

CARACTÉRISATION DES PROPRIÉTÉS DE FROTTEMENT DES GÉOMEMBRANES TEXTURÉES

CHARACTERIZATION OF SHEAR PROPERTIES OF TEXTURED GEOMEMBRANES

Eric BLOND¹, David BEAUMIER²

1 Eric Blond Consultant, Montréal (Québec), Canada

2 Groupe CTT, St-Hyacinthe (Québec), Canada

RÉSUMÉ – Le frottement à l'interface géomembrane / sol ou géomembrane / géosynthétique est une des problématiques devant être gérée lors de la conception d'ouvrages d'étanchéité. La caractérisation de la résistance au cisaillement des interfaces est bien maîtrisée grâce aux essais ISO 12957-1 et -2. Cependant, ces essais se prêtent mal aux travaux de contrôle de la qualité de production ou de livraison sur chantier. Dans cet article, on décrit le comportement des interfaces impliquant les géosynthétiques, les propriétés des géomembranes susceptibles d'influencer leur résistance au cisaillement et on propose une approche simple pour la caractérisation de la surface des géomembranes texturées par projection de filaments à l'aide d'un essai de compression avec plan incliné.

Mots-clés : géomembrane, interface, frottement, texture, projection.

ABSTRACT – Friction at the geomembrane/soil or geomembrane/geosynthetic interface is one of the issues that needs to be managed in the design of containment structures. Characterization of interface shear strength is well understood through ISO 12957-1 and -2 tests, but these tests are not well suited for manufacturing or construction quality control. This paper describes the typical behavior of geosynthetic interfaces, the properties of geomembranes that may influence shear strength at their interface and proposes a simple approach for characterizing the surface of geomembranes textured using the spray-on technology using an inclined plane compression test.

Keywords: geomembrane, interface, shear, texture, spray-on.

1. Introduction

Les propriétés de frottement à l'interface sont souvent au cœur du processus de dimensionnement d'un ouvrage de confinement. Celles-ci déterminent l'angle maximal que pourront avoir les pentes de l'ouvrage. Dans le cas du confinement de matières résiduelles, cet aspect affecte donc le niveau de rentabilité d'un ouvrage, voir sa faisabilité, car il influence le volume de matériaux pouvant être confiné sur une emprise au sol qui, elle, reste fixe et souvent fixée par décret.

Les normes ISO 12957-1 et 12957-2 permettent de caractériser le comportement de n'importe quelle interface comprenant au moins un géosynthétique. L'essai ISO 12957-2 est fait en utilisant un plan incliné et est adapté à la modélisation de faibles contraintes normales. Il permet de mesurer la résistance au cisaillement maximale au-delà de laquelle un déplacement se produira entre les deux matériaux. L'essai ISO 12957-1 est, quant à lui, réalisé avec une boîte de cisaillement direct, et permet l'observation de la résistance maximale ainsi que de la résistance à grande déformation.

Dans un contexte de spécification et de contrôle des matériaux, un problème notable est la lourdeur de réalisation des essais de cisaillement, qui rend très difficile leur utilisation dans un programme d'assurance qualité. Il importe donc d'identifier une propriété intrinsèque permettant de caractériser les matériaux d'une façon permettant leur spécification, et leur vérification afin d'assurer que le matériau livré sur chantier offrira des caractéristiques comparables à celles considérées lors du dimensionnement.

2. Notions de dimensionnement des interfaces

Plusieurs configurations peuvent nécessiter que l'on se préoccupe du frottement le long de la surface d'une géomembrane. Sans être exhaustive, la liste suivante présente quelques cas de figures parmi les plus courants :

- stabilité des recouvrements granulaires installés sur une étanchéité géosynthétique installée en couverture d'un site d'entreposage de matières résiduelles, de stériles ou autres matériau entreposé à long terme ;
- stabilité des pentes dans un ouvrage de confinement ;
- stabilité globale d'un massif de matériaux reposant sur une géomembrane – par exemple une plate-forme de lixiviation ;
- sécurité de piétons ou d'animaux circulant sur une membrane laissée exposée.

Pour analyser la stabilité d'une interface, on doit comparer la résistance au cisaillement offerte par l'interface à la contrainte tangentielle qui prévaut sur cette interface, tel qu'illustré par la figure 1.

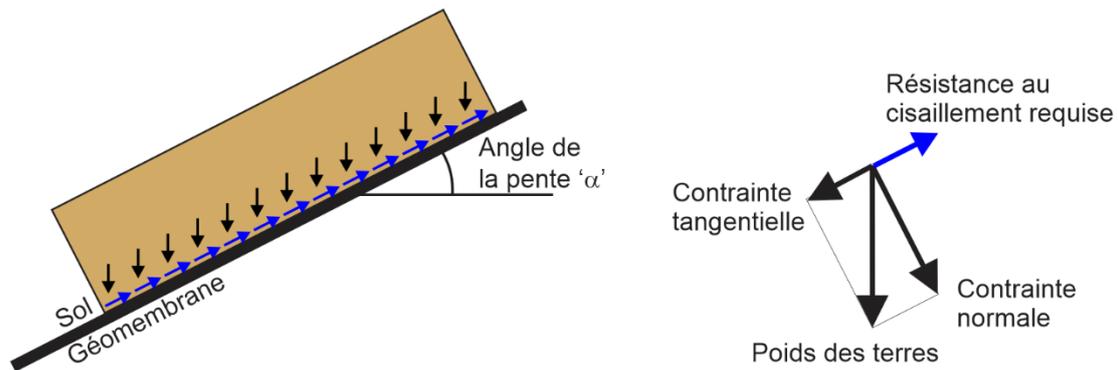


Figure 1. Stabilité d'une interface

Un facteur de sécurité applicable à la stabilité de l'interface peut être défini en divisant la résistance au cisaillement offerte par l'interface sous une contrainte de service donnée à la composante tangentielle de la contrainte de service.

