

MATÉRIEL D'ÉTUDE DE L'INTERACTION GÉOSYNTHÉTIQUE – SOL : ESSAIS DE TRACTION, CISAILLEMENT ET FROTTEMENT

EQUIPMENT FOR STUDYING THE SOIL-GEOSYNTHETIC INTERACTION: PULLOUT-, SHEAR- AND FRICTION TESTS

Taner AYDOGMUS, Mohamed OUBELKAS, Herbert KLAPPERICH
TU Bergakademie Freiberg, Allemagne

RÉSUMÉ – L'utilisation des géosynthétiques comme armatures ou éléments de séparation dans les ouvrages géotechniques nécessite de caractériser le frottement à l'interface entre les différents matériaux du système considéré : géosynthétiques et sols. Pour approfondir les connaissances sur le comportement des sols renforcés par géosynthétique, nous avons développé un appareil d'essai de l'interaction géosynthétiques-sol (IPG). Cette communication décrit ce matériel d'essai, qui permet des essais de cisaillement, d'extraction et de frottement. Elle commente ensuite les recherches en cours.

Mots-clés : matériel d'essai, essai de cisaillement, essai de traction, essai de frottement.

ABSTRACT – The use of geosynthetics as a reinforcement or separation material in geotechnical structures makes it necessary to characterize the friction at the interface between the various materials used: geosynthetics and soils. We have developed an apparatus for the examination of the interaction behaviour of soil-geosynthetics compound systems. This paper presents this novel apparatus, which allows to perform shear tests, pull-out tests and friction tests. Some indications on the ongoing researches are then given.

Key words : test equipment, shear test, pull-out test, friction test.

1. Introduction

Au cours des dernières décennies, les géosynthétiques ont acquis une place reconnue dans la conception de nombreux ouvrages: infrastructures de transport, aménagements hydrauliques, bassins de rétention d'effluents industriels et agricoles, etc. De nombreux types de géosynthétiques sont utilisés pour constituer des dispositifs plus ou moins complexes répondant aux exigences réglementaires sur le confinement des déchets : géomembranes, géotextile, etc. Ils servent à créer une séparation entre deux couches de sols différentes, à créer une filtration entre une couche de sol et une couche drainante permettant de laisser passer l'eau tout en retenant les particules du sol fin, à renforcer un sol, etc. L'application des géosynthétiques est une alternative pratique et moins chère.

De nouvelles technologies permettent de fabriquer de nouvelles générations de géosynthétiques à hautes caractéristiques (très grande résistance et très faible allongement). Pour tester les sols renforcés par géosynthétiques, il faut disposer d'un échantillon de grande taille. Ces impératifs ont abouti à la conception d'une grande boîte de cisaillement appelée "*Geosynthetik-Boden-Interaktionsprüfgerät*" (Appareil d'essai d'interaction géosynthétique-sol) en allemand et que nous appellerons par la suite simplement IPG (Aydogmus, 2004 ; Aydogmus et Klapperich, 2003 ; Aydogmus et al., 2001, 2002).

L'IPG a été conçu pour l'étude spécifique des sols renforcés et non renforcés. Il a été fabriqué à l'institut de Géotechnique de l'École des Mines et de Technologie de Freiberg, en tenant compte des nouvelles normes allemandes, notamment de la norme DIN 18137-3: 2002-09.

Ce nouveau matériel d'essai est décrit dans cette communication. Nous donnons ensuite quelques indications sur les recherches en cours.

2. La boîte de cisaillement IPG

2.1 Présentation de l'appareil

Il s'agit d'une boîte de cisaillement de dimensions $A_S = 500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$ (pour les essais à surface de cisaillement variable) ou $500 \text{ mm} \times 600 \text{ mm}$ (pour les essais à surface de cisaillement constante) et de 200 mm de hauteur (figures 1 et 2).

Le sol se trouve à l'intérieur de deux demi-boîtes superposées. La boîte supérieure est maintenue fixe ou bien flottante. La demi-boîte inférieure est mobile.

