

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE ET NUMÉRIQUE D'UN REMBLAI RENFORCÉ PAR GÉOSYNTHÉTIQUES ALVÉOLAIRES SOUMIS A DES SOLLICITATIONS HYDRAULIQUES

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL STUDY OF ENBANKMENT REINFORCED BY ALVEOLAR GEOSYNTHETICS UNDER HYDRAULICS STRESSES

Aurélien TALON, Bastien CHEVALIER, Jorge OMAR FERNANDEZ
Université Blaise Pascal – Polytech Clermont-Ferrand – Institut Pascal UMR 6602

RÉSUMÉ – A l'échelle mondiale, les mécanismes d'érosion des sols sont à l'origine de la majorité des ruptures d'ouvrages hydrauliques. L'étude présentée dans cette communication consiste à appréhender le comportement d'un remblai renforcé par géosynthétique alvéolaire soumis à des sollicitations hydrauliques. Cette étude comprend deux volets : une étude expérimentale et une modélisation numérique. L'étude expérimentale consiste à reproduire à échelle réduite, dans un bassin de perméabilité, une digue qui a été renforcée par géotextile pour éviter une érosion interne. Nous étudions ensuite son comportement en lui appliquant une charge hydraulique. Nous étudions également des variantes de la solution mise en œuvre. L'étude numérique vise à mettre en évidence les mécanismes observés expérimentalement.

Mots-clés : Erosion interne, renforcement, remblai, bassin de perméabilité, modèle numérique.

ABSTRACT – At the world scale, soil erosion mechanism causes the major part of failure of hydraulic structures. The study presented in this paper aims at understanding the behaviour of an embankment reinforced by alveolar geosynthetic under hydraulic stresses. This study contains two aspects: experimental study and numerical modelling. The experimental study aims at reproducing at reduced scale, into a permeability pond, a dyke that has been reinforced by geotextile in order to avoid internal erosion. Then, we study its behaviour by applying a hydraulic head. We also study the variants of the solution implemented. The numerical study aims at highlighting the mechanisms that we experimentally observe.

Keywords: Internal erosion, reinforcement, embankment, permeability pond, numerical model.

1. Introduction

Le changement climatique est chaque année plus évident, provoquant divers événements naturels tels que les crues torrentielles, avalanches, tsunamis, etc. Il est alors nécessaire de maîtriser ces risques, à travers des dispositifs de protection. Pour les sollicitations hydrauliques comme les crues exceptionnelles, les ouvrages de protection accomplissent un rôle essentiel pour canaliser les eaux et assurer la sécurité des personnes et des biens. La conception de ces ouvrages (CFBR, 2015 ; Degoutte, 1997 ; Dimitrov et al., 2005 ; Mériaux et al., 2001 ; Séré, 1995) doit être efficace (raidissement des pentes de talus et augmentation de la capacité de stockage) et doit utiliser des matériaux de construction disponibles sur le site de construction. Les techniques de renforcement des sols par des géotextiles peuvent être des solutions intéressantes.

Les géotextiles sont principalement utilisés dans les ouvrages hydrauliques pour la filtration, le drainage et la lutte contre l'érosion. Le renforcement des massifs soumis à des sollicitations hydrauliques par géosynthétiques est peu utilisé. Pourtant, les géosynthétiques permettent d'optimiser la capacité de stockage, notamment en raidissant les talus. Des techniques de renforcement par géotextiles en structure alvéolaire (Racana, 2002 ; Soude, 2011) ont d'ores et déjà été mises en œuvre pour le renforcement de digues (Flohr et al., 2006).

Dans le cadre des travaux de recherche présentés dans cette communication, nous nous intéressons à l'étude du comportement des remblais renforcés par des géotextiles à structure alvéolaire soumis à des sollicitations hydrauliques. Cette étude est abordée d'un point de vue expérimental, expérimentation dans un bassin de perméabilité à échelle réduite, et d'un point de vue numérique, modèle numérique sous TALREN 4. Un bassin de perméabilité est un équipement permettant de montrer les phénomènes d'écoulement dans différents matériaux, de visualiser les lignes d'écoulement et de mesurer des débits

de fuite. Cette étude fait suite à une étude du comportement de remblais renforcés par des géotextiles plans soumis également à des sollicitations hydrauliques (Tahrini et al., 2015).

2. Problématique, démarche et configurations testées

Dans ce contexte, la problématique de cette étude est de caractériser le comportement d'ouvrage renforcé par géotextiles alvéolaires soumis à des sollicitations hydrauliques. Nous avons opté pour des essais à échelle réduite afin de pouvoir tester différentes configurations sous différentes charges hydrauliques pour un temps et des coûts réduits par rapport à des essais à échelle réelle. Les essais sont réalisés à l'aide d'un bassin de perméabilité dont les dimensions sont données à la figure 1.

