
- la densité (pour couverture flottante).

Les paramètres importants lors de la conception sont :

- les valeurs minimales de pentes pour assurer la stabilité des matériaux ;
- les dimensions de l'ancrage.



Figure II.08 : Exemple d'une géomembrane posée dans un bassin. (Rollin et al., 2002)

II.3.2.2.2. Centre de confinement des déchets

L'enfouissement, ou stockage ou confinement, des déchets industriels et domestiques fait largement appel aux géomembranes. Depuis une quinzaine d'années, les géomembranes ont même été rendues obligatoires comme composante essentielle des barrières d'étanchéité des ouvrages d'enfouissement de déchets dans de nombreux pays. (Rollin et al., 2002)

Les paramètres importants de la géomembrane sont :

- l'épaisseur, la masse par unité de surface ;
- la résistance à la traction des joints ;
- la résistance et l'élongation à la traction ;
- la résistance au cisaillement (l'angle de frottement) ;
- la résistance au poinçonnement statique ;
- la résistance à la diffusion du biogaz ;

Chapitre 02 : Les géomembranes

- la résistance chimique aux lixiviats ;
- la résistance chimique aux biogaz ;
- la résistance aux bactéries.

Les paramètres importants lors de la conception sont :

- les valeurs minimales de pentes pour assurer la stabilité des matériaux ;
- les dimensions de l'ancrage ;
- la longueur des pentes.



Figure II.09 : Exemple d'une cellule de confinement de déchets : fond et parois. (Rollin et al., 2002)

II.3.2.2.3. Recouvrement de terrils miniers

Dans le passé, on se contentait d'empiler les résidus de traitement de minerai sous forme de terrils. L'eau de pluie pénétrant et dissolvant les sels solubles des résidus de minerai, les eaux de lessivage polluées ressortaient par le talus et dirigeaient vers les cours d'eau avoisinants et vers la nappe phréatique. Pour pallier ce problème, il a fallu les sommets de terrils et les étancher à l'aide de géomembranes. (Rollin et al., 2002)

Les paramètres importants de la géomembrane sont :

- l'épaisseur, la masse par unité de surface ;
- la résistance à la traction des joints ;
- la résistance et l'élongation à la traction ;
- la résistance au cisaillement (l'angle de frottement) ;
- la résistance au poinçonnement statique.

Les paramètres importants lors de la conception sont :

Chapitre 02 : Les géomembranes

- les valeurs minimales de pentes pour assurer la stabilité des matériaux ;
- les dimensions de l'ancrage ;
- le tassement des résidus ;
- le drainage.

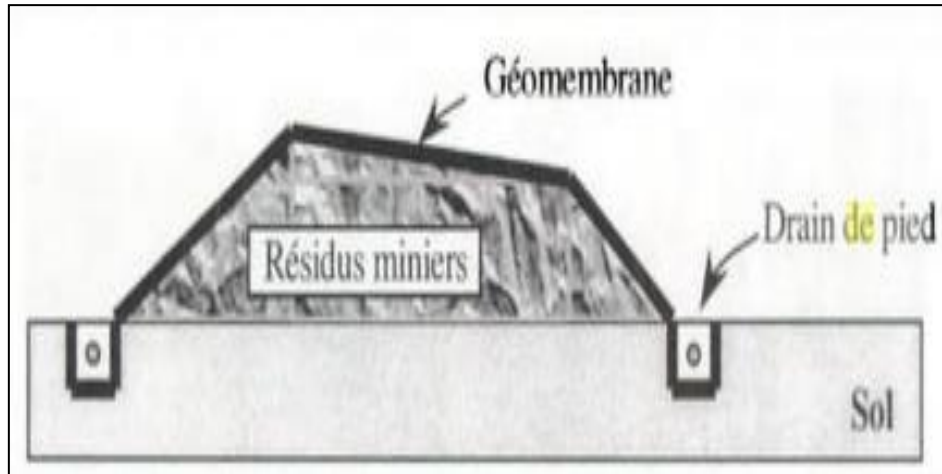


Figure II.10 : Schéma d'un recouvrement de terril. (Rollin et al., 2002)

II.3.2.2.4. Stockage des déjections animales

Dans le but de limiter les pollutions par les élevages (porcins, ovins et autres), il peut être nécessaire de réaliser des ouvrages étanches pour stocker les déjections animales. Certains pays ont rendu cette pratique obligatoire. Pour ces ouvrages comme pour d'autres, les géomembranes peuvent remplacer avantageusement le béton. (Rollin et al., 2002)

Les paramètres importants de la géomembrane sont :

- l'épaisseur, la masse par unité de surface ;
- la résistance à la traction des joints ;
- la résistance et l'élongation à la traction ;
- la résistance au cisaillement (l'angle de frottement) ;
- la résistance chimique aux agressions des lisiers et la résistance aux rayons UV.

Les paramètres importants lors de la conception sont :

- les valeurs minimales de pentes pour assurer la stabilité des matériaux ;
- les dimensions de l'ancrage ;
- les raccordements à la tuyauterie et aux fixations mécaniques ;

Chapitre 02 : Les géomembranes

- l'accès pour la machinerie de vidange de la fosse.

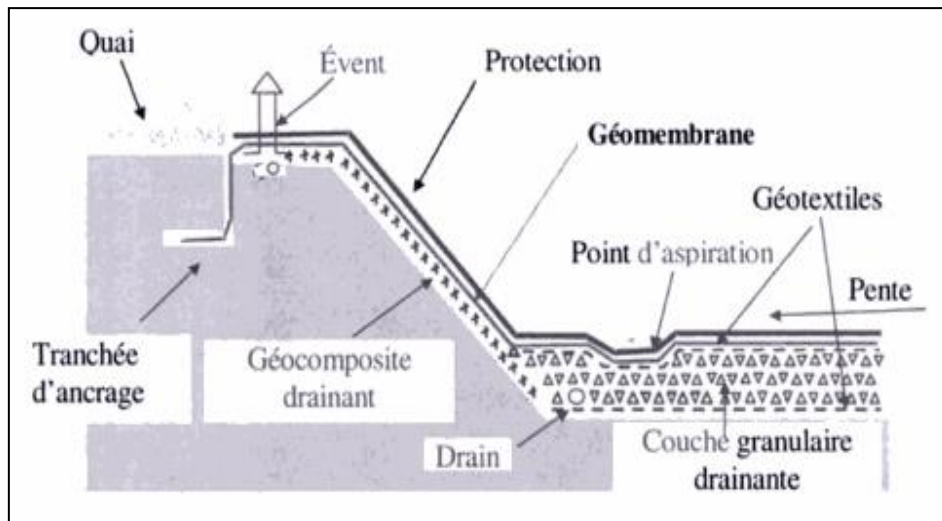


Figure II.11 : Schéma d'une fosse à lisier. (Rollin et al., 2002)

II.3.2.2.5. Aires de compostage et plate formes

On peut soit poser une géomembrane sur un gravier et la protéger par une mince couche de sable, soit utiliser un géotextile. On peut aussi placer la géomembrane directement sous des dalles de béton. (Rollin et al., 2002)

Les paramètres importants de la géomembrane sont :

- l'épaisseur, la masse par unité de surface ;
- la résistance à la traction des joints ;
- la résistance et l'élongation à la traction ;
- la résistance à la compression ;
- la résistance au poinçonnement statique (action des chargeurs) ;
- la résistance aux produits chimiques.

Les paramètres importants lors de la conception sont :

- l'installation de la géomembrane sur des sols meubles ou des assises fixes ;
- la résistance au glissement assurée par l'ancrage.

II.3.2.2.6. Bassins de traitement des eaux usées

Chapitre 02 : Les géomembranes

Pour étancher les bassins de traitement des eaux usées avec une géomembrane, il est nécessaire que celle-ci présente une résistance adéquate à certains produits chimiques et aux micro-organismes.

Les paramètres importants de la géomembrane sont :

- l'épaisseur, la masse par unité de surface ;
- la résistance à la traction des joints ;
- la résistance aux produits chimiques ;
- la résistance au poinçonnement statique (poids et action des aérateurs) ;
- la résistance et l'élongation à la traction ;
- la résistance aux bactéries.

Les paramètres importants lors de la conception sont :

- l'installation de la géomembrane sur des sols meubles ou des assises fixes ;
- la résistance au glissement assurée par l'ancrage ;
- les valeurs minimales de pentes pour assurer la stabilité des matériaux.

II.4. Placement de géomembrane sur le barrage

Pour permettre un bon contact entre le parement du barrage et la géomembrane sans rides, plis ou tension, on conseille généralement d'éviter l'installation en dehors de la plage de température + 5 °C à +35 °C. Les températures de mise en place dépendent du type de géomembrane utilisée.

De même, suivant la géomembrane, les températures de soudage seront différentes. Une géomembrane qui demande une plage restreinte de température de soudage peut affecter fortement le calendrier de mise en place.

En général, les rouleaux de géomembranes sont déroulés depuis la crête. Si la pente est inférieure à 1V/1,6H, des plateformes déplacées à l'aide de treuils ne sont pas forcément nécessaires. L'ancrage de la géomembrane à la périphérie et au pied du barrage est effectué par des ouvriers se déplaçant le long des fondations.

Chapitre 02 : Les géomembranes

Conformément au plan d'installation, chaque lé de géomembrane est prédécoupé, ou fabriqué en usine à sa longueur approximative entre la crête et le pied pour éviter des soudures transversales et faciliter la mise en place sur le parement.

Les lés de géomembrane ou de géocomposite avec géotextile pré-assemblé sont positionnés sur la crête du barrage, conformément au programme d'installation, et sont descendus depuis celle-ci à l'aide de dispositifs de déroulement par treuil, de manière à ce que deux lés adjacents se superposent sur une largeur suffisante.

Dans le cas d'un dispositif d'ancrage sur tout le parement, il est préférable de faire se superposer les deux lés sur les ancrages. Un ancrage provisoire en crête, et des lests positionnés sur la géomembrane permettent de la maintenir en place pour éviter le soulèvement par le vent et l'allongement provoqué par le poids mort. Quoiqu'il en soit, la géomembrane doit rester libre et ne doit pas être mise en tension.

Lors du déroulement de la géomembrane, il faut éviter plis et ondulations qui compliqueraient la soudure et réduirait le frottement et donc la stabilité de la géomembrane sur sa couche support. De plus, en cas de percement de la géomembrane, ces plis offriraient un chemin préférentiel pour la pénétration de l'eau.

Si on met en place un géotextile anti-poinçonnement indépendant de la géomembrane à étendre sur celui-ci, il sera également déroulé depuis la crête du barrage avant l'installation de la géomembrane.

Les lés de géotextiles doivent se chevaucher au minimum de 0,15 m et peuvent être cousus ensemble.

On a noté des occurrences de géomembranes soulevées par le vent pendant l'installation. Pour des vitesses de vent élevées, il n'est plus possible de disposer assez de sacs de sable comme lest temporaire. Il n'y a pas de solution évidente, et la possibilité d'un déplacement des géomembranes par le vent doit être prise en compte dès les premières études : par exemple, cela peut inciter à choisir un géotextile pré-assemblé à la géomembrane en usine, au lieu d'un géotextile séparé, pour éviter le soulèvement de l'ensemble et un mauvais positionnement de la géomembrane sur un géotextile mis "en bouchon".

