

Etude expérimentale et numérique du poinçonnement des dispositifs d'étanchéité par géomembrane.

Thématique de recherche : expérimentation et modélisation en géomécanique

Contexte et problématique du sujet de thèse

Les dispositifs d'étanchéité par géomembrane (DEG) sont des systèmes complexes associant des couches de matériaux granulaires et des géosynthétiques qui permettent de combiner une fonction de drainage et une fonction d'étanchéité. Les DEG sont des éléments clés de certains ouvrages hydrauliques implantés dans des matériaux trop perméables pour permettre de créer une retenue d'eau (c'est le cas par exemple des retenues d'altitude utilisées pour l'irrigation ou la production de neige de culture, cf Fig. 1) ou bien nécessitant un haut niveau d'étanchéité (c'est le cas par exemple des bassins captant les eaux polluées des infrastructures de transport ou bien des installations de stockage de déchets non dangereux). Selon l'ouvrage considéré, une défaillance de l'étanchéité d'un DEG peut avoir de graves conséquences en termes de sécurité des personnes et des biens que ce soit en compromettant la stabilité mécanique de l'ouvrage, on en causant une pollution de l'environnement.



Figure 1 – Géomembrane PVC assurant l'étanchéité d'une retenue d'altitude pour la production de neige de culture ; géomembrane présentant des réparations du fait d'endommagements par poinçonnement

Dans un DEG, la fonction d'étanchéité est assurée par une géomembrane. La fonction de drainage (requisse au-dessous et/ou au-dessus de la géomembrane en fonction de son utilisation) est généralement assurée par une couche de matériaux granulaires. Quel que soit le type d'ouvrage, lorsqu'il est en condition de service, une contrainte mécanique s'applique sur l'ensemble du DEG, induisant des risques de poinçonnement au niveau des contacts entre géomembrane et matériaux granulaires. Par exemple, cette contrainte (ou pression) correspond au poids de la colonne d'eau sus-jacente dans le cas d'une retenue d'altitude ou bien au poids de la colonne de déchet sus-jacente dans le cas d'une installation de stockage de déchets non dangereux. Pour protéger la géomembrane vis-à-vis des sollicitations de poinçonnement induites par les matériaux granulaires, un géotextile de protection peut être utilisé. Ce géotextile est généralement un produit fibré et non tissé. Pour assurer la pérennité de l'ouvrage comportant un DEG, le dimensionnement du géotextile de protection est un enjeu majeur.

Ce projet de thèse vise à apporter un éclairage nouveau sur la problématique de la protection des géomembranes vis-à-vis des sollicitations de type poinçonnement par l'emploi de géotextiles, en développant des expérimentations de laboratoire (presse de poinçonnement) et des modélisations numériques (simulations aux éléments discrets)

Les principales questions de recherche qui seront investiguées sont :

- Quel est le mode de rupture locale d'une géomembrane par poinçonnement ? En d'autres termes, la rupture est-elle pilotée par les efforts de compression, de cisaillement ou de traction, pris individuellement ou selon une combinaison particulière ? - Est-ce que la DEM permet de modéliser la rupture d'une géomembrane par poinçonnement ?
- Est-ce que la DEM permet de modéliser une nappe de géotextile et rendre compte de son effet protecteur ?

Programme de recherche

Le présent projet de thèse prévoit de développer des modélisations physiques expérimentales originales afin de décrire l'ensemble des mécanismes sous-jacents au phénomène de poinçonnement et d'étendre de récents développements DEM qui permettent de modéliser numériquement aussi bien divers types de nappes souples que des matériaux fibreux, possiblement en interaction avec un matériau granulaire support, afin de répondre aux enjeux décrits ci-dessus. Les caractéristiques utiles du comportement mécanique des géomembranes seront obtenues par des essais de laboratoire. Le projet suppose que les approches DEM seront capables de modéliser le mode de rupture des géomembranes au travers de lois de contacts entre particules discrètes. Compte tenu de l'expérience de l'équipe d'encadrement dans le domaine des géosynthétiques et de la simulation DEM, et compte tenu de l'état de l'art réalisé sur le sujet, ces hypothèses nous apparaissent tout à fait crédibles scientifiquement.