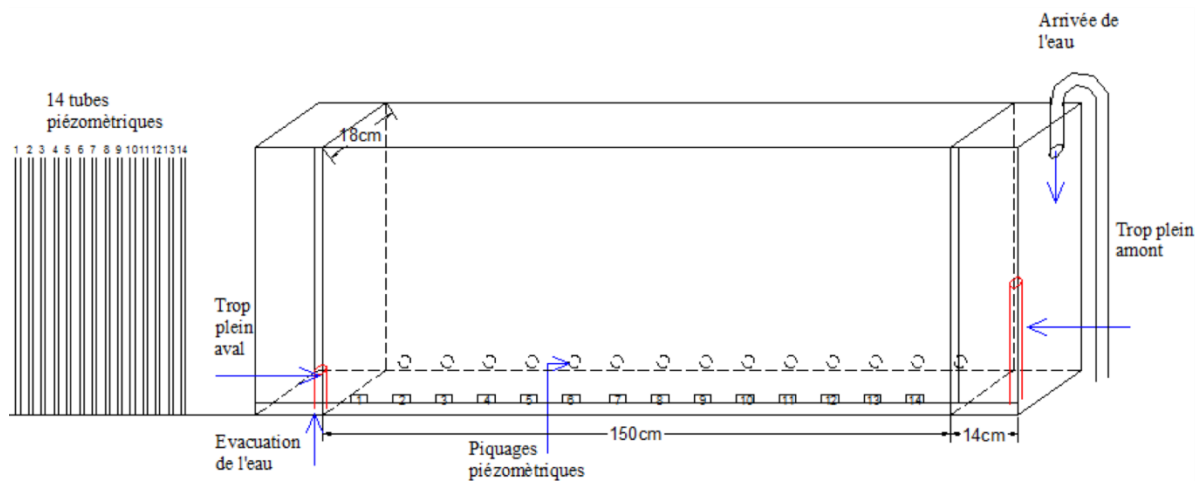


Figure 1. Caractéristiques dimensionnelles du bassin de perméabilité

La démarche menée comprend deux aspects : une approche expérimentale et une approche par modélisation numérique. Pour l'approche expérimentale, elle a consisté à :

1. Choisir un exemple de digue, ayant été renforcée par géotextile alvéolaire dans le but de se prémunir contre un mécanisme d'érosion interne, dont les dimensions à échelle réduite sont compatibles avec les dimensions du bassin de perméabilité,
2. Choisir et caractériser les matériaux du modèle à échelle réduite,
3. Définir le protocole d'essai,
4. Tester et analyser les résultats des différentes configurations retenues.

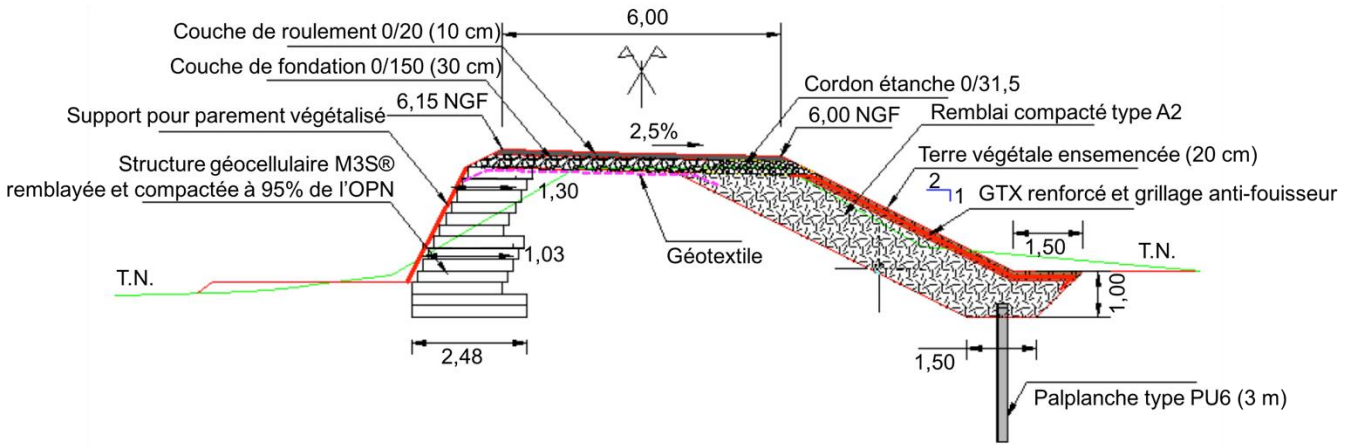
Pour l'approche numérique, elle a consisté à modéliser les différentes configurations testées expérimentalement à échelle réduite afin d'explicitier les mécanismes observés expérimentalement.

La digue retenue est située dans le delta du Rhône, dans le secteur de l'Albaron (Flohr et al., 2006). Les dimensions du projet, les dimensions de l'ouvrage à échelle réelle sans renforcement ainsi que sa transposition à échelle réduite sont présentées sur la figure 2.

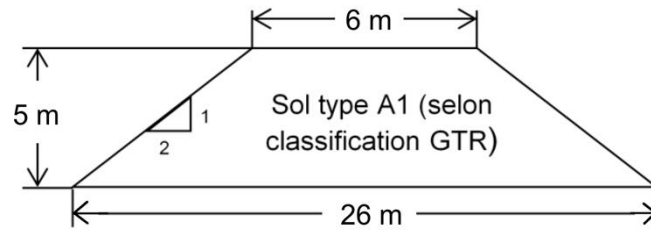
À échelle réduite, nous avons testé 5 configurations différentes afin d'analyser l'influence d'un drain horizontal et le comportement de l'ouvrage partiellement ou complètement renforcé par des structures alvéolaires :

- Configuration 1 : remblai sans renforcement et sans drain (figure 2-c),
- Configuration 2 : remblai sans renforcement avec drain (figure 3-a),
- Configuration 3 : remblai partiellement renforcé sans drain (figure 3-b),
- Configuration 4 : remblai complètement renforcé sans drain (figure 3-c),
- Configuration 5 : remblai complètement renforcé avec drain (figure 3-d).