Au moment de l'installation, cet aspect doit être discuté par toutes les parties avant de mettre en place la géomembrane.

Chapitre 02 : Les géomembranes

Le meilleur moment se situe lors de la réunion préalable à la construction qui rassemble toutes les parties impliquées. En cas de déplacement, il est alors possible de simplement repositionner la géomembrane, de ressouder ou de recoller des bandes sur les endroits déchirés, de vérifier si la géomembrane est endommagée sur les plis ou les déformations les plus importantes, ou (dans le pire des cas) de rejeter les rouleaux ou lés impliqués. Il faut cependant noter que ce rejet peut provoquer un retard du projet, car l'installateur n'aura probablement pas de matériau de remplacement sous la main. De plus, il faut qu'ait été évoqué de manière franche et exhaustive à la réunion précédant le chantier les responsabilités financières pour le remplacement des géomembranes : les risques de dommages provoqués par le vent ne peuvent être écartés lors de l'installation, et doivent donc être gérés. Cela suppose de trouver un équilibre dans les procédures d'installation entre la probabilité et les conséquences de ces dommages, et le calendrier et les coûts de cette installation. Pour les géomembranes exposées, le vent est un paramètre dont il faut tenir compte également après la mise en place du DEG.

Les contraintes à la mise en place et les déformations associées sont importantes et doivent être prises en compte. Des allongements dus à la température, à l'évolution de l'ensoleillement et au poids mort de la géomembrane vont se produire. S'ils sont supérieurs à 2 % ils risquent d'entraver la mise en place et le soudage. Les mesures visant à minimiser les contraintes et l'allongement sont donc essentielles.

Une géomembrane avec un faible coefficient de dilatation thermique est préférable.

Lorsque la géomembrane est correctement positionnée, les lés adjacents sont soudés les uns aux autres. Dans la mesure du possible, la soudure doit être de type double automatique, ce qui permet son contrôle global. Les soudures manuelles simples ne seront utilisées que dans les coins, et là où la machine de soudure automatique double n'a pas accès. Le soudage ne doit être exécuté qu'en absence de précipitations, ou sous abri. (ICOLD / CIGB, 2010)



Figure II.12 : Barrage de Bovilla, Albanie 1996, nouvelle construction: des dalles en de béton non renforcées sont moulées in situ au-dessus d'un géotextile protégeant le géocomposite de PVC contre bétonnage. (ICOLD / CIGB, 2010)

II.5. Soudure de géomembranes

Des géomembranes polymères peuvent être soudés ou cousus par les méthodes thermiques ou la soudure chimique. Les méthodes thermiques se fondent sur la fusion des surfaces à joindre en utilisant la chaleur appliquée (ceci inclut la soudure de cale, la soudure d'air chaud, la soudure d'extrusion et moins généralement, soudure ultrasonore). Coudre de produit chimique se fonde sur l'utilisation des dissolvants de ramollir le collé des surfaces mais cette technique peuvent seulement être employées pour ces géomembranes qui sont ramollis par des dissolvants. (Sheirs.j ,2000)

II.5.1. Soudure de Cale

La soudure chaude de cale est une technique thermique où les deux surfaces d'opposition de géomembrane être soudé sont fondus en passant une cale ou un couteau chaude en métal entre elles (voir la figure .II.13).De la pression est simultanément appliqué au dessus et/ou géomembranes inférieurs pour former un lien intégral. Des soudures de ce type peuvent être faites avec (ou 'dédoublé ') les voies en esclavage duelles ont séparé par un espace non-fondu (connu sous le nom de canal d'air) de ce qui est utilisé pour l'essai de pression atmosphérique. De telles soudures sont mentionnées As soudures chaudes duelles de cale ou soudures à deux pistes. Alternativement, une cale chaude simple crée une voie uniforme solitaire de soudure de largeur La soudure chaude de cale est applicable au PEHD,

Chapitre 02 : Les géomembranes

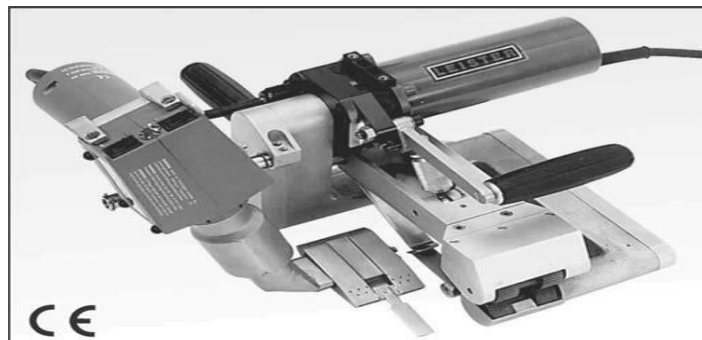
LLDPE, fPP, PVC et matériaux d'Eia-r, mais pas approprié généralement à EPDM et Epdm-r, bien que Trelleborg (Danemark) fasse les recouvrements d'EPDM qui sont thermiquement soudables. (Sheirs.j ,2000)



Figure II.13: Photographie du sertissage des coins des membranes de géomembranes en PEHD soudeur (vue de côté). Reproduit avec la permission de Sotrafa.(Sheirs.j ,2000)

Des machines de soudure chaudes modernes de cale sont en grande partie automatisées et commandent soigneusement paramètres d'emploi principal de la température de cale, taux de déplacement et degré de pression appliqué (voir la figure. II.14). Le canal non-collé permet à l'intégrité de la soudure d'être champ évalué en pressurant le canal avec de l'air comprimé et puis en observant si la pression demeure constante. N'importe quelle baisse dans la pression atmosphérique peut indiquer qu'il y a une fuite dans la couture.

Les méthodes chaudes duelles de soudure de cale sont maintenant identifiées comme situation actuelle dedans soudure de géomembrane. (Sheirs.j, 2000)



Chapitre 02 : Les géomembranes

Figure II.14 : Photographie d'un soudeur à coin chauffant. Reproduit avec l'autorisation de Leister

II.5.1.1. Le procédé de soudure de cale

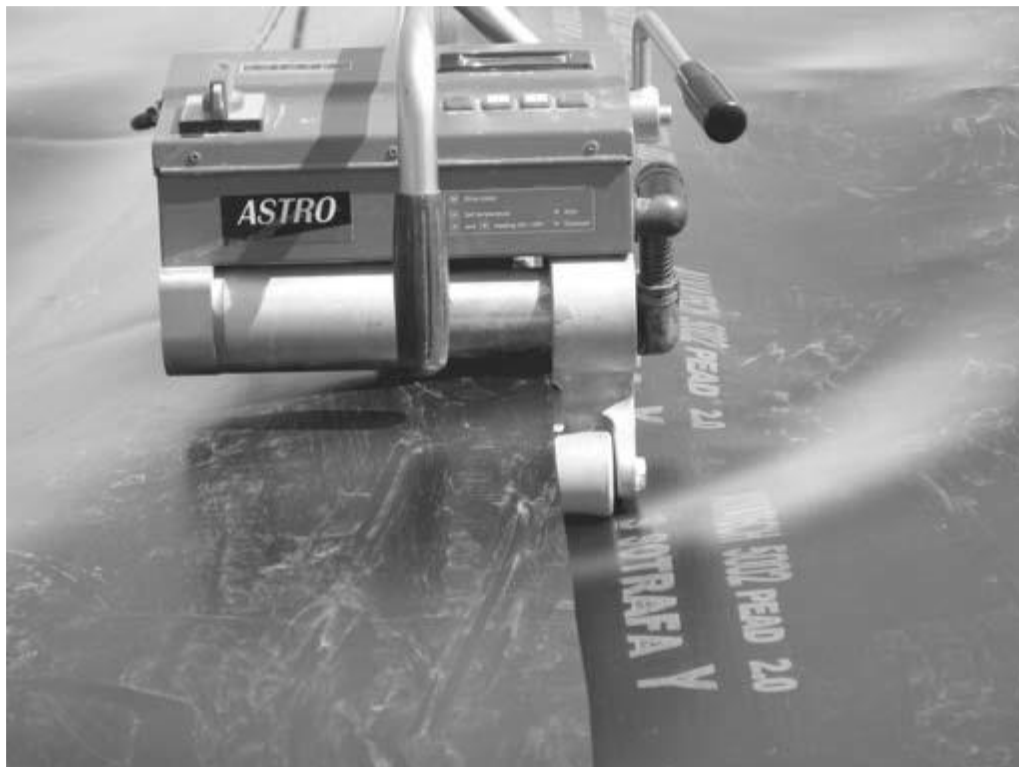
Le soudeur de cale est un soudeur fixe de chevauchement, où la couture soudée est produite par deux bords du recouvrement passant par la soudeuse de cale (1 feuille au-dessus de la cale et une feuille sous la cale) à taux de déplacement fixe (voir la figure .II.15). Ce processus fond les feuilles, suivies de maintenir les recouvrements ensemble de pression/drive arrière roule.

Les sections de recouvrement exigent un chevauchement fixe entre de 8 centimètres à 10 centimètres. Réglage du dessus la feuille peut être exigée pour s'assurer que le chevauchement de 8-10 centimètre est continu sur la longueur de la couture à souder.

La soudeuse voyage en avant avec les roues d'entraînement étant à l'arrière de la machine.

La soudeuse est chargée avec le recouvrement supérieur (c.-à-d. la feuille qui sera chargée du côté à gauche une fois vu de l'arrière de la machine) et du recouvrement inférieur

(Chargement de la droite). La soudeuse fonctionne typiquement à une vitesse et à une température constante avec une gamme entre (400-430 °C) une fois que la machine est réchauffée. (Sheirs.j , 2000)



Chapitre 02 : Les géomembranes

Figure II.15 : Photographie du sertissage des calques de géomembranes en PEHD soudeur (vue de face). Reproduit avec la permission de Sotrafa. (Sheirs.j, 2000)

Paramètre	Leister Twinny T	Leister Astro	Leister Cosmo
Vitesse (m/min)	0.8–3.2	0.8–5.0	0.5–5.0
Température (°C)	20–560	20–420	20–450
Pression de soudure (N) (maximum)	1000	1500	2500
Circulation d'air (l/min)	150–190	Aucune circulation d'air	Aucune circulation d'air
Poids (kg)	7.9	23	32
Possibilités matérielles d'épaisseur (mm)	1.5–3.0	1.5–3.0	1.5–3.0
Nombre de cales	Choisir la cale	Choisir la cale	Double cale
Cheminement d'individu	Non	Cheminement d'individu	Cheminement d'individu

Tableau II.02 : Caractéristiques et paramètres d'exécution des soudeuses généralement utilisées de cale pour géomembranes (données de Leister). (Sheirs.j, 2000)

II.5.2. Soudage par extrusion

La soudure d'extrusion implique d'expulser un ruban de bande de polymère fondu au-dessus des bords (ou dans l'intervalle) du géomembrane deux légèrement ruder la feuille apprête pour être jointe. Extrudé fondu cause les surfaces des feuilles au fusible et après refroidissement de la soudure entière la région se refroidit et colle de manière permanente ensemble. La soudure d'extrusion est généralement effectuée sur des géomembranes de polyoléfine tels que le PEHD, le LLDPE, le fPP et le fPP-R. (Sheirs.j, 2000)

II.5.3. Soudure par fusion à l'air chaud

Dans le soudage à l'air chaud, un air ou un gaz à haute température est introduit entre les deux géomembranes surfaces pour faciliter la fusion localisée de la surface. Pression du rouleau est appliqué simultanément à la géomembrane supérieure et / ou inférieure, forçant ensemble la deux surfaces pour former un lien continu. La soudure à l'air chaud est applicable pour les géomembranes thermoplastiques (par exemple, PEHD, LLDPE, fPP, PVC et EIA-R) mais ne peut pas géomembranes thermodurcissables à souder (à savoir CSPE, CSPE-R, EPDM et EPDM-R durcies). (Sheirs.j, 2000)

II.6. Longévité

La vie de conception d'un géomembrane est définie comme temps prévu minimum de service où un géomembrane est prévu pour exécuter une fonction particulière de retenue. La capacité de survie des géomembranes est lié au type de géomembrane, la conception de l'installation, le CQA de la fabrication, la qualité de l'installation (soudure y compris) et la nature chimique des produits en contact avec le géomembrane.