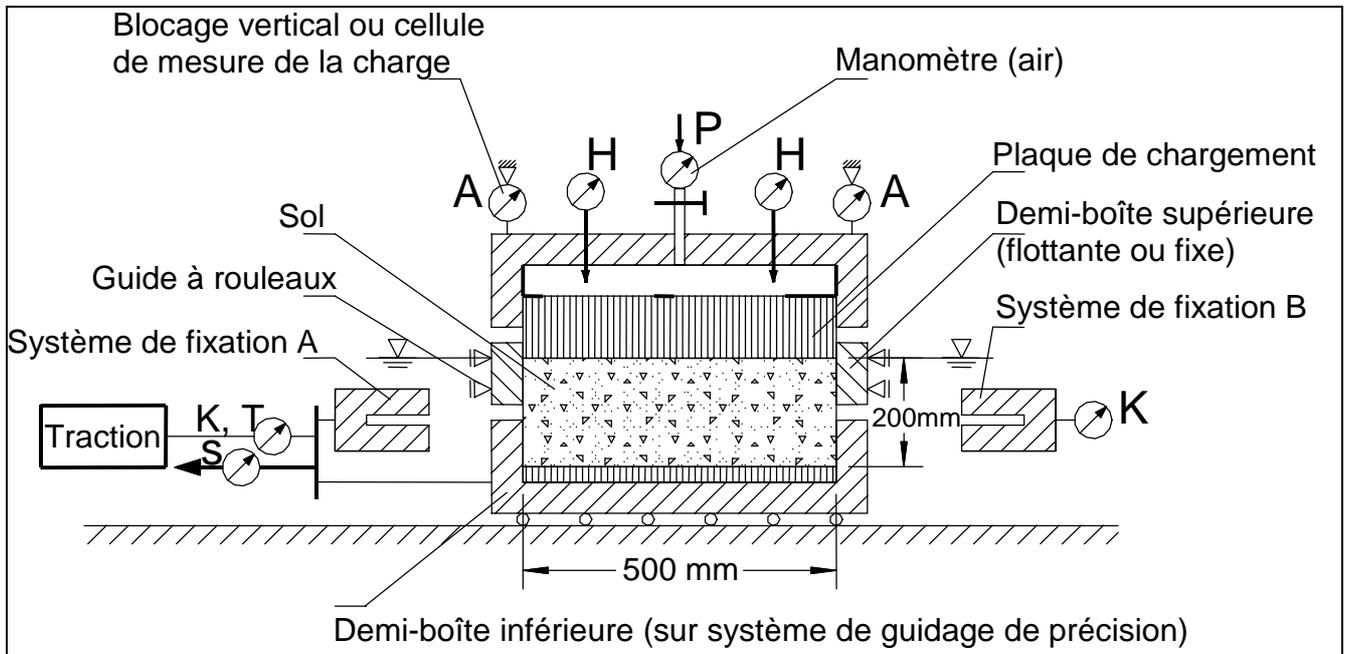


Figure 1. Représentation schématique de la boîte de cisaillement IPG.

Le dispositif expérimental comprend trois parties :

- un système de chargement pneumatique, qui applique une force normale sur l'échantillon. La pression verticale peut varier de 0 à 600 kPa ;
- un système mécanique d'application de la force tangentielle, qui permet de cisailer l'échantillon sous un effort maximal de 125 kN ;
- des systèmes de mesure de la force tangentielle, de la contrainte normale et du déplacement tangentiel.

2.2 Capacités de l'appareil

Le dispositif d'essai "IPG" comporte deux éléments spécifiques :

- la demi-boîte supérieure peut être laissée libre (flottante) ou bien maintenue fixe ;
- un nouveau système de serrage est utilisé pour tenir la nappe de géosynthétique.

Il permet d'exécuter des essais de cisaillement, de frottement et de traction.

La boîte décrite dans cette communication est plus grande que les boîtes de cisaillement classiques. De ce fait, l'influence des bords de la boîte est réduite et l'on peut faire des essais sur les sols et sols renforcés tels que mis en œuvre in situ.

Les essais réalisables dans la boîte de cisaillement IPG sont représentés schématiquement sur les figures 3 et 4.



Figure 2. Photographie de l'appareil d'essai d'interaction géosynthétique – sol de l'institut de géotechnique de l'École des Mines et de Technologie de Freiberg.

Tableau 1. Caractéristiques de l'appareil d'essai.