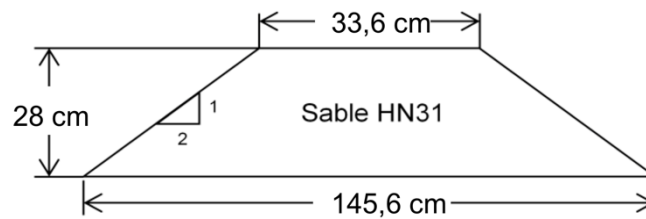
Les dimensions des remblais à échelle réduite pour les configurations 2 à 5 sont présentées sur la figure 3.



(a) échelle réelle (Flohr et al., 2006)

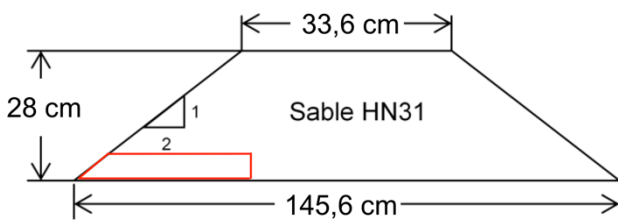


(b) échelle réelle sans renforcement

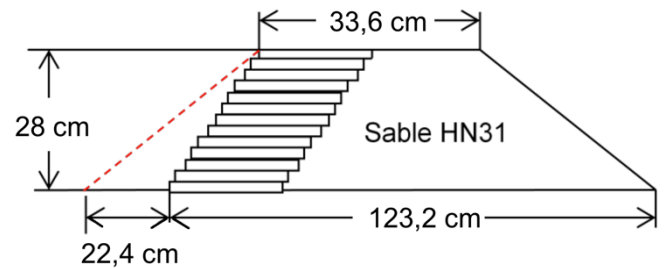


(c) échelle réduite sans renforcement

Figure 2. Dimensions de la digue du secteur de l'Albaron et transposition à échelle réduite



(a) Configuration 2 – sans renforcement avec drain



(b) Configuration 3 – partiellement renforcé sans drain

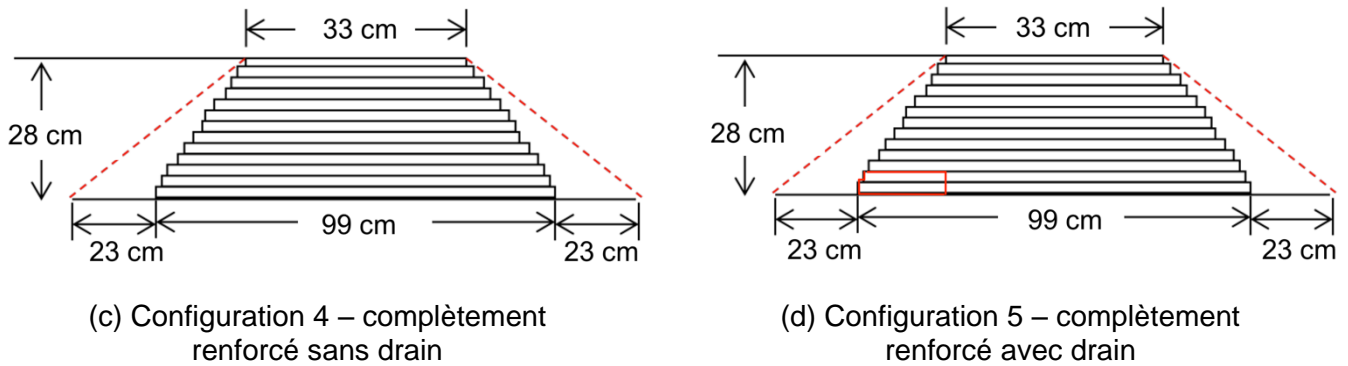


Figure 3. Dimensions des remblais à échelle réduite – configurations 2 à 5

3. Modèle expérimental

Ce paragraphe est consacré à la présentation des matériaux utilisés pour la réalisation des modèles expérimentaux à échelle réduite, ainsi que le protocole d'essai.

3.1. Caractéristiques des matériaux du remblai

La digue de l'Albaron est constituée d'un remblai homogène de type A1 selon la GTR. À échelle réduite, le matériau considéré est du sable d'Hostun HN31, que nous avons re-caractérisé par les essais d'analyse granulométrique, de Proctor normal, de boîte de cisaillement et de perméabilité.

D'après l'analyse granulométrique (Figure 4), le sable d'Hostun HN31 a une granulométrie qui varie de 0,16 à 0,63 mm, avec un coefficient de courbure de 1,06 et un coefficient d'uniformité de 1,42. C'est un sable fin et uniforme, à grains sub-angulaires à angulaires.