La longévité d'un géomembrane est liée au changement des propriétés critiques d'exécution temps fini. La longévité des géomembranes peut également être influencée par la nature et qualité des additifs et les remplisseurs, particulièrement le type et le niveau de noir de charbon utilisés dans les feuilles de géomembrane.

En particulier la longévité des géomembranes est sensiblement influencée par la nature et qualité des stabilisateurs et des colorants d'UV-CRIBLAGE. En outre il non seulement dépendre de la concentration des additifs actuels mais également de leur dispersion. Un non-uniforme dispersion des additifs provoqués par le mélange distributif et dispersif faible pendant la fabrication peut mener aux régions qui sont déficientes en additifs protecteurs et sont ainsi plus susceptible de la dégradation localisée.

La longévité d'un géomembrane est une fonction de :

- il polymère bas ;
- la microstructure de polymère ;
- sa formulation (c.-à-d. le type des additifs et des remplisseurs composés dans elle, leur niveau et leur dispersion) ;
- caractéristiques du produit de retenue.

L'épaisseur de feuille est également un facteur important régissant la longévité des géomembranes.

Par exemple l'oxydation thermique et la dégradation UV dépendent de la superficie au volume, tandis que chimique la prise par diffusion et l'absorption sont inversement liées à l'épaisseur. (Sheirs.j, 2000)

II.7. Vieillessement de géomembrane

Le vieillissement des géomembranes est également un problème important, depuis des conditions environnementales comme la température, UV, l'oxydation et les agents chimiques tendres accélèrent la détérioration des géomembranes et des recouvrements. Les modes de l'échec incluent ce qui suit :

Chapitre 02 : Les géomembranes

1. Perte de propriétés physiques dues à l'abaissement du poids moléculaire du polymère près scission à chaînes.
2. Raidissement et fragilisation dus à l'oxydation et/ou à la perte de plastifiants et d'additifs.
3. Réduction de propriétés mécaniques et augmentation de perméabilité.
4. Échec des coutures de géomembrane.

Dans la majorité de cas il y a des combinaisons de ces facteurs, qui peuvent endommager au système de recouvrement.

La dégradation commence généralement en tant que changements de la structure de polymère et est par la suite manifesté en tant que changements des propriétés de technologie (par exemple propriétés mécaniques et hydrauliques) des géomembranes polymères. Les changements communs du polymère incluent la fragilisation, réduction ou gain dans le poids moléculaire, génération des radicaux libres et perte d'additifs stabilisants.

Par exemple, les mécanismes le plus susceptibles pour la dégradation du géosynthetics de polyéthylène dans la retenue les équipements sont dégradation mécanique, dégradation chimique et dégradation oxydante. La dégradation chimique peut se produire quand le géosynthetics sont exposés à fort produits chimiques (par exemple acides, bases, dissolvants, gaz réactifs) qui changent le polymère par des processus comme le gonflement, l'extraction et la dissolution. La dégradation oxydante est également une forme de la dégradation chimique, mais est considérée séparément dû à sa signification en polymère la dégradation, même dans les environnements où l'oxygène limité existe. (Sheirs.j, 2000)

II.8. Conclusion

Une étude bibliographique a été présentée dans ce chapitre sur les géomembranes pour l'étanchéité des barrages. Cette recherche nous a donné beaucoup d'information sur : les différents types des géomembranes, les avantages et inconvénients des géomembranes synthétiques couramment utilisées, les domaines d'utilisation des géomembranes et enfin les paramètres importants des géomembranes. A travers ces informations, il a été observé que l'utilisation des géomembranes pour l'étanchéité des barrages s'avère une technique très efficace en raison de sa facilité de mise en œuvre, son intérêt économique et sa capacité de rendre les barrages plus étanches et plus sécurisés. Cette partie bibliographique a permis de connaître les différentes étapes de la mise en place des géomembranes pour l'étanchéité des barrages. Ce chapitre a permis le choix et la connaissance des géomembranes qui serviront de base à notre étude.

Chapitre 03:
Etanchéité des barrages
par la géomembrane

III.1. Introduction

La fonction d'un barrage est de constituer une réserve d'eau, il est donc évident que ces ouvrages doivent être et demeurer étanches. L'apparition de fuites dans un barrage peut avoir des conséquences néfastes à plusieurs titres : augmentation des pressions interstitielles et détérioration des conditions de stabilité, érosion interne pouvant aboutir à la rupture.

Il existe divers aspects de la conception et de la construction des barrages avec étanchéité par géomembranes.

Dans ce travail, plusieurs types de barrages sont considérés tels que les barrages en remblai (barrages en terre et en enrochements), les barrages en béton et maçonnerie.

III.2. L'étanchement par géomembrane dans quelques exemples de barrage

III.2.1. barrage en maçonnerie ou en béton

L'étanchement par géomembrane de parements amont verticaux de barrage poids consiste à fixer mécaniquement un complexe géotextile/membrane PVC indépendant du parement amont de façon à permettre le drainage de la sous-face du complexe. Le drainage de la sous-face est assuré soit par une géogrille soit par un géotextile de fort grammage suivant s'il est nécessaire de protéger le complexe d'étanchéité contre un éventuel risque de poinçonnement.

Le complexe d'étanchéité est souvent constitué d'une géomembrane PVC d'épaisseur 2 à 2,5 mm stabilisée aux U.V. et contrecollée en usine sur un géotextile polyester de 500 g/m² environ. Les travaux de mise en place du complexe géotextile-géomembrane comportent les étapes suivantes :

- ✓ le complexe fixé en partie haute est déroulé par lés de 2 à 4 m de largeur jusqu'à la base du barrage,
- ✓ au droit des recouvrements verticaux, les deux lés sont soudés entre eux et un profilé, le plus souvent en inox, maintient l'ensemble des deux lés contre le parement,
- ✓ une bande de géomembrane PVC soudée de part et d'autre du profilé assure son recouvrement et son étanchéité. Sur tout le périmètre du parement amont, la membrane est également fixée mécaniquement par des profilés plats en inox. En rive et en fond de vallée, cette fixation est le plus souvent faite sur une plinthe en béton armée construite au pied amont du barrage.

Chapitre 03 : Etanchéité des barrages par la géomembrane

Enfin des événements de dégazage sont placés sur toute la longueur en crête de façon à permettre la ventilation de la sous-face du complexe géotextile-géomembrane.

La préparation du parement amont est souvent limitée et consiste essentiellement en :

- ✓ un nettoyage au jet d'eau sous forte pression (quelques centaines de bars),
- ✓ un ragréage ponctuel des défauts les plus grossiers ayant pour but d'ôter du parement les parties non adhérentes et de colmater les cavités trop importantes. (Michel LINO – ISL)

III.2.1.1. Barrage de l'Echapre

En 1997, le barrage de l'Echapre (département de la Loire) de type poids en maçonnerie

(Figure III.01) a fait l'objet de travaux de réfection de l'étanchéité du parement amont par une géomembrane PVC.

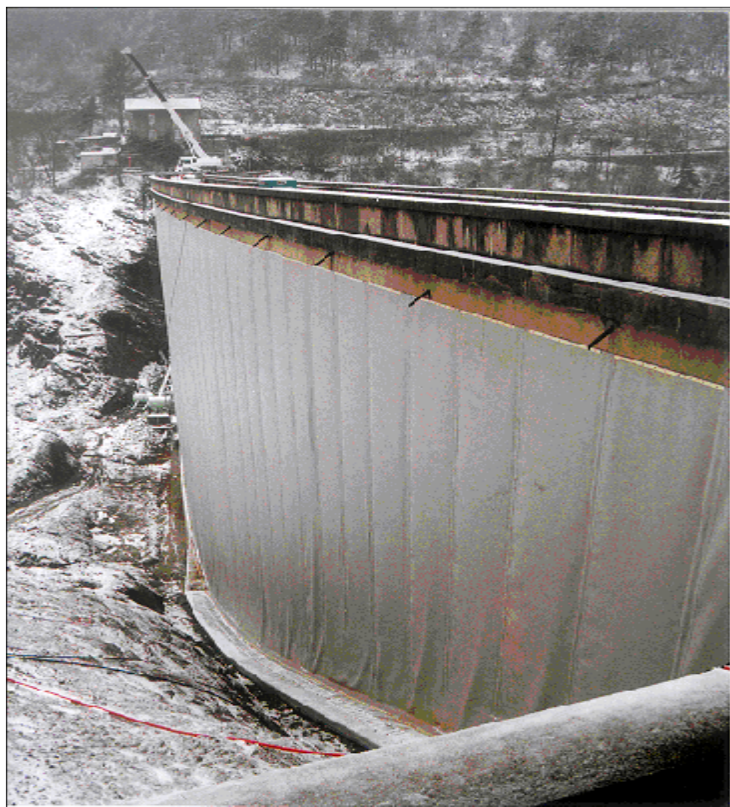


Figure III.01: Barrage de l'Echapre vue d'ensemble du parement amont.

Également, les travaux ont été réalisés suivant la description générale faite ci-dessous (figure III.02). En particulier

Dans ce cas, le drainage de la sous-face du complexe d'étanchéité est assuré par :

Chapitre 03 : Etanchéité des barrages par la géomembrane

- ✓ une géogrille en polyéthylène de densité 750 g/m² fixée mécaniquement sur toute la surface du parement amont pour assurer un drainage efficace entre la géomembrane et le parement amont,
- ✓ un drain collecteur en PEHD de hauteur 1 m et d'épaisseur 7 cm placé en pied de barrage, immédiatement au-dessus de la plinthe en béton armé,
- ✓ quatre forages traversant le corps du barrage permettant d'évacuer les éventuelles venues d'eau de condensation, d'infiltration ou de fuites.