Lorsque la contrainte appliquée n'implique que le poids des terres, une méthode simple et conservatrice consiste à considérer une pente infinie, ce qui permet de comparer l'angle de la pente avec l'angle de frottement caractérisant l'interface analysée. Un facteur de sécurité peut alors être calculé en divisant la tangente de l'angle de frottement de l'interface et la tangente de la pente (Koerner, 2012). Cette approche est conservatrice dans la mesure où elle néglige la contribution de la butée de pied.

$$FS = \frac{\text{Résistance au cisaillement}}{\text{contrainte tangentielle}} \approx \frac{\tan(\text{angle de frottement})}{\tan(\text{angle de la pente})} \quad (1)$$

L'angle de frottement de l'interface est déterminé en effectuant plusieurs essais de cisaillement sous au moins trois contraintes normales différentes et en traçant l'enveloppe de Mohr-Coulomb (Figure 2). Plusieurs problématiques doivent cependant être considérées lors du choix de l'angle de frottement caractérisant l'interface impliquant la géomembrane :

- L'angle de frottement à l'interface *varie avec la contrainte normale*. Au-delà d'une certaine contrainte, dont le module est fonction de l'interface, plus la contrainte augmente, plus l'angle de frottement diminue (figure 3).
- Les interfaces impliquant des géosynthétiques exhibent souvent une *adhésion non-nulle*. Pour tenir compte de l'adhésion dans la détermination du Facteur de Sécurité (équation 1), on peut utiliser l'angle de frottement sécant pour la contrainte normale considérée, plutôt que l'angle de frottement tangent (figure 4). Cependant, le concepteur préfère parfois négliger complètement la contribution de l'adhésion et considérer que celle-ci contribue à l'augmentation du facteur de sécurité.
- La plupart des interfaces présentent une résistance au cisaillement qui *varie avec le déplacement relatif de l'interface*. On peut ainsi définir un angle de frottement maximum, qui correspond à une configuration où les matériaux n'ont subi aucun déplacement relatif l'un par rapport à l'autre, ou bien un angle de frottement dit « à grande déformation », qui est évalué en considérant la contrainte de cisaillement mesurée après un déplacement relatif des deux matériaux de 75 mm. Selon le type d'interface, l'angle de frottement à grande déformation peut être significativement différent de l'angle de frottement maximum. On notera cependant que les essais ISO 12957-1 et

ISO 12957-2 ne proposaient pas de procédure pour la détermination des propriétés dites « à grande déformation » dans les versions publiées en 2018 (actuellement valide) et dans les versions précédentes. Cette propriété peut cependant être déterminée par l'essai ASTM D5321, lequel est globalement semblable à ISO 12957-1 et utilise le même équipement.

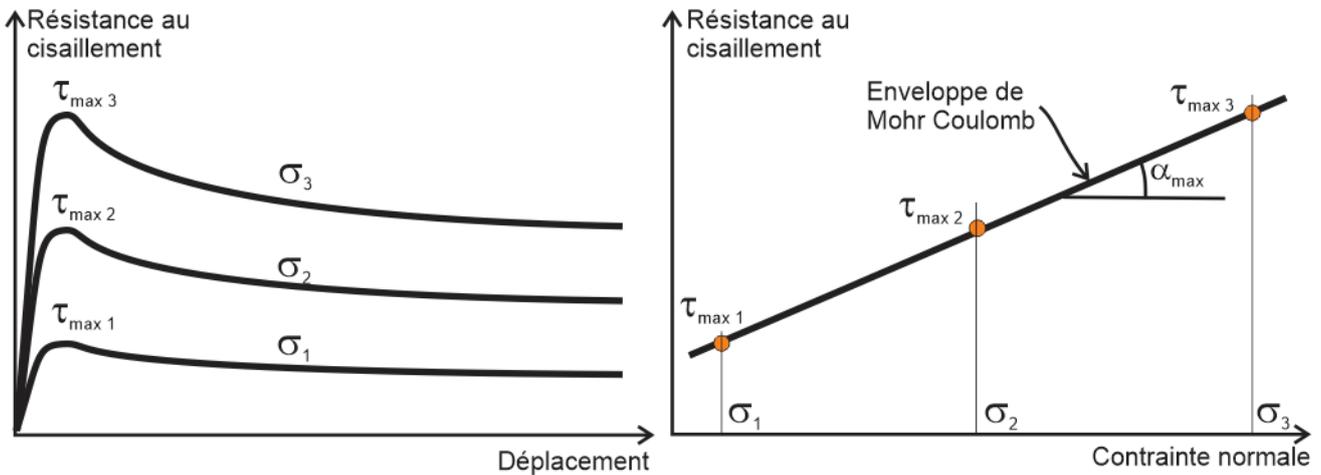


Figure 2. Détermination de l'angle de frottement par l'essai de cisaillement direct