Dimensions de l'échantillon	500 x 500 (600) x 200 mm
Pression verticale	0 à 600 kPa
Force tangentielle (effort mécanique maximal)	125 kN
Vitesse de déplacement de la boîte inférieure	0,000001 à 12 mm/min
Déplacement maximal horizontal de la demi-boîte inférieure	160 mm
Distance imposée entre les deux demi-boîtes (espace de cisaillement)	0 à 50 mm
Longueur maximale de traction	400 mm

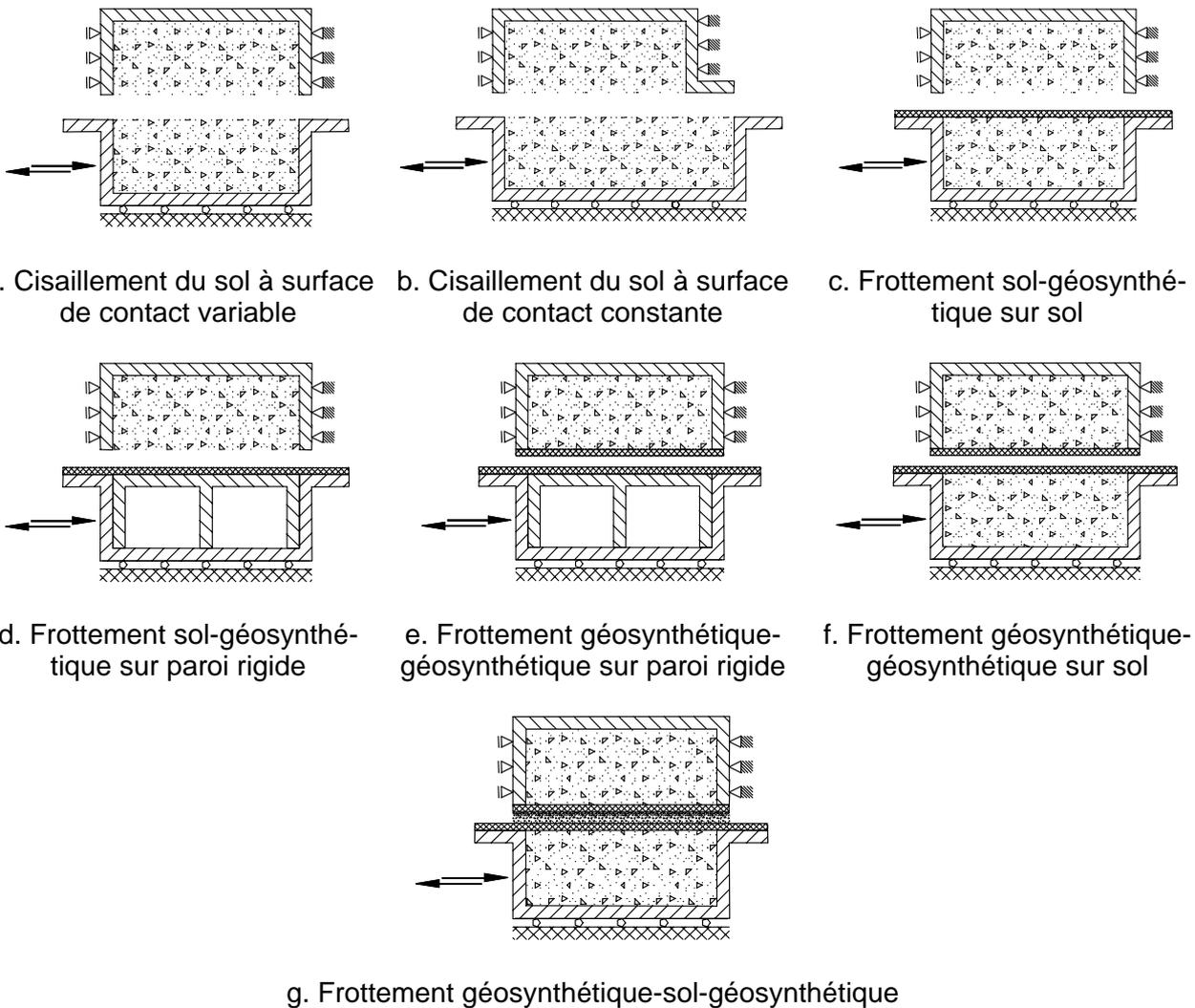


Figure 3. Types d'essais de cisaillement réalisables avec la boîte IPG

2.3 Influence de l'espacement entre les deux demi-boîtes

La distance imposée entre les deux demi boîtes (de 0 à 50 mm) vise à :