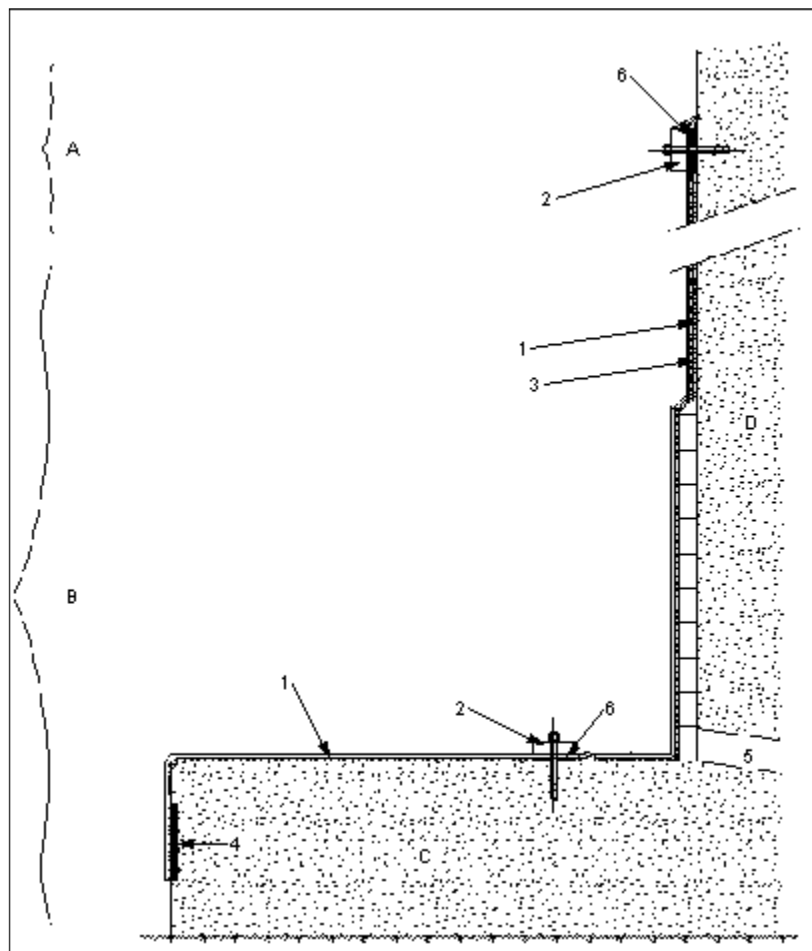


Figure III.02 : détails de fixation du complexe géotextile-géomembrane en crête et en pied du Barrage de l'Echape.

- (A) Fixation en crête
- (B) Fixation en pied
- (C) Plinthe béton armé
- (D) Parement amont
- (1) Complexe géotextile-géomembrane
- (2) Profilé plat vinylester
- (3) Géogrille polyéthylène
- (4) Joint waterstop
- (5) Drain plat
- (6) Mastic butyl préformé

Chapitre 03 : Etanchéité des barrages par la géomembrane

Dans le cas du barrage de l'Echape, quelques plis sont apparus sur certains lés à la suite du premier remplissage. A ce jour, ces plis n'ont aucune conséquence sur l'efficacité du système d'étanchéité.

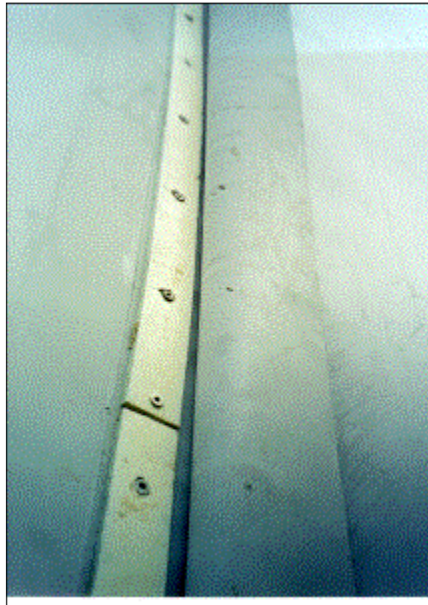


Figure III.03 : profilé vertical au droit du recouvrement de deux lés Barrage de l'Echape.

III. 2 .2. Barrage en remblai

Les géomembranes ont été utilisées dans plus de 160 barrages en remblai C'est un succès remarquable, accompli surtout dans les cinquante dernières années. La distribution par type de géomembrane est la suivante si l'on ne considère que les 126 barrages dont la géomembrane a une épaisseur supérieure à 0,70 mm :

- ✓ PVC (acronyme anglais généralement utilisé pour chlorure de polyvinyle), 54 (43 %) ;
- ✓ géomembrane bitumineuse, 18 (14 %) ;
- ✓ PEHD (polyéthylène haute densité), 13 (10 %) ;
- ✓ butyle and autres élastomères, 11 (9 %) ;
- ✓ CSPE (acronyme anglais généralement utilisé pour polyéthylène chlorosulfoné), 7 (6 %) ;
- ✓ LLDPE (acronyme anglais généralement utilisé pour polyéthylène basse densité linéaire), 6 (5 %) ;
- ✓ PP (polypropylène), 6 (5 %) ;
- ✓ autres géomembranes fabriquées en usine, 2 (2 %) ;
- ✓ géomembranes fabriquées *in situ*, 9 (7 %).

Dans un barrage en remblai, on peut considérer deux positions pour la géomembrane : à la pente amont, couverte ou non, ou interne, c'est-à-dire située à l'intérieur du corps du barrage,

Chapitre 03 : Etanchéité des barrages par la géomembrane

inclinée, verticale ou quasi-verticale, en accordéon. Selon la base de données de la CIGB, dans 90 % des cas où une géomembrane est utilisée dans un barrage en remblai, elle se trouve au parement amont, et dans 10 % des cas elle est interne. Et, parmi les géomembranes situées à la pente amont, 70 % sont couvertes et 30 % exposées. (P. Royet,.et al)

III. 2 .2. 1. Barrage du Rouchain

Le barrage du Rouchain est un barrage en enrochements compactés à masque amont en béton armé qui a été construit en 1976. Sa hauteur maximale sur la fondation est de 55 m (figure III. 04).

Dès la première mise en eau, le barrage présente des fuites très élevées qui ne permettent pas son remplissage (250 l/s à 20 m sous la retenue normale). Des travaux limités à la réparation du masque d'eau en 1978 ne donnent pas satisfaction. En 1981-1984, des travaux de réfection importants sont engagés :

- pose d'une membrane Rodio (géotextile imprégné) sur le parement amont et sur la plinthe. Le raccordement sur la tour de prise d'eau s'effectue par un joint « lyre »,
- injections dans la plinthe et dans le rocher en rive gauche.

Ces travaux ont permis de réduire le débit de fuite à 20 l/s sous la cote de retenue normale et d'exploiter normalement le barrage jusqu'en 1999. Mais la membrane Rodio, non protégée, présente des dégradations alarmantes (zones décollées et arrachées au voisinage de la cote de retenue normale, perforation par les chutes de pierres) qui font craindre pour la pérennité de l'étanchéité.

En 1998, le Maître d'Ouvrage engage le projet de réfection du barrage.

Les travaux d'étanchement réalisés en 1999-2000 ont consisté à remplacer la membrane Rodio par une membrane PVC de 2 mm d'épaisseur protégée par un revêtement en béton armé. La membrane est posée en non-adhérence et simplement fixée en tête et en pied de parement par serrage sous des plats en acier inoxydable. Un géotextile anti-poinçonnement et de drainage est assemblé en usine sur la face inférieure de la membrane.



Figure III.04 : Barrage du Rouchain réfection du masque amont par géomembrane protégée.

L'élimination de la membrane Rodio dans les zones où elle était décollée ou dans les zones où elle masquait des irrégularités trop importantes du masque en béton armé (marches au droit des joints de fractionnement),

- ✓ la reprise par ragréage au mortier des irrégularités du support, le comblement au mortier des joints de fractionnement « ouverts » dans lesquels la membrane risquait d'être poussée,
- ✓ la pose des lès de membrane PVC et la réalisation des fixations haute et basse,
- ✓ la réalisation des ancrages pour la protection en béton armé,
- ✓ la pose d'un géotextile anti-poinçonnement sur la membrane,
- ✓ la construction du revêtement en béton armé.

La forte pente du parement amont (1,4 H/1 V) a nécessité d'ancrer la protection de la membrane dans le masque en béton armé.

De vannes situées au pied de la tour. Il est équipé de vannes et d'un piquage permettant la mesure du le barrage a été mis en eau en mai 2000. Il a atteint sa cote de retenue normale en mars 2001 et a un comportement tout à fait satisfaisant. (Michel LINO – ISL)

III.2.2.2. Barrage d'Aubrac

Le barrage d'Aubrac est un ouvrage en remblai (figure III. 5) construit en 1985-1986 de 14 m de hauteur et permettant de stocker 1 260 000 m³ d'eau destinée à l'alimentation en eau potable. C'est un ouvrage en remblai homogène gravo-sableux. L'étanchéité du barrage est assurée par une géomembrane mise en place sur le parement amont de l'ouvrage et prolongée en fondation par une paroi moulée de quelques mètres de hauteur, recoupant l'horizon graveleux superficiel surmontant un rideau d'injection dans le basalte du substratum.

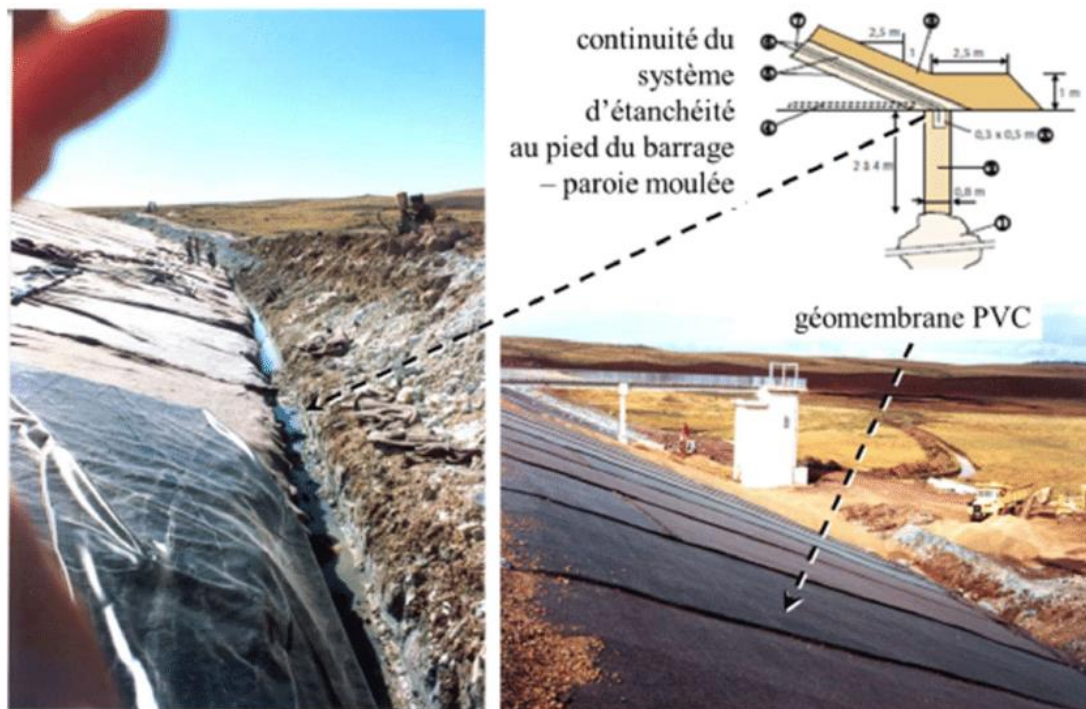


Figure III. 05 : Barrage de l'Aubrac : connexion entre la géomembrane PVC et le rideau vertical en paroi moulée afin d'assurer une continuité de l'étanchéité (1986).jean luce

Le dispositif d'étanchéité par géomembrane (DEG) est constitué des éléments successifs suivants, mis en place sur le parement amont de fruit 2,5 :

- couche drainante de 20 cm d'épaisseur en grave 0-25 mm ;
- géotextile non tissé (500 g/m²) ;
- géomembrane PVC-P de 1,2 mm d'épaisseur ;
- géotextile non tissé (500 g/m²) ;
- couche de protection de 20 cm d'épaisseur en grave 0-25 mm ;
- couche de protection de 50 cm d'épaisseur en enrochement 100-300 mm.