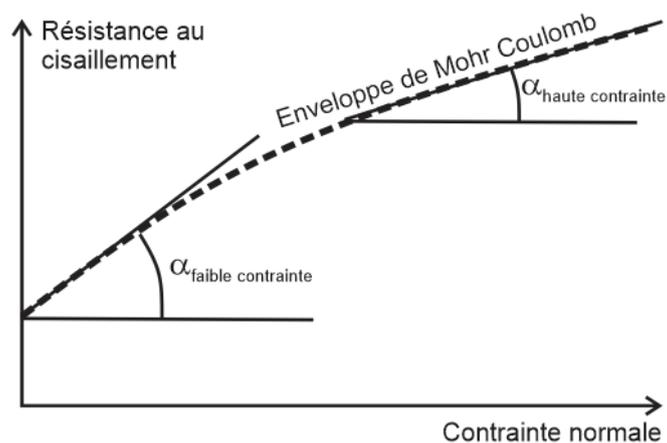


Figure 3. Variation de l'angle de frottement avec la contrainte normale

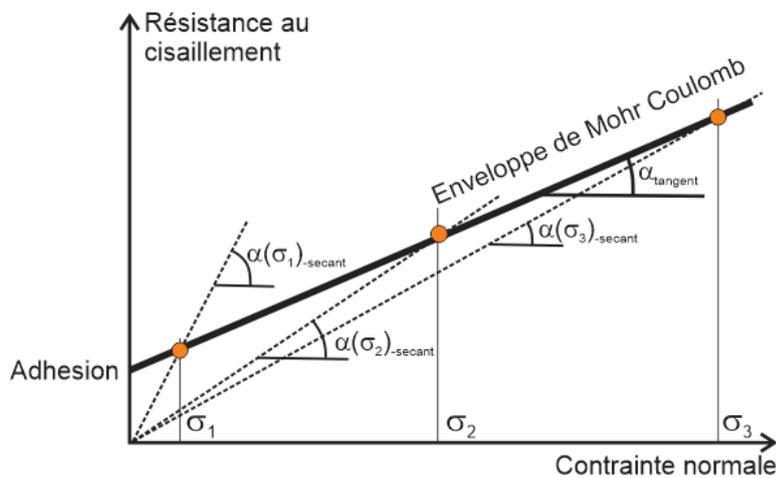


Figure 4. Angle de frottement sécant versus angle de frottement tangent

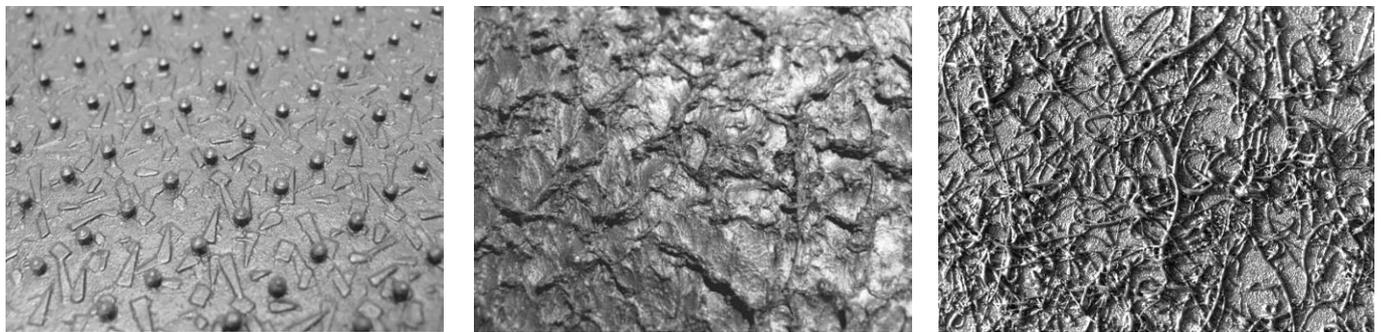
En résumé, la définition d'un facteur de sécurité pour la stabilité de la pente nécessite la connaissance de l'angle de frottement de l'interface entre la géomembrane et le matériau adjacent, lequel est spécifique à la nature des deux matériaux constituant l'interface, varie avec la contrainte normale, et avec l'historique de l'interface.

Une fois cet angle de frottement connu, il devient pertinent de le corrélérer avec une propriété intrinsèque de chacun des matériaux pour faciliter la spécification, et le contrôle qualité en production. Blond et Élie (2006) ont mis en évidence que, pour les géomembranes produites par coextrusion soufflage (décrites dans la section suivante), la résistance au cisaillement des interfaces géomembrane / géotextile est principalement définie par les caractéristiques de la texture de la géomembrane texturée, les différences de masse surfacique entre différents géotextiles de polypropylène n'ayant que peu ou pas d'influence. La connaissance et le contrôle des propriétés de surface des géomembranes texturées se trouve donc être un élément déterminant la stabilité de l'interface.

3. Caractéristiques de surface des géomembranes texturées

3.1. État de l'art

Afin de procurer des propriétés en frottement suffisantes, la surface des géomembranes de polyéthylène peut être texturée. La résistance au cisaillement se trouve ainsi influencée par une caractéristique de surface, c'est à dire par une propriété intrinsèque de la géomembrane.



a- calandrage

b- coextrusion-soufflage

c- projection

Figure 5. Types de texture des géomembranes de polyéthylène (a- et b- : de Scheirs, 2009)

Blond et Élie (2006) ont observé que, pour les géomembranes dont la texture est produite par coextrusion soufflage, il existe une relation entre la résistance au cisaillement et la hauteur des aspérités, qui peut être mesurée par l'essai ASTM D7466 (équivalent à l'essai GRI GM12 référencé par Blond et Elie).

Adesokan et Blond (2018) ont aussi montré qu'en plus de la hauteur des aspérités, la densité des aspérités influence la résistance au cisaillement des interfaces impliquant une géomembrane – leur étude étant aussi centrée sur le procédé de texturisation par coextrusion-soufflage. Cependant, aucune méthode de caractérisation de la densité de la texture n'est référencée par Adesokan.