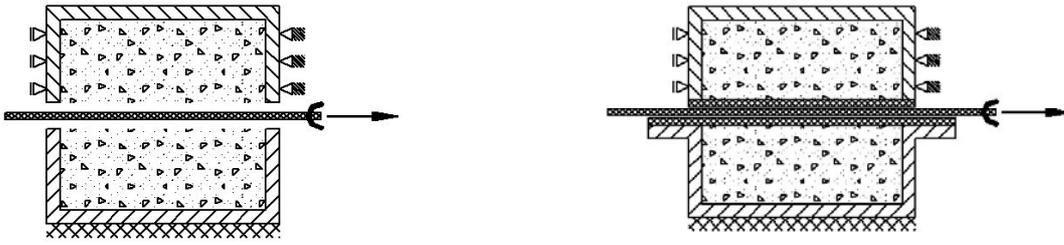
- supprimer le frottement entre les deux demi-boîtes pendant le cisaillement,
- éviter la rupture des grains situés sur le plan de rupture,
- permettre le développement d'une bande de cisaillement autour du plan de cisaillement.

L'expérience a montré qu'en fonction du matériau testé et de la taille de ses plus grosses particules, l'espacement entre les deux demi-boîtes pouvait exercer une influence non négligeable sur les paramètres mesurés. Dans ces conditions, la détermination des propriétés mécaniques sur des matériaux grossiers à l'aide de cette boîte de cisaillement doit être effectuée avec prudence.

3. Études expérimentales et numériques

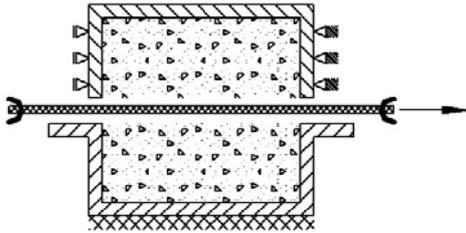
3.1 Fiabilité et reproductibilité des résultats de mesure

La fiabilité et la reproductibilité des résultats de mesure ont été examinées sur différents sols et géosynthétiques dans différentes configurations expérimentales et dans des conditions identiques. Les résultats des essais de cisaillement direct d'un sable sous une pression normale de $\sigma = 100$ kPa sont représentés sur la figure 5. Les résultats montrent, comme dans tous les essais effectués, une excellente reproductibilité des essais (Aydogmus et al., 2003).

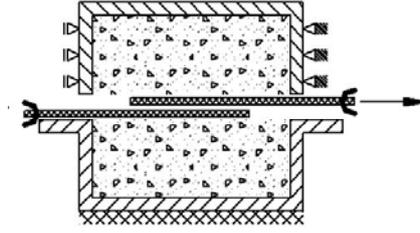


a. Traction d'un géosynthétique dans le sol

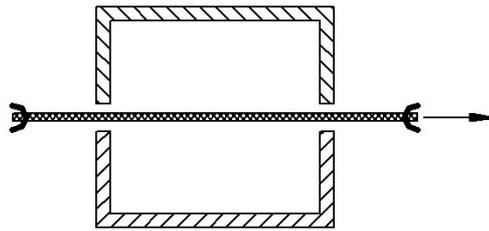
b. Traction d'un géosynthétique entre deux géosynthétiques