Chapitre 03 : Etanchéité des barrages par la géomembrane

Le raccordement au pied du talus avec le rideau d'étanchéité de la fondation a été assuré par immersion de la géomembrane dans une tranchée étroite réalisée dans la paroi moulée et remplie d'un coulis bentonite-ciment. Sous la géomembrane à la base de la couche drainante, un drain de pied permet de récupérer les éventuelles venues d'eau et ainsi éviter les sous pressions ; L'incident survenu pendant le chantier est un glissement au niveau de l'interface géomembrane géotextile inférieur qui est intervenu sur une surface de 1 000 m² environ lors de la mise en place des couches de protection.

Ce glissement a eu lieu bien que l'angle de frottement à l'interface considérée (mesuré à la boîte de cisaillement) soit supérieur à l'angle de la pente du parement amont ; les explications de ce glissement, alors avancées, sont d'une part l'effet dynamique d'engins circulant sur la couche de protection (par exemple arrêt brutal en descendant) et la présence d'une partie légèrement plus pentue du parement amont au pied rive droite de la passerelle. Cet incident est à l'origine du développement de l'essai de frottement au plan incliné qui permet de tester les interfaces sous faible contrainte ; les essais à la boîte de cisaillement (contraintes de quelques centaines de kPa) conduisent dans certains cas à surestimer l'angle de frottement aux interfaces entre géosynthétiques. (Girard et al., 1990)

III.2.2.3. Position de la géomembrane dans les barrages en remblai

III.2.2.3.1. Barrages avec géomembrane exposée sur la pente amont

Environ 30% des géomembranes utilisées à l'amont des barrages en remblai sont exposées. Ces géomembranes sont soumises à diverses actions potentiellement néfastes :

- dommages par actions mécaniques (impacts, abrasion) dues à diverses causes: glace, débris flottants, chutes de pierres, animaux, vandales, circulation, etc. ;
- dégradation par exposition aux agents de l'environnement (oxygène, UV, chaleur) ;
- déplacement par le vent, les vagues, les fluctuations du niveau de la retenue, la gravité (qui cause du fluage).

Seules des géomembranes ayant une résistance suffisante aux diverses causes de dégradation peuvent être utilisées exposées.

III.2.2.3.2. Barrages avec géomembranes couvertes sur la pente amont

Si une géomembrane est exposée sur la pente amont d'un barrage en remblai, elle est soumise à un certain nombre d'actions néfastes qui peuvent l'endommager.

Chapitre 03 : Etanchéité des barrages par la géomembrane

La protection des géomembranes contre ces actions est typiquement assurée en recouvrant la géomembrane d'une couche de matériau lourd et résistant, comme du béton ou un sol (plus particulièrement gravier et enrochements). Selon les données de la CIGB, environ 70% des géomembranes utilisées à l'amont des barrages en remblai sont couvertes. Ce pourcentage 12+°10élevé s'explique par le nombre et la sévérité des actions néfastes potentielles

III.2.2.3.3. Barrages avec géomembrane intern

Les géomembranes en position interne ont généralement plus d'inconvénients que d'avantages. Par conséquent, les barrages avec géomembranes internes ne comptent que pour 10% des barrages avec géomembranes.

- Barrages avec une géomembrane interne inclinée
- Barrages avec géomembrane centrale
- Un excellent exemple de géomembrane en position interne en forme d'accordéon (Figure III.6) est le batardeau Gibe III, de 50 m de haut, en Éthiopie. La géomembrane a été installée à partir du fond de la fouille jusqu'à la crête, suivant une géométrie en accordéon (zigzag).
- Cette mise en place alternée est celle recommandée par Giroud (1990, 1991).

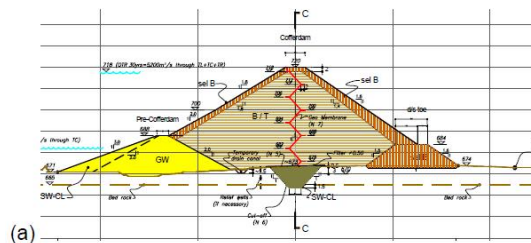


Figure III.06: Coupe typique batardeau en construction du batardeau Gibe III.



Vue du batardeau en construction.

III.2.2.4. Effet de la géomembrane sur le comportement d'un barrage en remblai

Pour bien expliquer l'effet de la géomembrane sur le barrage en terre, On va étudier à l'aide du logiciel Plaxis plusieurs cas.

III.2.2.4.1. Présentation du logiciel PLAXIS. (Brinkigreve , 2003)

Le logiciel Plaxis est le logiciel d'éléments finis de référence en géotechnique dont le développement commença en 1987 à l'initiative du ministère des travaux publics et d'hydrologie des Pays-Bas. Son but initial était de créer un code éléments finis facilement

Chapitre 03 : Etanchéité des barrages par la géomembrane

utilisable en 2D pour analyser l'effet de l'implantation d'une digue fluviale sur les argiles molles des Pays-Bas. En quelques années, Plaxis a été étendu à plein d'autre domaine de la géotechnique. En 1998, la première version de Plaxis pour Windows est développée. Durant la même période une version 3D du logiciel a été développée.

PLAXIS 2D est donc un programme en deux dimensions spécialement conçu pour réaliser des analyses de déformation et de stabilité pour différents types d'applications géotechniques. Les situations réelles peuvent être représentées par un modèle plan (déformation plane) ou axisymétrique. L'algorithme général du code PLAXIS consiste à résoudre un système d'équations algébriques non linéaires selon un processus itératif pour déterminer les valeurs de déplacements aux différents nœuds du maillage, le champ de contraintes et les états de rupture du sol.

Le programme utilise une interface graphique pratique permettant aux utilisateurs de générer rapidement un modèle géométrique et un maillage d'éléments finis basés sur la coupe verticale de l'ouvrage à étudier. Le manuel d'utilisation du code Plaxis présente une description détaillée du logiciel.

III.2.2.4.1.1. Les points forts de Plaxis

- La convivialité de l'interface pour la saisie des données et pour l'interprétation des résultats;
- Générateur automatique de maillage ;
- Jeu complet de lois de comportement de sol et la possibilité de définir ses propres lois de comportement ;
- Couplage avec les calculs d'écoulement et de consolidation ;
- Prise en compte des éléments de structure et de l'interaction sol-structure ;
- Calculs de coefficient de sécurité.

III.2.2.4.1.2. Les sous-programmes de Plaxis

L'interface d'utilisation de PLAXIS se compose de quatre sous-programmes (Input, Calculations, Output et Curves) :

Chapitre 03 : Etanchéité des barrages par la géomembrane

a) Le programme d'entrée de données (Input) :

Le programme contient tout ce qui est nécessaire pour créer et modifier un modèle géométrique, pour générer le maillage d'éléments finis correspondant et pour générer les conditions initiales.

b) Le programme de calcul (Calculations) :

Ce programme contient tous les éléments pour définir et amorcer un calcul par la méthode des éléments finis. Au début du programme de calcul, l'utilisateur doit choisir le projet pour lequel les calculs vont être définis.

c) Le programme de résultats (Output) :

Ce programme contient tous les éléments qui permettent de voir les résultats des données générées et des calculs d'éléments finis. Au début du programme de résultats, l'utilisateur doit choisir le modèle et la phase de calcul appropriée ou le numéro du pas pour lequel les résultats seront affichés.

d) Le programme courbe (Curves) :

Ce programme contient tout le nécessaire pour générer des courbes charges- déplacements, des chemins de contrainte et des courbes contraintes-déformations.

III.2.2.4.2. Présentation du modèle numérique

Pour élaborer cette étude, on a pris un modèle de barrage en terre homogène de dimensions les plus ou moins répandues en Algérie, dans notre cas on a choisi un profil d'une section transversale dont les dimensions géométriques sont connues.

Le barrage Laalam est un barrage en terre homogène reposant sur une fondation perméable.

Dont les caractéristiques géométriques sont présentées dans la figure III. 7

- La hauteur totale de la digue est 12 m.
- La largeur en crête est de 5 m.
- Les pentes des talus: talus amont 1/3, talus aval 1/2.5.

Dans ce barrage, le réservoir est supposé rempli instantanément. Ainsi la charge hydraulique en amont est égale à 10 m.

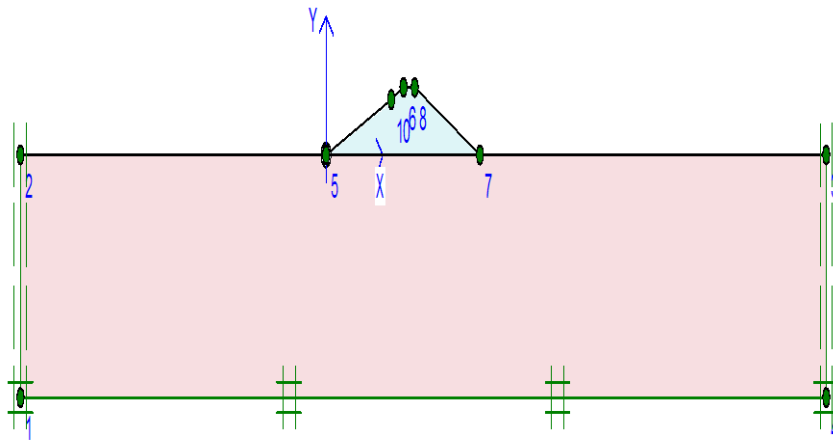


Figure III.07: Forme géométrique du barrage étudié.