Nous avons pu vérifier que le sable d'Hostun utilisé est, d'après l'essai Proctor normal, insensible à l'eau et a un poids volumique sec de 1,48 kg/m³. Cette insensibilité à l'eau facilite la mise en place de l'essai puisque la teneur en eau du matériau n'a pas besoin d'être contrôlée.

D'après l'essai à la boîte de cisaillement, le sable utilisé a un angle de frottement qui varie entre 30 et 40° en fonction de l'état de compactage (lâche à compacté).

Le coefficient de perméabilité du sable utilisé varie en fonction du protocole de compactage (3 ou 4 couches) et de l'état d'humidité. Il varie de 10⁻⁴ à 10⁻⁵ m.s⁻¹. Le degré de perméabilité de ce sable est classé comme assez élevé.

3.2. Caractéristiques des matériaux du drain

Les drains du modèle réduit ont été constitués à partir de graviers de différents diamètres afin de vérifier les conditions usuelles de filtre dans les barrages (Degoutte et Royet, 2009). Elles s'énoncent comme suit :

- non entraînement des fines : $\frac{D_{15}}{d_{85}} < 5$,
- uniformité de drain pour assurer sa stabilité interne : $2 < \frac{D_{60}}{d_{10}} < 8$,
- perméabilité : $D_{15} > 0,1$ mm,
- propreté de drain : $D_5 > 0,08$ mm.

Les courbes de granulométrie du sable et du drain obtenu sont présentées sur la figure 4.

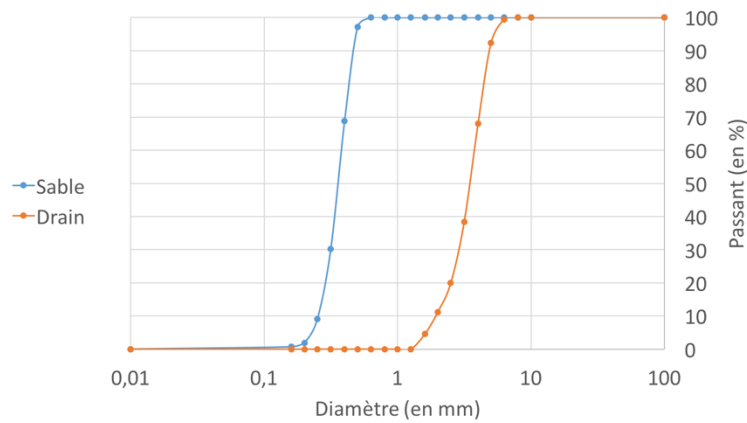


Figure 4. Courbe granulométrique du sable et du drain constitué pour les modèles expérimentaux à échelle réduite

3.3. Caractéristiques du matériau de renforcement

Le matériau de renforcement alvéolaire utilisé dans la digue de l'Albaron est un non-tissé thermolié, constitué de filaments de polypropylène (70%) et de polyéthylène (30%). Les nappes alvéolaires sont obtenues en assemblant des bandes continues de géotextiles. Ce type de géotextile est semi-rigide, rendant la mise en œuvre aisée. Le réseau cellulaire obtenu crée un mécanisme de confinement du matériau qui améliore la résistance au cisaillement et à la traction dans les sols. Les caractéristiques mécaniques de ce produit sont les suivantes (Soude, 2011) : résistance à la traction (selon la norme NF EN ISO 10319) de 25,1 kN/m et une déformation à l'effort de traction maximal (selon la norme NF EN ISO 10319) de 25%.

Dans la mesure où l'épaisseur du géotextile et sa résistance à la traction étaient trop importantes pour pouvoir être utilisé dans le modèle réduit, nous avons utilisé du textile du commerce pour modéliser expérimentalement le renforcement par géotextile. En nous basant sur les essais de traction, réalisés sur différents textiles du commerce, par (Tahrini, 2015) ; nous avons retenu un textile en Polyester, visuellement très peu poreux et ayant les caractéristiques mécaniques suivantes : résistance à la traction (selon la norme NF EN ISO 10319) de 7,7 kN/m et une déformation à l'effort de traction maximal (selon la norme NF EN ISO 10319) de 9,4%.

Ces caractéristiques mécaniques sont bien moindres que celle du produit réel, mais très largement suffisante pour assurer la stabilité de l'ouvrage à échelle réduite. D'autre part, l'étude précédente (Tahrini, 2015), nous avait permis de montrer que ce textile représentait correctement le comportement hydraulique de ce produit de renforcement. En effet, les perméabilités apparentes, bien que non mesurées, du produit réel et le textile du commerce sélectionné étaient visuellement équivalentes.

Le produit alvéolaire a une géométrie qui peut être variable, mais pour notre étude nous considérons une hauteur de 25 cm, une largeur de 55 cm, tels qu'utilisé pour la digue de l'Albaron. Après application de notre facteur d'échelle, nous utilisons à échelle réduite des alvéoles de 1,5 cm de hauteur et 3 cm de largeur. Nous obtenons alors 20 couches de géotextiles alvéolaires pour le modèle réduit.

Lors du passage de l'échelle réelle à l'échelle réduite, nous respectons donc un facteur d'échelle vis-à-vis des caractéristiques dimensionnelles (hauteur, largeur) exceptée pour l'épaisseur et nous tâchons d'obtenir un comportement mécanique et hydraulique semblable sans pour autant respecter précisément le facteur d'échelle.