Adeleke (2020) a démontré que la hauteur des crampons ainsi que leur densité affectent les propriétés de frottement maximum des géomembranes calandrées. Il a aussi suggéré que la rugosité de surface pouvait aussi avoir un impact sur les propriétés mesurées à grande déformation. Cependant, aucune méthode de caractérisation normalisée n'est référencée par cet auteur. La hauteur des crampons ainsi que leur densité sont définies par les caractéristiques du rouleau de calandrage utilisé lors de la fabrication. Du fait de la relativement faible densité de crampons et de la facilité à les identifier visuellement, leurs propriétés peuvent être mesurées en utilisant une règle et la jauge de profondeur décrite dans ASTM D7466. Cependant, la rugosité de surface n'est pas mesurable à l'aide d'une méthode normalisée.

Pour les géomembranes dont la texture est produite par projection, les propriétés de frottement sont déterminées par la densité de la texture, laquelle influence aussi la hauteur des aspérités mesurée selon ASTM D7466. Cette densité est contrôlée en production, cependant aucune méthode d'essai ne permet de mesurer cette caractéristique une fois la production achevée.

3.2. Généralisation

On note que les conclusions d'Adeleke sont en général cohérentes avec celles d'Adesokan, et conformes aux observations de terrain : plus les aspérités sont élevées et en grande densité, et plus la surface est rugueuse (une propriété qui s'apparente à la densité des aspérités dans le cas des textures coextrudées et projetées), plus la résistance au cisaillement développée à l'interface sera élevée.

Quelle que soit la technique de production de la texture utilisée, la résistance au cisaillement sera donc influencée par la morphologie de la surface et la façon dont celle-ci interagira avec le matériau en contact (par exemple, le sol, ou un géotextile). Un gravier grossier dont les particules sont arrondies n'offrira effectivement pas autant de prises aux aspérités de la géomembrane qu'un sable fin angulaire, ni qu'un géotextile ou de l'argile, et ce quelle que soit la texture.

Il n'est cependant pas possible de déterminer une règle universelle mettant en relation une propriété indicative de la texture de surface, quelle que soit sa morphologie, et permettant de prédire la résistance au cisaillement que pourra exhiber la géomembrane. De plus, la morphologie de la texture n'est pas la seule caractéristique susceptible d'affecter la résistance au cisaillement : les propriétés d'adhérence propres au polymère affecteront aussi la résistance au cisaillement, notamment l'énergie de surface.

En bref, il n'est pas possible de déterminer une propriété physique applicable à n'importe quelle texture, et garantissant l'atteinte d'un niveau de performance recherché du matériau.

3.3. Le problème de la spécification de la texture

Une valeur fiable de résistance au cisaillement d'une interface peut être mesurée avec un essai de cisaillement direct selon ISO 12957-1 ou ASTM D5321 en utilisant les matériaux qui seront utilisés sur site et en modélisant les conditions de service anticipées. Cependant, la réalisation de tels tests ne peut être considérée que dans un contexte de dimensionnement, le problème de la spécification et du contrôle qualité des matériaux à la livraison restant entier, notamment pour la géomembrane, dont les caractéristiques de surface peuvent être ajustées.

À défaut de bonne pratique, la moins mauvaise pratique actuelle est de caractériser les propriétés intrinsèques de la texture de la géomembrane ayant fait l'objet d'un essai de cisaillement, et d'utiliser ces propriétés pour le contrôle des matériaux livrés au chantier. La terminologie « moins mauvaise pratique » est utilisée ici car cette méthode présente plusieurs limitations, les principales étant d'ordre commercial. En effet, spécifier une technologie de texturation en particulier peut limiter à un seul le nombre de fournisseurs capables de livrer un matériau, ce qui peut affecter le prix de vente du produit. De plus, en cas de problème de livraison, cette pratique empêche, ou tout au moins ralentit, l'identification d'un fournisseur alternatif.

Il semble donc essentiel de trouver une méthode de caractérisation des textures présentant une meilleure corrélation avec les résultats d'un essai de cisaillement direct. Idéalement, cette méthode devrait être applicable à un plus grand nombre, sinon toutes les textures offertes pour des géomembranes.

4 Nouvelle approche pour la caractérisation des propriétés contrôlant la résistance au cisaillement des géomembranes

4.1. Objectifs et méthodologie

Compte tenu des éléments présentés précédemment, une démarche a été entamée pour améliorer la compréhension des caractéristiques de surface des géomembranes texturées. Cette démarche a été essentiellement articulée autour des géomembranes produites par projection, dans la mesure où aucune publication mettant en relation les caractéristiques de la texture avec les propriétés de frottement ne semble disponible.

L'approche privilégiée a été de rechercher une propriété intrinsèque, mettant en œuvre directement le mécanisme de frottement, et ne faisant autant que possible pas intervenir de matériaux de référence. Un critère important était le temps de réalisation de l'essai, qui devrait rester le plus court possible, et dans tous les cas inférieur à une heure afin de pouvoir être utilisé efficacement dans un contexte de contrôle qualité de fabrication ou dans le cadre d'un programme d'assurance de la qualité.

La caractéristique de référence utilisée est la résistance au cisaillement maximum déterminée par un essai ISO 12957-1, pour lequel la géomembrane est testée contre elle-même. La propriété ainsi obtenue n'est pas utilisable pour fin de conception car elle ne fait pas intervenir les matériaux qui seront en contact avec l'autre.