III.2.2.4.3. Propriétés mécaniques et hydrauliques du barrage

Les propriétés mécaniques et hydrauliques de la retenue sont récapitulées dans (Le tableau III.01)

Propriétés mécaniques et hydrauliques	Valeurs
φ (°) angle de frottement (digue).	30
C (kPa) cohésion (digue).	1
γ_{sat} (kN/m ³) poids volumique du sol saturé. (digue)	20
γ_d (kN/m ³) Poids volumique sec du sol (digue).	16
K (m/s) coefficient de perméabilité (digue).	$1.16 \cdot 10^{-6}$
φ (°) angle de frottement (fondation).	20
C (kPa) cohésion (fondation).	20
γ_{sat} (kN/m ³) poids volumique du sol saturé. (fondation)	20
γ_d (kN/m ³) Poids volumique sec du sol (fondation).	19.5
K (m/s) coefficient de perméabilité (fondation).	$1.16 \cdot 10^{-6}$

Tableau III.01: Données mécaniques et hydrauliques du barrage.

III.2.2.4.4. Les différentes phases de modélisation

La modélisation avec logiciel Plaxis nécessite des connaissances sur la géométrie et les caractéristiques des matériaux qui construisent le corps de la digue et sa fondation, après

Chapitre 03 : Etanchéité des barrages par la géomembrane

on définit le maillage bien raffiné et on impose nos conditions aux limites, on génère les pressions interstitielles et les contraintes hydrostatiques.

On entame les deux parties de calculs dont la première consiste l'analyse plastique pour comprendre les différentes déformations de barrage, la seconde partie englobe le calcul du facteur de sécurité à la rupture final par la méthode « $c-\phi$ réduction » qui consiste à réduire les paramètres c' et ϕ des matériaux jusqu'à obtenir la rupture.

Cette étude est composée de deux phases :

- Premier cas : Fin de construction.
- Deuxième cas : après La mise en eau.

III.2.2.4.1. phase de modélisation du barrage en fin de construction

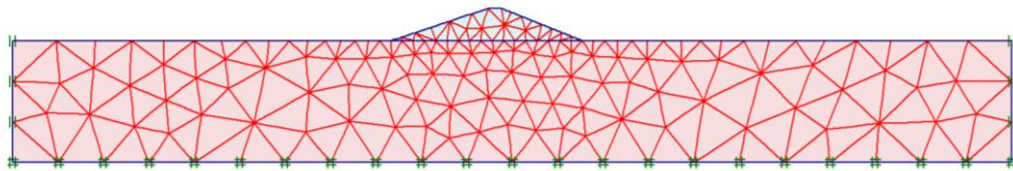


Figure III.8.a: maillage du barrage.

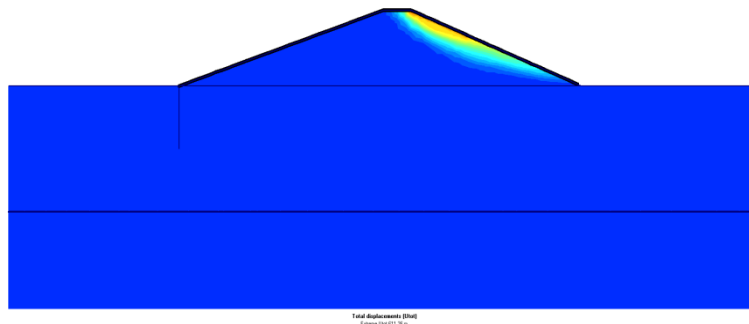


Figure III.8.b: cercle de glissement du barrage.

Dans ce premier cas (Fin de construction) On trouve d après le programme de plaxis le coefficient de sécurité du barrage sans drain et sans étanchéité égal à 1.6479 alors le barrage est stable.

III.2.2.4.2. Phase de modélisation du barrage en Fonctionnement normal

Cas 1: Barrage en terre homogène Sans écran et sans géomembrane

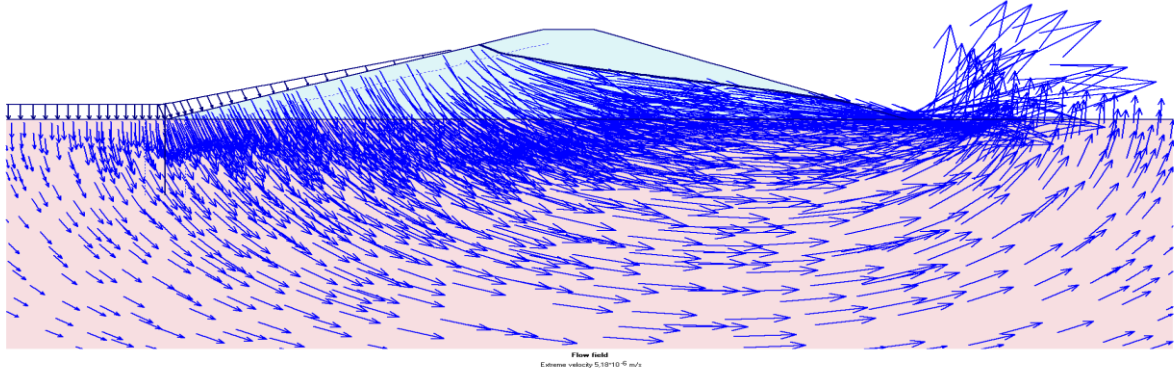


Figure III.9.a : Les lignes de courant de barrage.

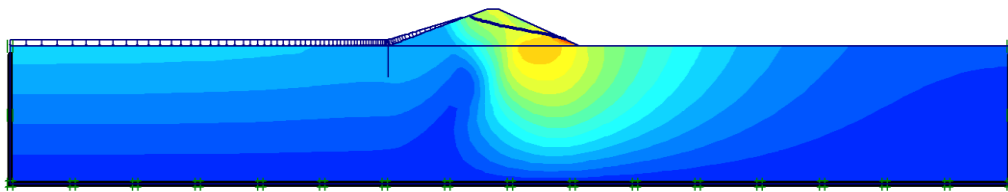


Figure III.9.b : Le cercle du glissement de barrage.

Dans le cas d'un fonctionnement normale, on trouve que le débit de fuite est très élevé et égale à $73.83 \cdot 10^{-6}$ l/s et le coefficient de sécurité égale a 0.8633.

Alors le barrage est instable (absence de la géomembrane et de l'écran).

Cas 2 : Barrage en terre homogène sans drain et avec écran

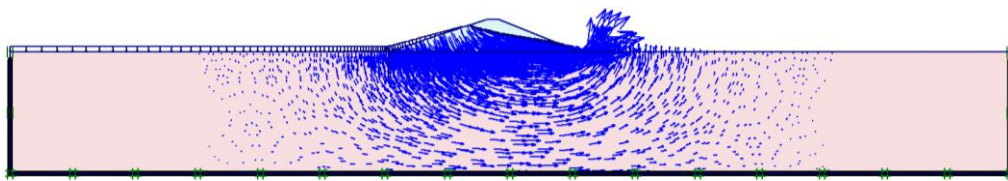


Figure III.10 : les lignes du courant de barrage.

On trouve dans le cas d'un barrage en terre homogène sans drain que le barrage est instable ($K_s = 0.8633$), et le débit de fuite est grand ($Q=73.83 \cdot 10^{-6}$) malgré la utilisation de l'écran.

On peut dire ici que le drain est indispensable pour la stabilité des barrages.

Chapitre 03 : Etanchéité des barrages par la géomembrane

Cas 3 : barrage en terre homogène sans drain avec géomembrane

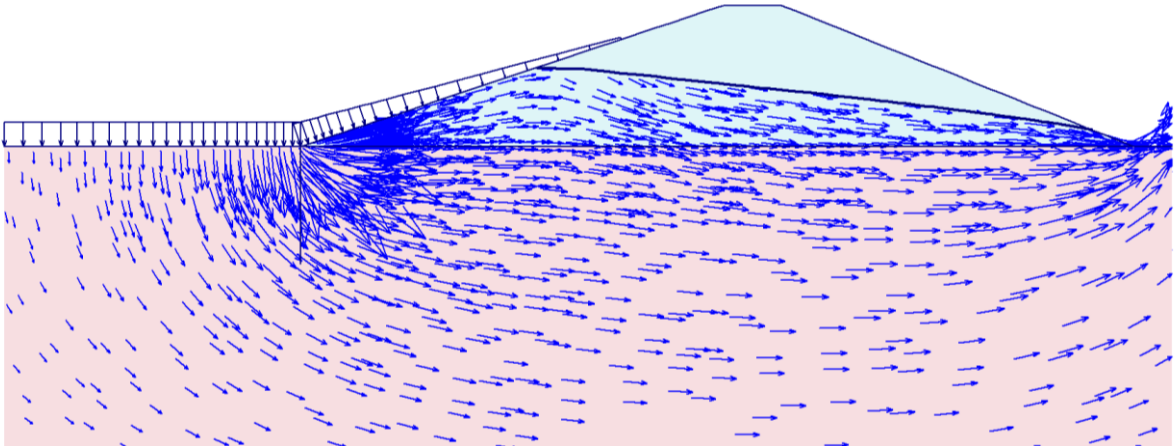


Figure III.11.a : les lignes du courant de barrage.

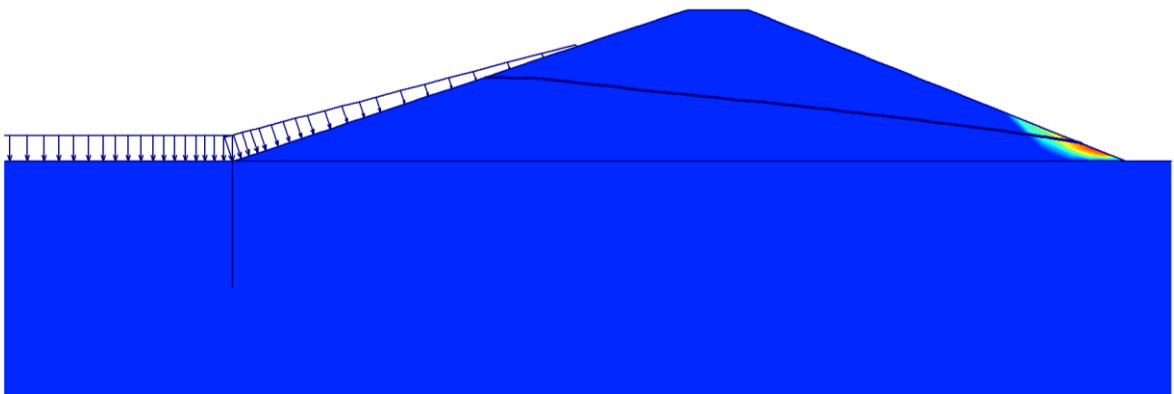


Figure III.11.b : Le cercle du glissement de barrage.

On remarque clairement que le débit de fuite se démunie de $73.83 \cdot 10^{-6}$ (cas précédant) jusqu'à $Q=53.5910^{-6}$ l/s lorsque on utilise la géomembrane.

Le barrage avec géomembrane et sans drain est stable puisque le coefficient de sécurité égal à 1.1041

On conclut que La géomembrane peut remplacer le drain de point de vue stabilité.