3.4. Protocole d'essai

Le protocole d'essai pour la configuration 5 (remblai complètement renforcé avec drain) est le suivant :

- Dessiner la géométrie du remblai, du drain et des renforcements sur la face en verre du bassin de perméabilité, commencer avec une couche de fondation de 5 cm,
- Commencer la construction en mettant une couche de sable dans le bassin pour former la couche de fondation et la compacter avec la pelle,
- Mettre en place le drain horizontal dans un sac de tissu pour éviter la perte de matériau et le mélange avec le sable,

- Mettre un moule de papier sur la couche de sable réalisée pour aider à la mise en place des clous servant à maintenir les renforcements en place pour leur remplissage (figure 5-1),
- Mettre sur la couche de fondation la première couche de renfort (elle doit être humidifiée) et fixer le renfort alvéolaire dans la couche de fondation avec les clous (figure 5-2),
- Mettre une couche de sable dans la structure alvéolaire et compacter avec l'extrémité de la tige métallique chaque alvéole afin d'obtenir la forme alvéolaire (figure 5-3),
- Mettre une seconde couche de sable sur le renfort en veillant à laisser au moins 0,5 cm au-dessus du renfort alvéolaire (figure 5-4),
- Compacter la seconde couche de sable avec la pelle et araser (figure 5-5), en retirant tout l'excédent pour laisser visible la structure alvéolaire (figure 5-6),
- Continuer avec la même procédure jusqu'à arriver au sommet du barrage, en soignant la pente uniforme de la digue,
- Retirer tout l'excédent en sable qui se trouve sur la structure alvéolaire.

Le protocole d'essai pour les autres configurations sont semblables à l'exception des spécificités (avec ou sans drain, sans renforcement, avec renforcement partiel ou total).

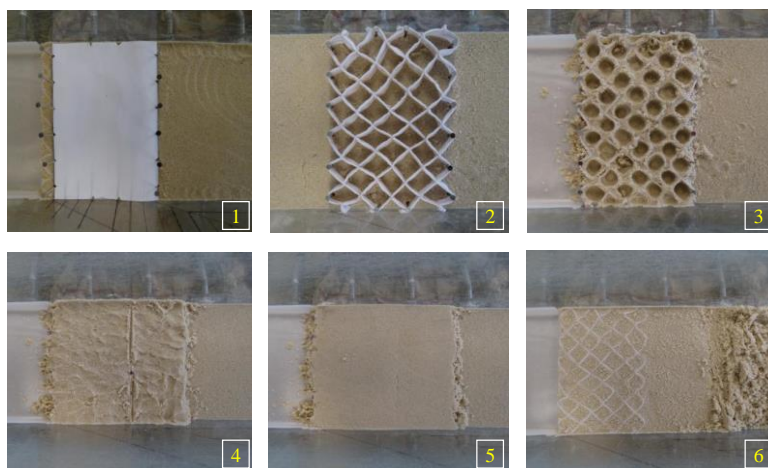


Figure 5. Mise en œuvre du renforcement alvéolaire

La figure 6 présente la configuration 5 (avec traçage sur la face en verre) à la fin de la mise en œuvre.



Figure 6. Configuration 5 mise en œuvre dans le bassin de perméabilité

4. Résultats expérimentaux et discussion

Pour les cinq configurations testées, nous avons observé les écoulements et les apparitions de défauts (glissement, entrainement de particules, lentille d'eau, etc.), et mesuré les hauteurs piézométriques (à l'aide des tubes piézométriques) afin d'en déduire la pression hydraulique au sein du massif pour différentes charges hydrauliques (10, 14, 18, 22, 26 et 30 cm).

La figure 7 représente, à titre d'exemple la variation de la pression dans la digue pour différentes charges hydrauliques (configuration 1) déduite des hauteurs piézométriques mesurées.

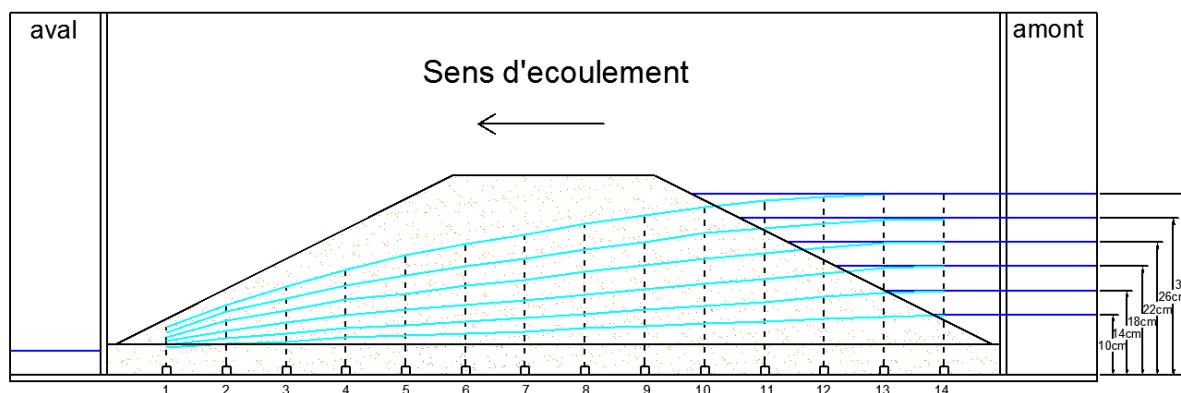


Figure 7. Variation de pression dans la digue (configuration 1) pour différentes charges hydrauliques

4.1. Configuration 1 – sans renforcement et sans drainage

Nous observons un glissement du talus aval dès la charge de 6 cm. Ce glissement reste stable jusqu'à une charge de 18 cm et s'accroît fortement pour les charges de 26 et 30 cm. La figure 8 illustre ce glissement.