L'essai qui a été développé consiste essentiellement en l'utilisation d'une contrainte normale appliquée sur une interface présentant un angle avec la direction de la contrainte, l'une des 2 interfaces étant attachée à un chariot libre de se déplacer dans une direction perpendiculaire à la contrainte (figure 6). Il reproduit donc assez fidèlement les conditions de service qui seront expérimentées sur le terrain, pour lesquelles la contrainte appliquée, soit le poids des terres, est verticale. Cette contrainte provoque une réaction à l'interface de la géomembrane qui se décompose en deux parties : une contrainte normale et

une contrainte tangentielle, laquelle va mobiliser la résistance au cisaillement de l'interface – tel que décrit sur la figure 1.

On remarque que, dans la mesure où la contrainte est appliquée avec un angle incident fixé, la contrainte normale et la contrainte tangentielle augmentent proportionnellement : si F est la force appliquée, S la surface de contact et α l'angle d'essai, le module de la contrainte normale est égal à $(F \cdot \cos \alpha) / S$, tandis que le module de la contrainte tangentielle est égal à $(F \cdot \sin \alpha) / S$, où la contrainte tangentielle est la contrainte provoquant le cisaillement de l'interface.

Deux cas de figure se présentent alors :

- Si l'angle de frottement à l'interface est supérieur à l'angle d'essai, la résistance au cisaillement offerte par l'interface est supérieure à la contrainte de cisaillement, le système reste donc stable.
- Si l'angle de frottement à l'interface est inférieur à l'angle d'essai, la résistance au cisaillement offerte par l'interface est inférieure à la contrainte de cisaillement, un déplacement est donc possible. Dans la mesure où le chariot est libre de se déplacer dans une direction horizontale (perpendiculaire à la contrainte appliquée), ce déplacement se produit et aucune contrainte horizontale ne peut être mobilisée par l'appareillage.

En pratique, l'essai proposé se distingue de l'essai de cisaillement direct ISO 12957-1 par le cheminement de contrainte menant à la rupture :

- Dans l'essai de cisaillement direct, la contrainte normale est fixée, on cherche une valeur limite de résistance au cisaillement en contrôlant un déplacement, et l'analyse de ces résultats mène à la définition de l'angle de frottement.
- Dans l'essai proposé, on recherche une contrainte verticale qui mènera à la rupture de l'interface positionnée dans un angle prédéterminé. La contrainte verticale est augmentée en contrôlant le déplacement vertical dans une structure quasi-incompressible. Les contraintes normales et tangentielles augmentent simultanément, tandis qu'un déplacement relatif des deux interfaces se produit.

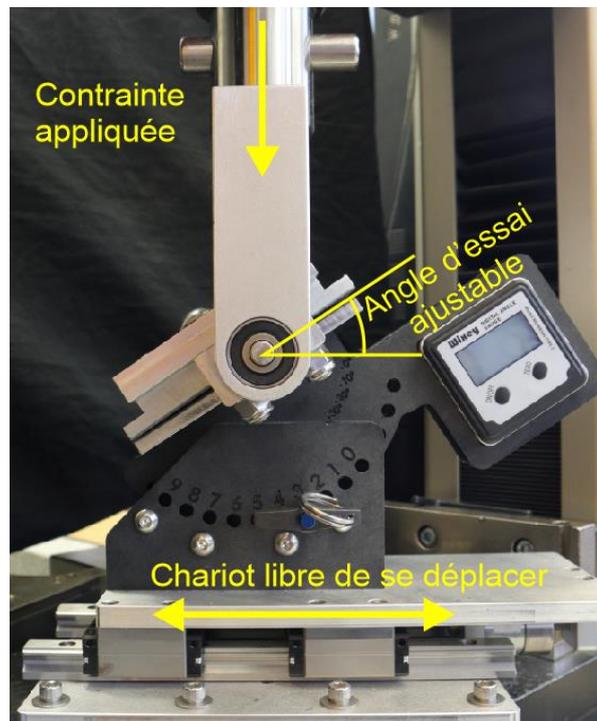


Figure 6. Appareillage de l'essai de compression avec plan incliné

D'un point de vue pratique, cet essai permet ainsi de définir une contrainte verticale maximale en deçà de laquelle le système sera stable pour un angle d'essai donné. Cette approche présente deux intérêts :

- l'angle d'essai représente l'angle sécant défini sur la figure 4. Il tient donc compte de l'adhésion ainsi que de l'angle de frottement caractérisant la pente de l'enveloppe de Mohr-Coulomb ;
- le module de la force mesurée représente une valeur ayant une signification physique, soit le poids des terres mesuré dans une direction verticale – et non pas perpendiculairement à la direction de la pente.

Les détails relatifs au dimensionnement de l'appareil feront l'objet d'une autre publication et/ou d'une norme d'essai. À cette étape, on peut cependant souligner les éléments suivants.

- Les deux plateaux sont recouverts d'une surface abrasive présentant une résistance au cisaillement supérieure à celle que l'on cherche à mesurer. Par conséquent, aucun ancrage des spécimens n'est nécessaire, autre que ce qui est nécessaire à leur mise en place.
- La position de l'axe de rotation du plateau supérieur est située dans le plan de l'interface afin d'éviter de développement d'un couple parasite.
- Le système permet un réglage au degré près en utilisant un système d'alignement mécanique et de gougeons.
- L'angle est mesuré avec une précision de 0,1 degré par un dispositif indépendant du dispositif de réglage. Le dispositif de mesure est calibré en considérant l'angle avec la direction de l'axe d'application de la force.
- Un système de retenue initiale du chariot mobile par aimant assure d'une part le bon alignement initial de l'appareil, qui assure le contrôle de la surface d'essai, et d'autre part qu'aucun déplacement horizontal ne se produise avant que les deux interfaces ne soient pleinement en contact et qu'une force minimale soit mobilisée sur l'interface, quelle que soit la courbure résiduelle initiale des spécimens d'essai. La force de retenue est ajustée pour représenter une force marginale en comparaison avec la force mesurée.