Cas 4 : Barrage en terre homogène sans drain avec géomembrane et écran

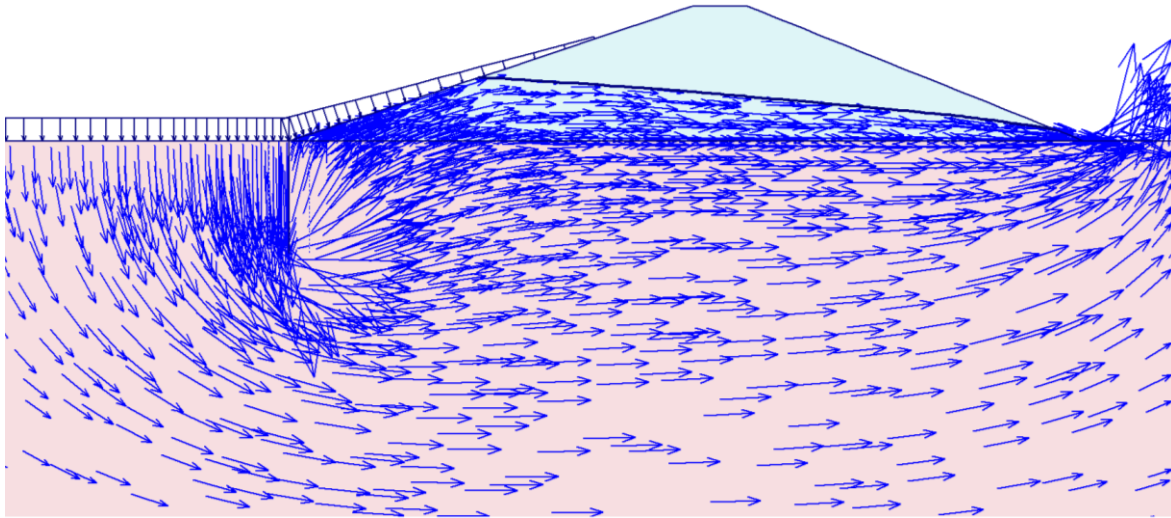


Figure III.12.a : Les lignes de courant.

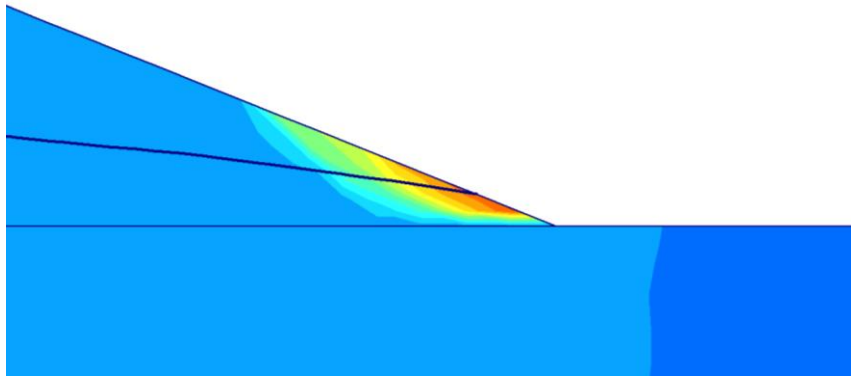


Figure III.12.b : Le cercle de glissement.

On voit que :

-Le coefficient de sécurité donné par le logiciel plaxis est de 1.2912.

Le barrage est stable a cause de l introduction (utilisation) de la geomembrane dans son étanchéité.

-la diminution de débit de fuite ($Q=44.48 \cdot 10^{-6}$) est due à l utilisation de l écran.

Cas 5 : barrage en terre homogène avec drain et sans étanchéité

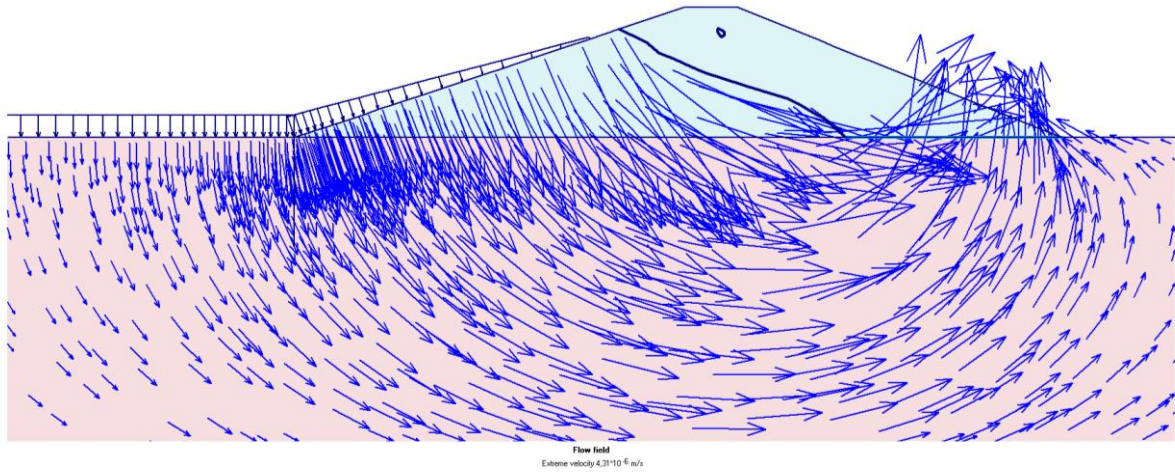


Figure III.13.a : Les lignes de courant.

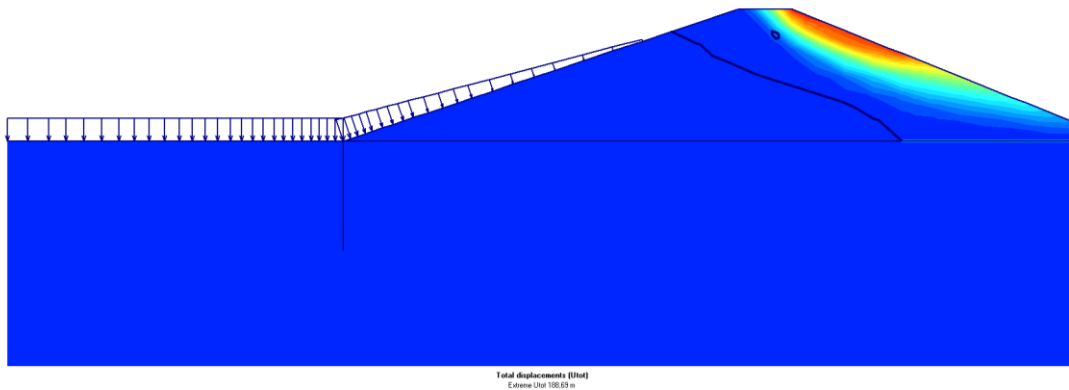


Figure III.13.b : Le cercle de glissement.

Dans ce cas (barrage en terre homogène avec drain et sans organe d'étanchéité) Le débit de fuite est très élevé et égale à $97.73 \cdot 10^{-6}$ l/s, l'augmentation de ce dernier est due à l'utilisation du drain qui augmente toujours le débit de fuite.

Le coefficient de sécurité est dans sa limite $K_s = 1.0031/s$.

Cas 6 : Barrage en terre homogène avec drain et avec écran

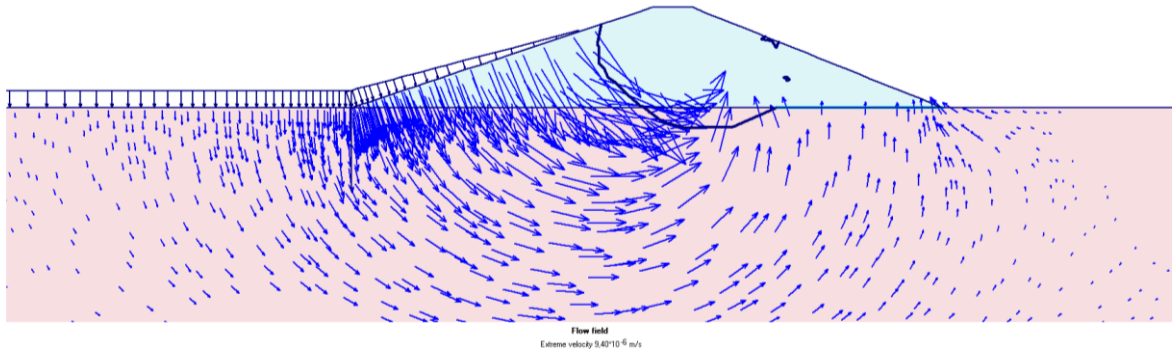


Figure III.14.a : Les lignes de courant.

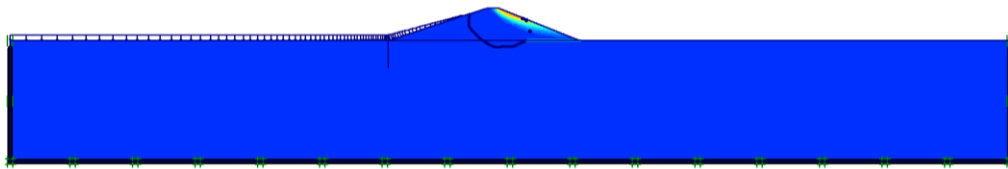


Figure III.14.b : Le cercle de glissement.

On remarque que dans un barrage muni d'un dispositif d'étanchéité et un drain :

- Le débit de fuite est très élevé et égale à $Q=92.20 \cdot 10^{-6} \text{ l/s}$;
- Le coefficient de sécurité prend sa limite et égal a 1.003.

Cas 7 : Barrage en terre homogène avec drain, écran et géomembrane

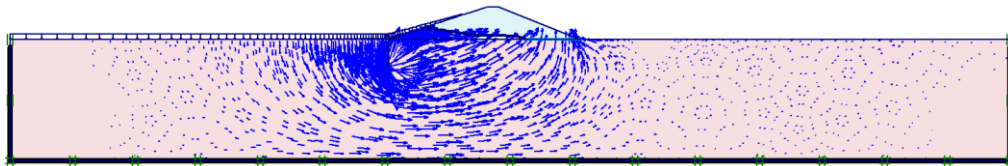


Figure III.15.a : Les lignes de courant.

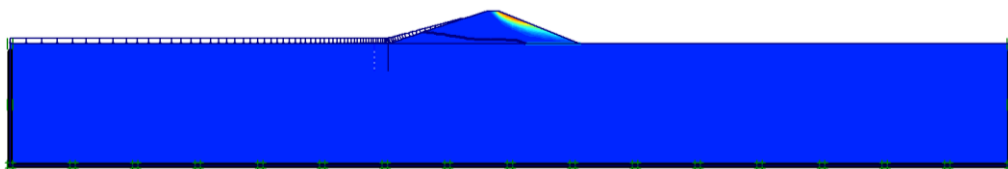


Figure III.15.b : Le cercle de glissement.

Le coefficient de sécurité dans le cas de fonctionnement normale est de **1.6468** est le même dans le cas de fin de construction, Ceci se traduit par l'impact de la présence de la géomembrane sur le parement amont du corps du barrage.