Pour traiter la partie expérimentale, des bancs d'essais du laboratoire géosynthétiques de l'UMR RECOVER, seront utilisés. Il s'agit par exemple d'une presse de compression/traction, d'une cellule de pression hydrostatique représentée à la Fig. 2, ainsi qu'un banc de cisaillement. Le nouveau scanner laser 3D du laboratoire géomécanique pourra être utilisé afin de reproduire numériquement la géométrie des blocs utilisés dans les expériences de laboratoire. Cette approche est tout à fait originale pour traiter la problématique du sujet. Le personnel technique du laboratoire sera mobilisé, notamment concernant les aspects d'instrumentations et de métrologie. Les travaux de modélisation numérique seront effectués à partir du code opensource DEM YADE.

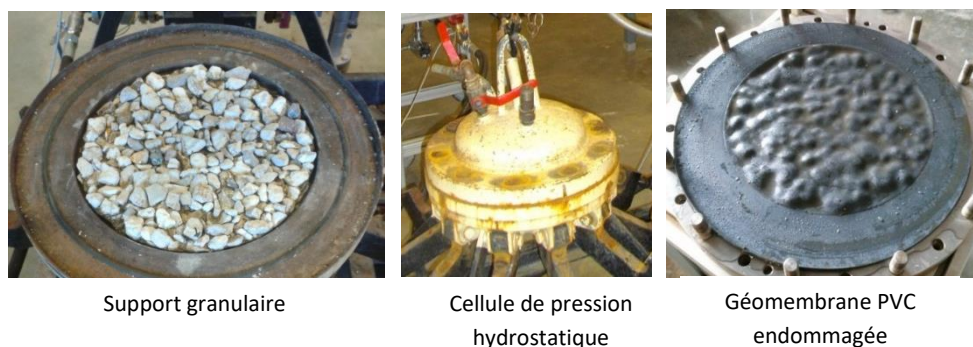


Figure 2 – Géomembrane PVC sollicitée dans une cellule de pression hydrostatique, et endommagée par le poinçonnement induit par un support granulaire

À partir de campagnes de laboratoire mesurant la résistance des géomembranes sous sollicitations simples (compression, cisaillement, traction), la thèse s'attachera tout d'abord à caractériser leur comportement mécanique constitutif (élastique-fragile avec différentes raideurs et différentes résistances, élasto-plastique avec des ductilités (allongements à la rupture) très diverses, voire visco-élastique) afin de le reproduire ensuite en DEM. Le but est de démontrer que les approches DEM permettent de simuler fidèlement le comportement mécanique des géomembranes.

De par la nature discrète de la DEM, la perforation de ces nappes peut être décrite naturellement. Cependant, la DEM n'a pas encore été utilisée dans le cadre du poinçonnement des géomembranes. Un objectif de la thèse consistera alors à combler cette lacune. On cherchera en particulier à estimer les performances prédictives de méthodes DEM pour de telles études, à partir d'essais expérimentaux correspondant au poinçonnement de géomembranes de nature différente. On s'attachera en particulier à utiliser les données micromécaniques accessibles en DEM pour préciser l'état mécanique des différentes zones de la membrane et caractériser les modes de ruptures cohérents avec les données expérimentales. Dans cette optique, les formes de grains réels scannées (Fig. 3) seront utilisées pour créer des jumeaux numériques des expériences de laboratoire. La technique de Level Set DEM sera mise en œuvre dans le code de calcul YADE afin de permettre la prise en compte de formes quelconques et non sphériques. En se focalisant ensuite sur les géotextiles de protection des géomembranes, on cherchera également à construire des modèles numériques de géotextile d'un second niveau de complexité puisqu'ils chercheront à reproduire la microstructure des produits réels (Fig. 3). Cette prise en compte directe dans la modélisation des paramètres microstructuraux représente donc un travail très novateur et absent à ce jour de la bibliographie scientifique des géosynthétiques.