Figure 8. Vue de face et de dessus de l'écoulement d'eau à la surface de glissement pour une charge hydraulique de 26 cm

Ce glissement est dû à une cohésion nulle du sable, au passage du flux dans le talus aval et la pente du talus (2H/1V). Ce type de digue nécessite beaucoup de matériau de construction et une grande surface d'emprise.

4.2. Configuration 2 – sans renforcement et avec drainage

La figure 9 permet de visualiser les différences de variation de pression dans le corps de la digue pour les configurations non renforcées sans et avec drain.

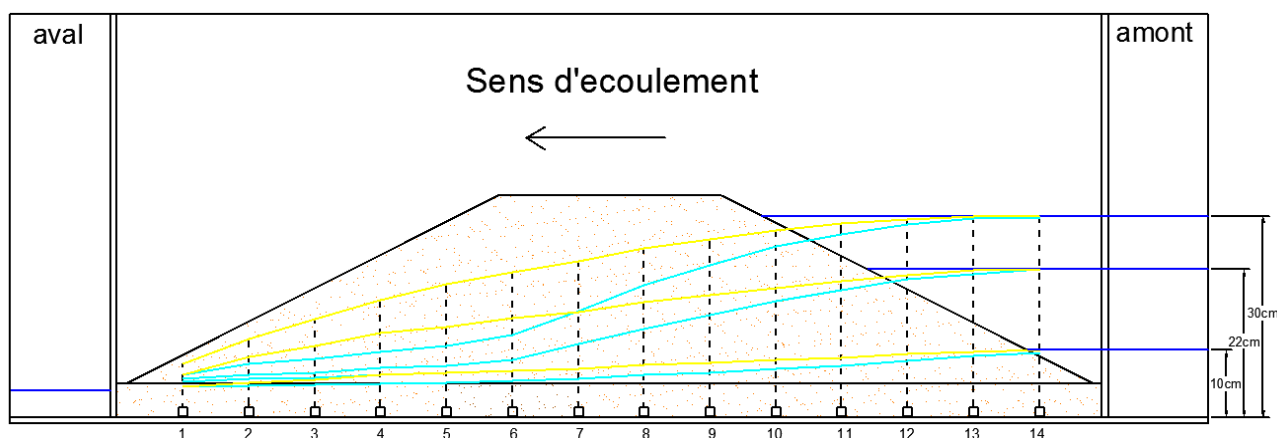


Figure 9. Représentation de la variation de pression dans la digue sans renforcement, sans drain (lignes jaunes) et avec drain (lignes bleues) pour différentes charges hydrauliques déduite des hauteurs piézométriques mesurées

Le drain a joué efficacement son rôle, puisque nous n'avons pas observé de glissement du talus aval ; ce qui permet d'améliorer la stabilité de la digue. En effet, la ligne de saturation ne coupe plus le talus aval. D'autre part, le débit de fuite est augmenté sans pour autant entraîner de particules du corps du remblai.

4.3. Configuration 3 – avec renforcement partiel et sans drainage

Le renforcement alvéolaire utilisé se justifie par la nécessité de raidir la pente amont de la digue de protection pour une plus grande efficacité du dispositif et pour diminuer la possibilité de glissement dans la pente de la digue. Cette expérience montre que ces objectifs sont atteints. Les résultats sont positifs dans la mesure où le flux coupe les alvéoles (à partir de la deuxième charge hydraulique appliquée) et ils sont soumis à la pression de l'eau sans présenter de rupture, érosion ou glissement du sable dans la partie renforcée. Nous observons le même comportement pour la zone non renforcée amont du barrage. Il existe néanmoins une complication dans la mesure où les alvéoles, pour une charge hydraulique importante accumulent beaucoup d'eau ; ce qui peut être un problème en cas de sollicitations dynamiques.

4.4. Configuration 4 – avec renforcement complet et sans drainage

Cette configuration avec renforcement complet a été testée pour étudier l'opportunité de réduire l'emprise au sol de la digue. Cette configuration génère un écoulement avec entraînement de particules, dans les deux premières couches d'alvéoles à l'aval du barrage, mais sans glissement de la pente ou de la fondation de la digue. Les résultats obtenus montrent la nécessité d'utiliser un drainage pour éviter que le flux passe (à partir de la deuxième charge hydraulique appliquée) dans le talus aval de la digue. En effet, les couches d'alvéoles sont soumises et affectées par la pression de l'eau, mais sans présenter de rupture ou de glissement du barrage.

4.5. Configuration 5 – avec renforcement complet et avec drainage

Dans cette configuration, le drain facilite le passage de l'eau qui diminue la pression dans la digue et augmente le débit de fuite. Le flux ne passe plus par la pente aval de la digue et nous n'observons pas de dégâts (pas d'entraînement de particules) sur les deux derniers lits d'alvéoles, contrairement à la configuration 4.