Chapitre 03 : Etanchéité des barrages par la géomembrane

En plus le débit de fuite est faible ($Q=46.12 \cdot 10^{-6} \text{ l/s}$) qui ne présentent pas d'évolution dans le temps.

III.3. Conclusion

L'utilisation des géomembranes pour l'étanchement des parements amont de barrage est une technique parfaitement maîtrisée et qui a donné de façon générale d'excellents résultats pour des coûts de travaux généralement compétitifs par rapport aux solutions concurrentes.

L'étanchement réalisé est généralement très efficace et très satisfaisant et l'impact sur le comportement et la sécurité du barrage est immédiat.

On ne constate pas de vieillissement prématuré de ces dispositifs d'étanchéité mettant en œuvre des géosynthétiques. Ceci se traduit, dans la plupart des cas, par des débits de fuite relativement faibles qui ne présentent pas d'évolution dans le temps. Par ailleurs, le suivi des propriétés mécaniques et physico-chimiques de la géomembrane des barrages confirme que le géosynthétique en lui même ne présente pas de processus de vieillissement rapide.

La durée de vie de tel masque peut être estimée de façon prudente à une trentaine d'années sur la base du comportement des ouvrages en service, en particulier en Italie. En France, le retour d'expérience est d'une vingtaine d'années et confirme la pertinence de ce type de solution.

La localisation extérieure de l'organe d'étanchéité permet dans tous les cas d'envisager une réparation en cas d'altération à long terme de l'étanchéité du masque.

(ICOLD et CIGB, 1991 ; Rollin et al., 2002).

Conclusion générale

Conclusion générale

Certains barrages dans le monde sont confrontés au problème des fuites d'eau à travers les rives et les fondations. L'étude de ce phénomène s'avère prioritaire, car il peut mettre en danger la stabilité du barrage et réduire sa capacité utile.

Dans ce mémoire, nous avons proposé une technique très fréquente pour la diminution du débit de fuite des barrages, cette technique est basée sur l'utilisation de la géomembrane comme une barrière imperméable remplaçant les matériaux traditionnels.

Pour élaborer cette étude, on a pris le modèle d'un barrage en terre homogène reposant sur une fondation perméable, notre choix était le barrage de Laalam où on a choisit une section transversale dont les dimensions géométriques sont connues.

La modélisation avec logiciel Plaxis nécessite des connaissances sur la géométrie et les caractéristiques des matériaux qui construisent le corps de la digue et sa fondation, après on définit le maillage bien raffiné et on impose nos conditions aux limites, on génère les pressions interstitielles et les contraintes hydrostatiques.

On entame les deux parties de calculs dont la première consiste l'analyse plastique pour comprendre les différentes déformations de barrage, la seconde partie englobe le calcul du facteur de sécurité à la rupture final par la méthode « c- ϕ réduction » qui consiste à réduire les paramètres c' et ϕ des matériaux jusqu'à obtenir la rupture.

Les résultats numériques ont montré que :

- L'étanchement réalisé par la géomembrane est très efficace et l'impact sur le comportement et la sécurité du barrage est immédiat.
- L'utilisation des géomembranes pour l'étanchement des parements amont de barrage a donné d'excellents résultats pour des coûts de travaux généralement compétitifs par rapport aux solutions concurrentes.

Conclusion générale

- On ne constate pas de vieillissement prématuré de ces dispositifs d'étanchéité. Ceci se traduit par des débits de fuite relativement faibles qui ne présentent pas d'évolution dans le temps.
- La durée de vie de tel masque peut être estimée de façon prudente à une trentaine d'années sur la base du comportement des ouvrages en service.

Ce travail ouvre plusieurs perspectives de recherche entre autres, on peut citer :

- L'application de la géomembrane dans le cas des paramètres dynamiques
- L'utilisation de la géomembrane en position incliné
- La mise en oeuvre de la géomembrane sur un barrage en béton.

Bibliographie

- **(A.HERAGMI, 2009)** : "CHOIX ET CONCEPTION DE L'ORGANE DE L'ETANCHEITE DES BARRAGES EN TERRE BARRAGE EL-AGREM JIJEL". diplôme de MAGISTER. annaba : s.n. 2009. p. 12. Vol. 94.
- **(ANB. 2003)** : Agence nationale des barrages (ANB). Détection des fuites d'eau dans les retenues des barrages. Rapport interne. Alger : ANB, 2003.
- **(B.MESSAID, 2009)** : "étude de la position efficace des drains ans les barrages en terre". batna : s.n. 2009. pp. 34-35. Vol. 263.
- **(BOUHLALI M. 2006)** : « *les risques associés aux barrages* », Mémoire de Magister en Génie Civil, Département de Génie Civil, Faculté de Technologie, Université de Tlemcen, [Algérie].
- **(BREYSSE D. 2009)** : «Maitrise des risques en génie civil 1», maitrise et gestion des risques dans l'aménagement de la construction, [France].
- **(BREYSSE D. 2009)** : «Maitrise des risques en génie civil 2», maitrise et gestion des risques dans l'aménagement de la construction, [France].
- **(Cazzufi,D. 1997)** : Evaluation du comportement des géomenbranes non protégée su les barrages des Alpes italiennes. Comptes rendue Rencontres 97, comite fr. des géosynth, Reims,vol.2, p. 149-155.
- **(Cazzufi,D. 1999)** : Comportement de la géomenbrane appliquée en 1959 sur le barrage de Contra- du sabetta, comptes rendus du colloque Rencontres 99, comite fr, des géosynth, Bordeaux, vol, 1, p. 305-310.
- **(CHULLIAT O. TQUET B. & BOUTET J.M. 2013)** «le confortement du barrage du Chambon», [France].
- **(DEROO L. 2011)** «Notes sur l'accidentologie des barrage-poids», Colloque CFBR-AFEID, Etudes de dangers, [France].
- **(Jean-Louis BORDES)** : Ingénieur de l'École Centrale de Paris Expert, Coyne et Bellier.
- **(Hydropower & dams)** www.hydropower-dams.com

Bibliographie

- **(ICOLD/CIGB,2010) Bulletin135:** Geomembrane Sealing Systems for Dams: Design Principles and Review of Experience, International Commission on Large Dams, France, 2010.
- **(ICOLD / CIGB, 1991) :** Watertight géomembranes for dams -State of the art / Etanchéité des barrages par géomembranes - Technique actuelle, Bulletin technique CIGB, n° 78, Paris, 140 p. (actualisation en cours).
- **(GIRARD, H., FISCHER, S., ALONSO, E., 1990):** Problems of friction posed by the use of geomembranes on dam slopes – Examples and measurements, Geotextiles and Geomembranes, 9, p. 129-143, England, Elsevier.).
- **(Giroud J.P. 1990):** Functions and applications of geosynthetics in dams. Water Power and Dam Construction, Vol. 42, No. 6, June 1990, pp. 16-23.
- **(Giroud J.P. 1991):** Embankment Dams - Géomembranes, U.S. Bureau of Reclamation Design Standards, No. 13, Chapter 20, 302 pages.
- **(MALFI A. & KOLLI A., 2012) :** Infiltration dans les barrages en terre et influence des dispositifs de drainage. Mémoire d'ingénieur. Université Abou-Bekr Belkaïd, Tlemcen, Algérie.
- **(Michel LINO – ISL) :** Techniques de réhabilitation Réfection de l'étanchéité par pose de géomembranes par Michel LINO – ISL.
- **(P. Royet, H. Girard, D. Poulain, C. Tisserand) :** Comportement des géomembranes dans les barrages français en remblai. Ingénieries - E A T, IRSTEA édition 2002, p. 3 - p. 15. <hal-00465446>
- **(R.B.J. Brinkgreve) :** «PLAXIS, Manuel de référence ». VERSION 8, DELFT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY & PLAXIS BV, PAYS-BAS,2003.
- **(RECLAMATION Managing Water in the West design no. 13 Embankment Dams chapter20):** Geomembranes, phase 4 (final), US department of the interior Bureau of Reclamation, March 2014.
- **(REMINI B. 2007) « L'envasement des barrages : quelques exemples algériens »,** Maitre de conférence université de Blida, [Algérie].
- **(REMINI B 2005) :** Problématique de l'eau en Algérie. Alger : Office des publications universitaires (OPU), 2005
- **(Richardson, G.N. and R.M. Koerner):** Geosynthetic Design Guidance for Hazardous Waste Landfill Cells and Surface Impoundments, EPA Contract No. 68-03-3338, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio 1988.

Bibliographie

- **(ROLLIN, A., PIERSON, P., LAMBERT, S., 2002)** : Géomembranes, Guide de choix, Presses Internationales Polytechnique, Montréal, Commercialisation pour la France.
- **(ROLLIN, A., PIERSON, P., LAMBERT, S., 2002)** : Géomembranes, Guide de choix, Presses Internationales Polytechnique, Montréal, Commercialisation pour la France : Tec & Doc Lavoisier, 312 p.
- **(Scheirs, J., Compositional and Failure Analysis of Polymers):** A Practical Approach, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK, 2000, 766 pp.
- **(SCHLEISS A.J. & POUGATASCH H. 2011)** : « Les barrages ; volume 17», Traité de génie civil de l'école polytechnique fédérale de Lausanne, [Suisse].
- **(S.M.CHERIF et M.C.BOUHASSANE, 2013)** : "Etude comparative des barrages à noyau central". diplôme de Masterr. tlemcen : université abou bekr belkaid, faculté de la technologie, 2013. pp. 47-48. Vol. 93.
- **(Stark, T.D., H. Choi, and P.W. Diebel):**“Influence of Plasticizer Molecular Weight on Plasticizer Retention in PVC Geomembranes,” *Geosynthetics International*, Vol. 12, No. 2, pp. 99–110, 2005.

Résumé

Dans ce mémoire, nous avons proposé une technique très fréquente pour la diminution du débit de fuite des barrages, cette technique est basée sur l'utilisation de la géomembrane comme une barrière imperméable remplaçant les matériaux traditionnels.

Pour élaborer cette étude, on a pris le modèle d'un barrage en terre homogène reposant sur une fondation perméable en utilisant la modélisation par logiciel Plaxis pour analyser la stabilité du barrage.

Les résultats numériques ont montré la fiabilité de la géomembrane sur les barrages par rapport aux autres étanchéités concurrentes.

Mots-clés : barrage, débit, fuite, étanchéité, géomembrane, Plaxis

ملخص :

في هذه المذكرة، قمنا بعرض تقنية واسعة الإستعمال للحد من تسرب المياه في السدود، هذه التقنية تعتمد على استعمال غشاء géomembrane كعازل غير نفوذ لتعويض المواد التقليدية المستعملة .

لتحقيق هذه الدراسة، قمنا بإختيار سد ارضي متجانس مبني على قاعدة تربية نفوذه، كما قمنا باستعمال برنامج المحاكاة plaxis من اجل تحليل و دراسة استقرار هيكل السد.

تحصلنا في هذا العمل على العديد من النتائج، اهمها فعالية غشاء géomembrane في السدود مقارنة بالمواد العازلة المستعملة الاخرى.

الكلمات المفتاحية : سد، تدفق، تسرب، عازل، géomembrane، plaxis