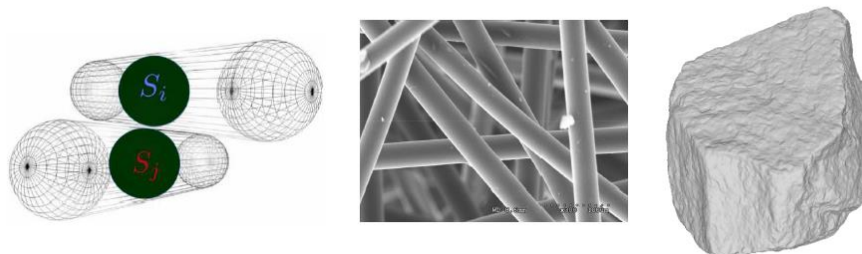


Figure 3 – Éléments fibreux en DEM, à gauche, de Kunhappan et al. (2017), que ce sujet de recherche propose d'appliquer aux géotextiles tels que celui vu au Microscopique Électronique à Balayage, au centre. (D. Kunhappan, B. Harthong, B. Chareyre, G. Balarac, and P. J. J. Dumont. Numerical modeling of high aspect ratio flexible fibers in inertial flows. *Physics of Fluids*, 29(9): 093302, 2017). Bloc rocheux scanné en trois dimensions (à droite) en vue de construire un jumeau numérique (avec la permission de J. Duriez).

Cadre de la thèse

Le doctorant sera inscrit à l'école doctorale physique et sciences de la matière d'Aix-Marseille Université (<https://ecole-doctorale-352.univ-amu.fr/>) et sera basé dans l'unité RECOVER d'INRAE PACA (<https://www6.paca.inrae.fr/recover/>). L'une des thématiques de recherche de RECOVER porte sur le comportement à court (résistance) et long terme (durabilité) des géomatériaux. Cette unité de recherche est équipée de bancs d'essais et de moyens techniques pour la caractérisation et l'étude du comportement hydraulique et mécanique des matériaux granulaires et des matériaux géosynthétiques. RECOVER dispose également de moyens de calculs importants et de l'expertise

scientifique permettant de simuler le comportement des géomatériaux par simulations aux éléments discrets.

Les chercheurs de RECOVER sont bien identifiés dans des réseaux scientifiques internationaux tels que ALERT Geomaterials ou l'IRN GeoMech.

Durée : contrat de 36 mois (CDD), d'octobre 2021 à fin septembre 2024

Lieu : INRAE PACA, site d'Aix-en-Provence / Le Tholonet (France)

Inscription : Ecole doctorale (ED 353) Physique et sciences de la matière d'Aix-Marseille Université

Profil des candidats et compétences attendues :

Master 2 Recherche ou diplôme d'ingénieur en géotechnique – génie civil – génie des matériaux. Le (la) candidat(e) devra avoir de solides connaissances en mécanique des solides et un goût pour la recherche expérimentale. Une expérience en modélisation numérique serait un atout.

Qualités requises : autonomie et aptitude au travail en équipe, capacité à conceptualiser, curiosité esprit critique, patience, persévérance et rigueur.

Maîtrise de l'anglais technique impérative.

Mots clés associés : poinçonnement, comportement à la rupture, géomembrane, géotextile, modélisation par éléments discrets.

Contacts pour candidater :

Guillaume STOLTZ

INRAE PACA

tel: +33 (0)4 42 66 69 64

guillaume.stoltz@inrae.fr

Antoine Wautier

INRAE PACA

tel: + 33 (0)4 42 66 69 85

antoine.wautier@inrae.fr