Le protocole de réalisation de l'essai peut être résumé en la succession des étapes suivantes, lesquelles nécessitent un total d'environ 5 minutes pour la réalisation d'un test :

1. Ajustement et vérification de l'angle d'essai.
2. Mise en position initiale du chariot horizontal.
3. Vérification de l'appareillage.
4. Installation des spécimens sur la surface abrasive.
5. Approche rapide des plateaux jusqu'à un contact complet et une force initiale de quelques Newtons.
6. Démarrage de l'essai.
7. Arrêt de l'essai une fois un pic atteint et/ou la force maximum admissible pour l'appareil observée.

4.2. Essais préliminaires

La figure 7 présente le résultat brut obtenu en évaluant une géomembrane à texture projetée de moyenne densité contre elle-même, pour différent angles variant entre ~20 et ~30 degrés. On peut observer que la force maximale atteinte diminue alors que l'angle augmente. Pour l'essai réalisé avec un angle de 29,8 degrés, la force mesurée représente la force de libération du système de retenue : à toutes fins pratiques l'interface n'offre plus aucune résistance au cisaillement.

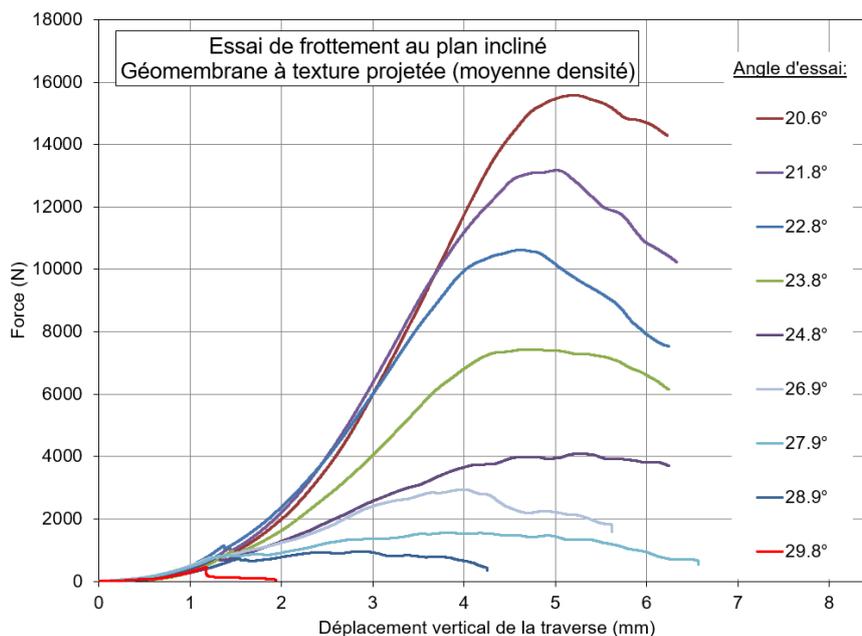


Figure 7. Résultats bruts – essai au plan incliné

Ces résultats peuvent être utilisés pour déterminer la contrainte normale et la contrainte tangentielle ayant mené au glissement de l'interface :

$$\sigma_{\alpha} = \frac{F_{\max(\alpha)} \times \cos \alpha}{S}$$

$$\tau_{\alpha} = \frac{F_{\max(\alpha)} \times \sin \alpha}{S}$$
(2)

où α est l'angle fixé pour un essai donné, $F_{\max(\alpha)}$ la force maximum observée pour cet angle, S la surface de contact, σ_{α} la contrainte normale et τ_{α} la résistance au cisaillement correspondante. Le couple $(\sigma_{\alpha}, \tau_{\alpha})$ définissant une rupture, celui-ci est placé sur l'enveloppe de Mohr-Coulomb de l'interface évaluée. La figure 8 présente les enveloppes de rupture obtenues en évaluant deux géomembranes texturées par projection : une à densité de texture moyenne, une à haute densité.

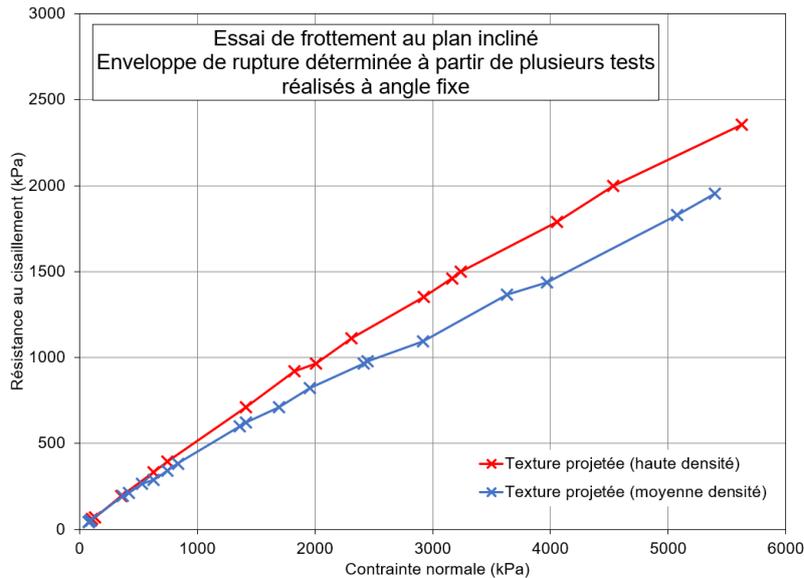


Figure 8. Enveloppes de rupture déterminée à partir de séries d'essais de compression avec plan incliné avec une texture projetée à moyenne et à forte densité.