La figure 10 permet de visualiser les différences de variation de pression dans le corps de la digue pour les configurations totalement renforcées sans et avec drain.

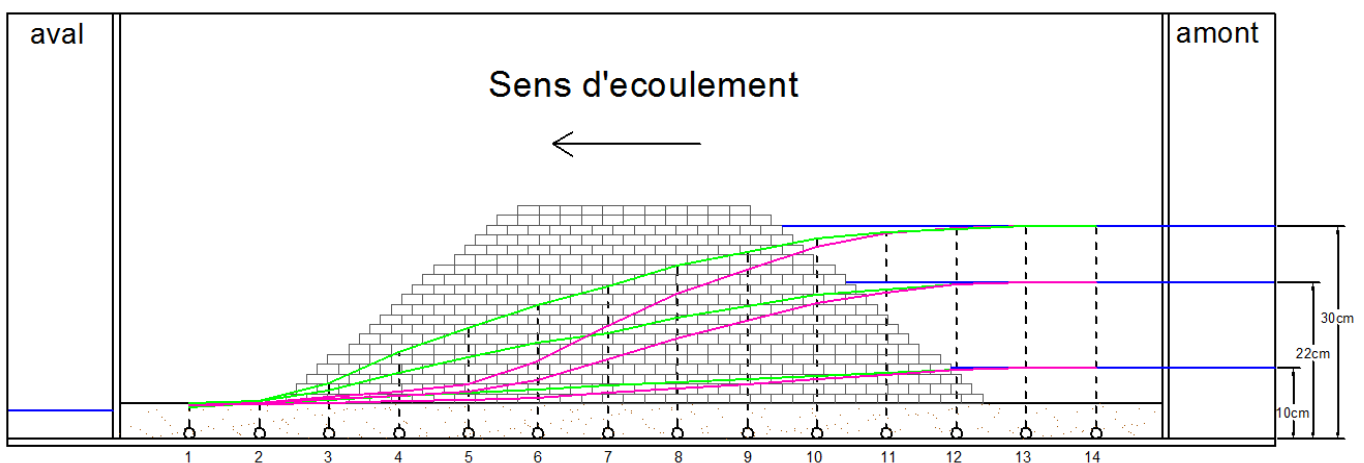


Figure 10. Représentation de la variation de pression dans la digue avec renforcement total, sans drain (lignes vertes) et avec drain (lignes roses) pour différentes charges hydrauliques déduites des hauteurs piézométriques mesurées

5. Modèle numérique

Ce paragraphe s'intéresse à la modélisation numérique réalisée en utilisant un logiciel d'interface graphique interactive pour la vérification de la stabilité des ouvrages géotechniques avec ou sans

renforcements. L'intérêt était de pouvoir expliciter / vérifier les mécanismes de dégradation observés expérimentalement. La vérification de la stabilité des ouvrages est basée sur la méthode de Bishop.

Le comportement des sols sous faibles contraintes est de grande importance pour le dimensionnement d'ouvrages à faible profondeur ou hauteur. Selon la littérature l'angle de frottement maximal décroît quand le niveau de contrainte augmente, et cette décroissance est plus prononcée pour les faibles confinements. Le sable analysé a une forte augmentation de l'angle de frottement maximale quand le confinement diminue à partir d'une valeur de 20 kPa environ (Lancelot et al., 1996). Selon cette information des essais ont été faits pour vérifier l'angle de frottement avec une faible contrainte appliquée pour un état de faible confinement. Les résultats obtenus pour une faible contrainte montrent une augmentation de l'angle de frottement qui peut atteindre jusqu'à 55° au maximum, avec un effort normal de 53 N et générant un effort de cisaillement normal de 75 N. Selon ce résultat en considérant la hauteur du barrage de 28cm, une pression de confinement faible de 20 kPa est produite sur le sable.

Selon différentes études réalisées, notamment (Soude, 2011), il en est ressorti que le renforcement par géocellulaires apportait au sol une cohésion apparente, par son confinement, que l'on peut calculer en fonction de la contrainte de confinement, elle-même déterminée expérimentalement.

Pour les résultats numériques présentés dans le paragraphe 6, nous avons considéré un angle de frottement du sable de 40° (correspondant aux résultats des essais de cisaillement) sans considérer l'effet du faible confinement. L'effet de confinement, bien qu'étudié (Omar Fernandez, 2015), ne sera pas détaillé dans cette communication. Nous avons considéré une hauteur d'eau de 26 cm.

Selon (Sedik, 2011) un coefficient de sécurité global minimal de 1,5 est nécessaire pour les barrages en régime permanent, pour assurer la stabilité principalement du talus aval. En effet, un régime permanent est souvent dimensionnant pour le talus aval du fait des poussées d'écoulement défavorables, mais ce coefficient de sécurité est applicable au barrage à l'échelle réelle. Ce coefficient est de 1,2 selon les recommandations du CFBR (2015). Dans le cas d'un barrage à échelle réduite, pour pouvoir comparer les résultats avec l'expérimentation dans le bassin de perméabilité, on va considérer la stabilité du barrage, qui se produit quand le coefficient est supérieur à 1.