Des essais de validation ont été conduits à la boîte de cisaillement direct pour la texture moyenne, en utilisant le protocole d'essai ISO 12957-1 et des contraintes de 100, 200 et 400 kPa. Les résultats obtenus sont présentés sur la figure 9. On observe une parfaite superposition des enveloppes de Mohr-Coulomb déterminées à l'essai de cisaillement direct et à l'essai de compression avec plan incliné.

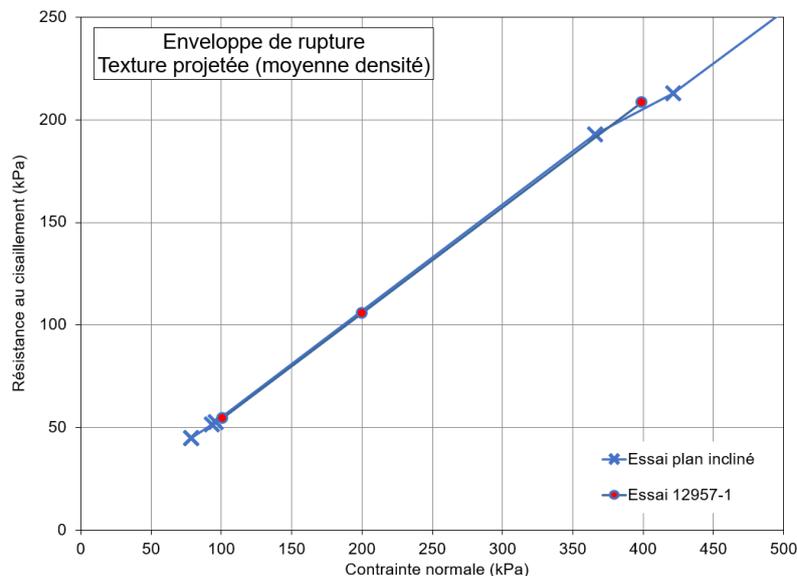


Figure 9. Enveloppes de rupture déterminée à l'essai de compression avec plan incliné versus à la boîte de cisaillement direct.

On peut ensuite observer que, pour l'interface testée, l'enveloppe de Mohr-Coulomb présentée sur la figure 8 n'est pas linéaire. Une rupture peut être observée pour différents angles d'essai, la contrainte nécessaire pour provoquer la rupture diminuant au fur et à mesure que l'angle augmente. Lorsque l'angle approche l'angle de frottement déterminé à la boîte de cisaillement direct ISO 12957-1, les contraintes observées sont du même ordre de grandeur que les contraintes utilisées dans l'essai de cisaillement direct. Il n'est ensuite pas possible de développer une contrainte (au-delà de celle provenant du système de retenue) lorsque l'angle d'essai est supérieur à l'angle de frottement déterminé à la boîte de cisaillement direct ISO 12957-1.

En s'appuyant sur les observations présentées sur les figures 8 et 9, on peut donc proposer sur la figure 10 le comportement idéalisé d'une interface. Pour chaque angle d'essai, la contrainte chemine le long d'une droite partant de l'origine et définie par l'angle d'essai. Elle atteint le point de rupture de l'interface, situé sur l'enveloppe de Mohr-Coulomb. Un tel cheminement de contrainte est illustré pour un angle de 21 degrés par le segment de droite rouge sur la figure 10. Le module du segment est égal à la force mesurée à la rupture.

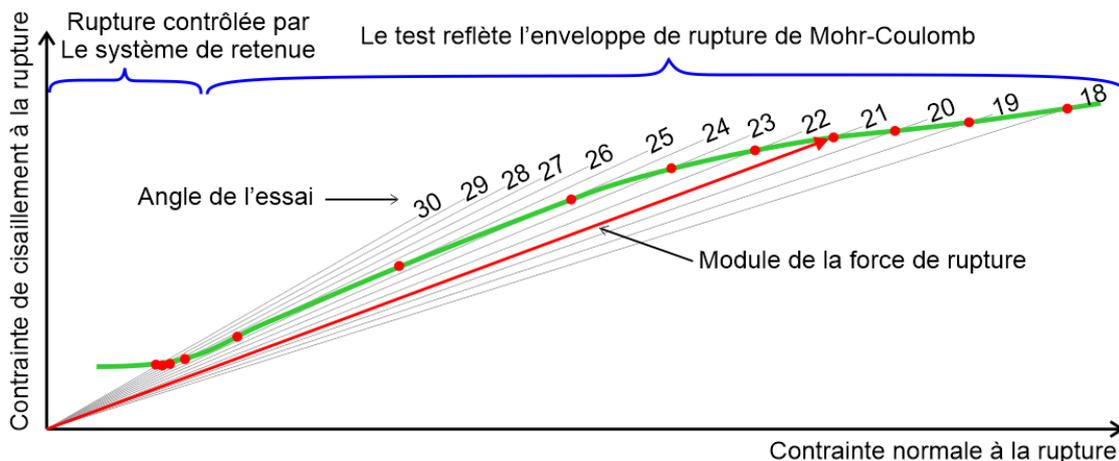


Figure 10. Comportement idéalisé d'une interface

5. Discussion

5.1. Utilité de l'essai

L'excellente corrélation entre les résultats obtenus avec l'essai de compression avec plan incliné et les essais de cisaillement direct suggère que la méthodologie proposée constitue une voie prometteuse pour la caractérisation au dynamomètre d'une propriété intrinsèque de la géomembrane, reflétant la résistance au cisaillement d'une interface impliquant cette géomembrane. Deux aspects doivent être soulignés :