6. Résultats numériques et discussion

Les caractéristiques géotechniques du sable HN-31 introduites dans la modélisation sont un poids volumique de 15 kN/m³, un angle de frottement de 40 degrés, une cohésion nulle (0 kPa) pour le sol de fondation et le sol de la digue non renforcée. Nous considérons une cohésion apparente de 25 kPa pour le sol renforcé par structure alvéolaire.

Les résultats numériques sont présentés dans le tableau 1.

Tableau 1. Résultats de l'expérimentation numérique

Configuration	Coefficient de sécurité	Lieu de l'instabilité
1 – Sans renforcement sans drainage	0,98	Pente
2 – Sans renforcement avec drainage	1,69	Pente
3 – Renforcement partiel sans drainage	1,09	Pente et fondation
4 – Renforcement total sans drainage	2,29	Fondation
5 – Renforcement total avec drainage	2,59	Fondation

Les résultats, instabilité uniquement pour la configuration 1, représente bien ce que nous avons pu observer expérimentalement. L'instabilité pour la configuration 1 correspond bien à un glissement dû à un flux d'eau dans le remblai aval.

7. Conclusion

Ce travail de recherche a pour objectif d'étudier le comportement de digues renforcées par géotextiles alvéolaires soumis à une charge hydraulique. Les expériences sont menées à échelle réduite à l'aide d'un bassin de perméabilité. Un ouvrage hydraulique réel en remblai ayant été réparé pour éviter un mécanisme d'érosion interne a été transposé à échelle réduite. Le matériau de remblai a été remplacé à

échelle réduite par du sable d'Hostun, les renforcements utilisés sont du textile du commerce en polyester et la granulométrie des drains respecte les conditions de drainage des ouvrages hydrauliques.

Cinq configurations ont été testées : (1) sans renforcement et sans drains, (2) sans renforcement et avec drain, (3) partiellement renforcé et sans drain, (4) totalement renforcé et sans drain, (5) totalement renforcé et avec drains.

La première configuration nous a permis d'observer le mécanisme d'érosion interne qu'aurait probablement subi l'ouvrage réel s'il n'avait pas été renforcé. Les configurations suivantes nous ont permis d'observer le comportement bénéfique des drains et la possibilité de raidir les pentes des talus grâce aux renforcements par les géotextiles alvéolaires.

Nous avons complété cette étude expérimentale par une modélisation numérique qui nous a permis d'explicitier les mécanismes de rupture observés expérimentalement. Les résultats numériques sont concordant avec les résultats expérimentaux obtenus.

Afin de compléter cette étude, il serait intéressant d'étudier l'influence d'une sollicitation dynamique sur le comportement de ces ouvrages.

8. Références bibliographiques

- CFBR, (2015). Recommandations pour la justification des barrages et des digues en remblai. Rapport du comité français des barrages et réservoirs.
- Degoutte G., Royet P. (2009). *Aide-mémoire de mécanique des sols*. Les publications de l'ENGREF, Paris.
- Degoutte G., (1997). *Petits barrages – recommandations pour la conception, la réalisation et le suivi*. Comité Français des Grands Barrages, Paris.
- Dimitrov C., Monadier P., Pin X., Roussel P., Badre M., Barthelemy F., Martin W., Nicolazo J.L. (2005). Les digues de protection contre les inondations – Organisation du contrôle – Constructibilité derrière les ouvrages. Rapport du ministère de l'écologie et du développement durable.
- Flohr J.M., Mercier P., Racana N., Thibur F. (2006). Comportement et raidissement d'une digue par une structure alvéolaire. *Proc. 6ème colloque francophone des Rencontres Géosynthétiques*, 489-494.
- Lancelot L., Shahrour I., Al Mahmoud M. (1996). Comportement du sable d'Hostun sous faibles contraintes. *Revue Française de Géotechnique*, n°74, 63-74.
- Mériaux P., Royet P., Folton C. (2001). *Surveillance, entretien et diagnostic des digues de protection contre les inondations*. Cemagref éditions, Paris.
- Omar Fernandez, J. Caractérisation expérimentale des ouvrages de protection provisoire à base de géosynthétiques face aux sollicitations hydrauliques. *Mémoire de Magister. Université Blaise Pascal – Clermont-Ferrand II*.
- Racana N. (2002). Étude du comportement mécanique d'un massif de sol renforcé par géotextile cellulaire. Thèse de l'Université Blaise Pascal – Clermont-Ferrand II.
- Sedik R. (2011). Caractérisation de la perméabilité des matériaux à l'écrasement. Mémoire de Magister, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou.
- Séré A. (1995). Ouvrages renforcés par géotextiles chargés en tête : comportement et dimensionnement. Thèse de l'École Nationale des Ponts et Chaussées.
- Soude M. (2011). Étude du comportement dynamique d'un massif en sol renforcé par géotextile alvéolaire M3S. Thèse de l'Université Blaise Pascal – Clermont-Ferrand II.
- Tarhini Z., Chevalier B., Talon A. (2015). Caractérisation expérimentale des massifs en sols renforcés par géosynthétiques face au risque d'érosion interne. *Proc. 10ème colloque francophone des Rencontres Géosynthétiques*, 355-366.