- D'une part, la mobilisation de la résistance mesurée se fait selon un mécanisme similaire à celui qui est mis en œuvre lorsqu'une interface est exposée à une contrainte de cisaillement, contrairement à la hauteur des aspérités qui est une propriété strictement géométrique. La hauteur des aspérités n'a de pertinence que lorsqu'elle est attachée à une technologie de fabrication précise et, même dans ce cadre, elle ne présente plus d'intérêt au-delà d'une valeur limite, tel que mis en évidence par Blond et Élie (2006).
- D'autre part, le temps requis pour conduire un essai est de l'ordre de quelques minutes par point de mesure, et de moins de deux heures pour une détermination complète avec deux répliques par angle d'essai, ce qui permet de réaliser le test dans le cadre d'un programme de contrôle de la qualité.

Cependant, il est important de souligner que cette propriété reste une propriété intrinsèque de la géomembrane et n'est pas destinée à remplacer un essai de détermination de l'angle de frottement d'une interface géomembrane / géotextile ou géomembrane / sol.

5.2. Nouvelles opportunités offertes par l'essai

S'il ne semble pas possible d'utiliser le principe d'essai pour évaluer les caractéristiques d'une interface sol / géosynthétique, en revanche, son utilisation pour évaluer le comportement d'une interface géomembrane / géotextile ou géomembrane / géocomposite se doit d'être évaluée.

Dans l'éventualité où les essais offriraient une alternative performante aux essais de cisaillement direct pour certaines interfaces, il deviendrait de surcroît possible de déterminer la position de l'enveloppe de Mohr-Coulomb sous des contraintes de service dépassant largement la capacité des équipements de cisaillement direct courants. On peut en effet observer sur la figure 8 que des contraintes normales de l'ordre de 5000 kPa sont atteintes lors de l'utilisation de faibles angles d'essai, ce niveau de contrainte étant encore inaccessible pour les appareils de cisaillement direct commerciaux.

De plus, si l'atteinte d'un tel niveau de contrainte n'est pas réaliste dans un contexte de construction normal, il présente l'intérêt de quantifier la contrainte nécessaire pour atteindre la rupture d'une interface sous un angle donné, et met de ce fait en évidence le fait que cette contrainte est fonction de l'angle de la pente. Cette approche pourrait améliorer la compréhension des mécanismes de rupture, et remettre en perspective la façon dont un facteur de sécurité applicable à la stabilité d'une interface est déterminé.

Ainsi, dans l'éventualité où cet appareil serait utilisé pour évaluer la résistance au cisaillement d'interfaces géotextile / géomembrane, il serait judicieux de développer une nouvelle façon de définir un Facteur de Sécurité, qui pourrait s'appliquer à la contrainte de service, plutôt qu'à l'angle de la pente.

5.2. Répétabilité et reproductibilité de l'essai

Les informations présentées sont issues de tests réalisés en doublons pour chaque angle de test. D'autres essais sont en cours, lesquels ont entre autres pour but de valider la répétabilité des essais de façon plus exhaustive.

Il est important de souligner que plusieurs générations d'appareillage ont été nécessaires à l'atteinte de résultats représentatifs. Des éléments comme la rigidité du bâti et l'existence de systèmes de rattrapage de jeu performants devront être décrits dans une norme d'essai, le cas échéant.

6. Conclusions

L'appareillage proposé permet une évaluation rapide d'une propriété intrinsèque de la géomembrane texturée par projection, laquelle caractérise les propriétés qui seront mises en œuvre dans un essai de frottement à l'interface par le biais d'un essai simple et rapide à réaliser.

Des niveaux de contrainte significativement supérieurs à ce qui est réalisable avec une boîte de cisaillement direct conforme à ISO 12957-1 peuvent être atteints en utilisant la méthode proposée.

Des essais complémentaires sont en cours, lesquels visent notamment à confirmer la répétabilité de l'essai.

7. Remerciements

Les travaux ont été financés par le Programme Innovation Québec, dans le cadre d'un projet réalisé en partenariat avec le Groupe CTT et Solmax International.

8. Références bibliographiques

- Adeleke, D (2020): An investigation into the effects of asperities on geomembrane/geotextile interface shear characteristics, Master Thesis, University of Cape Town, Faculty Of Engineering And Built Environment, Department Of Civil Engineering
- Adesokan D, Blond E. (2018): Asperity height or asperity concentration: What matters more for interface shear resistance on Textured Polyethylene (PE) geomembranes?. *Proceedings of the XIth international Conference on Geosynthetics*, Sept 16-21 2018, Coex, Seoul, Korea
- Blond E., Elie G. (2006): Interface shear-strength properties of Textured Polyethylene geomembranes. *Proceedings of the 59th annual conference of the Canadian Geotechnical Society, Saskatoon, October 2005.*
- Koerner R. (2012) : *Designing with geosynthetics, 6th Edition, Volume 2*, ISBN (Ebook) 978-1-4653-4526-4
- Scheirs J. (2009): *A guide to polymeric geomembranes: a practical approach*. Wiley and Sons, ISBN 978-0-470-51920-2
- ISO 12957-1 (2018): Géosynthétiques — Détermination des caractéristiques de frottement — Partie 1: Essai de cisaillement direct
- ASTM D5321-21: Standard test method for determining the shear strength of soil-geosynthetic and geosynthetic-geosynthetic interfaces by direct shear
- ASTM D7466-10(2015)e1 : Standard test method for measuring asperity height of textured geomembranes