c. Allongement d'un géosynthétique dans le sol



d. Frottement au recouvrement de deux géosynthétiques



e. Allongement d'un géosynthétique

Figure 4. Types d'essais de traction réalisables avec la boîte IPG

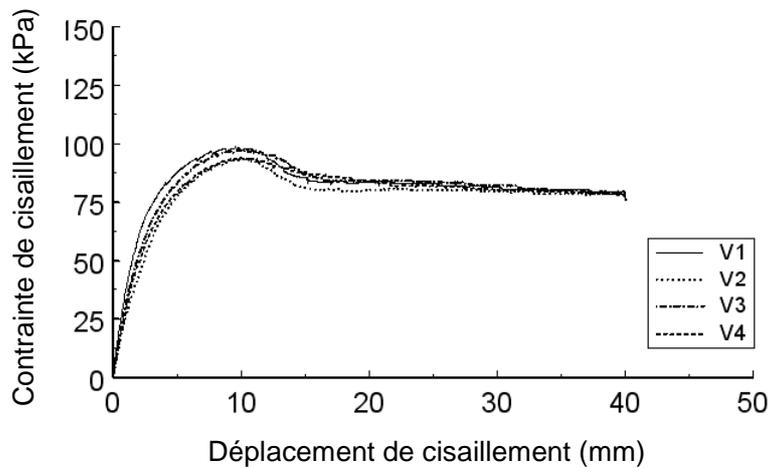


Figure 5. Reproductibilité des résultats d'essai de cisaillement sur sable

Nous avons également étudié l'influence de la boîte de cisaillement sur le résultat des essais. Une première série d'essais a été réalisée avec la boîte IPG en appliquant des contraintes normales variant de 50 à 350 kPa. Les résultats montrent que la configuration de l'appareil de mesure a une influence sur

les valeurs mesurées (figure 6). Le mouvement vertical libre de la boîte supérieure produit des résistances au cisaillement plus faibles (jusqu'à 50%) que lorsque le mouvement de cette boîte est bloqué.

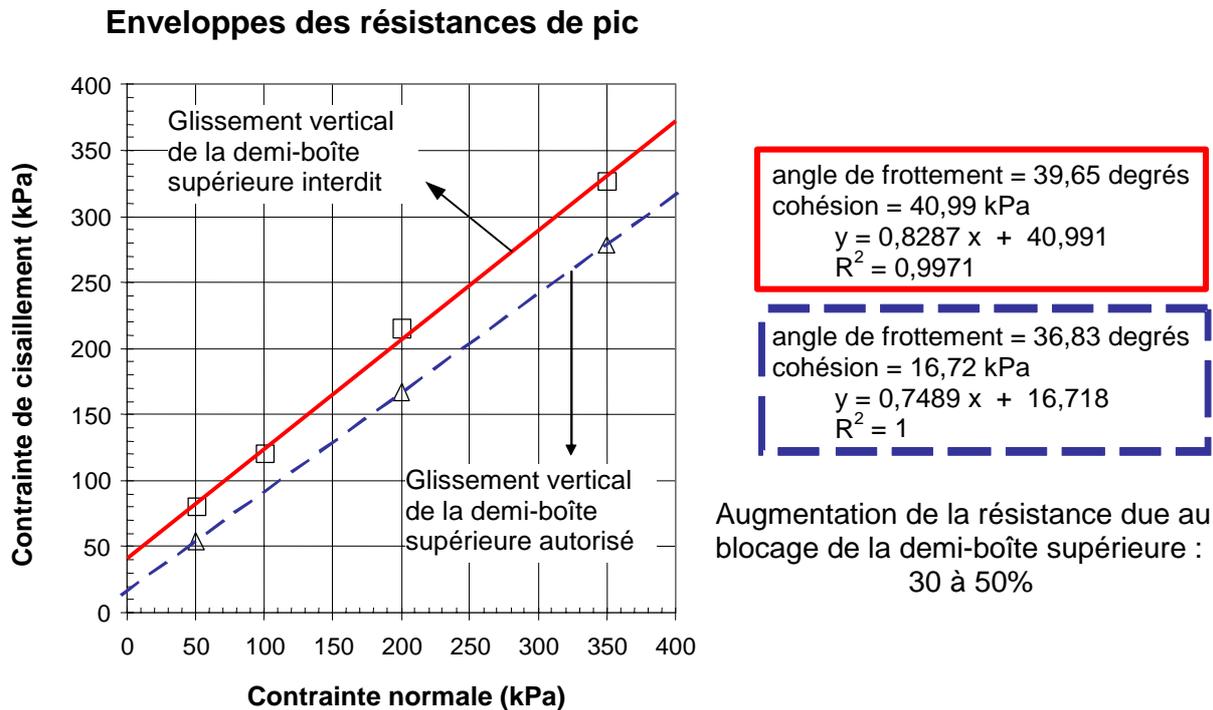


Figure 6. Influence de la boîte de cisaillement sur la résistance au cisaillement.

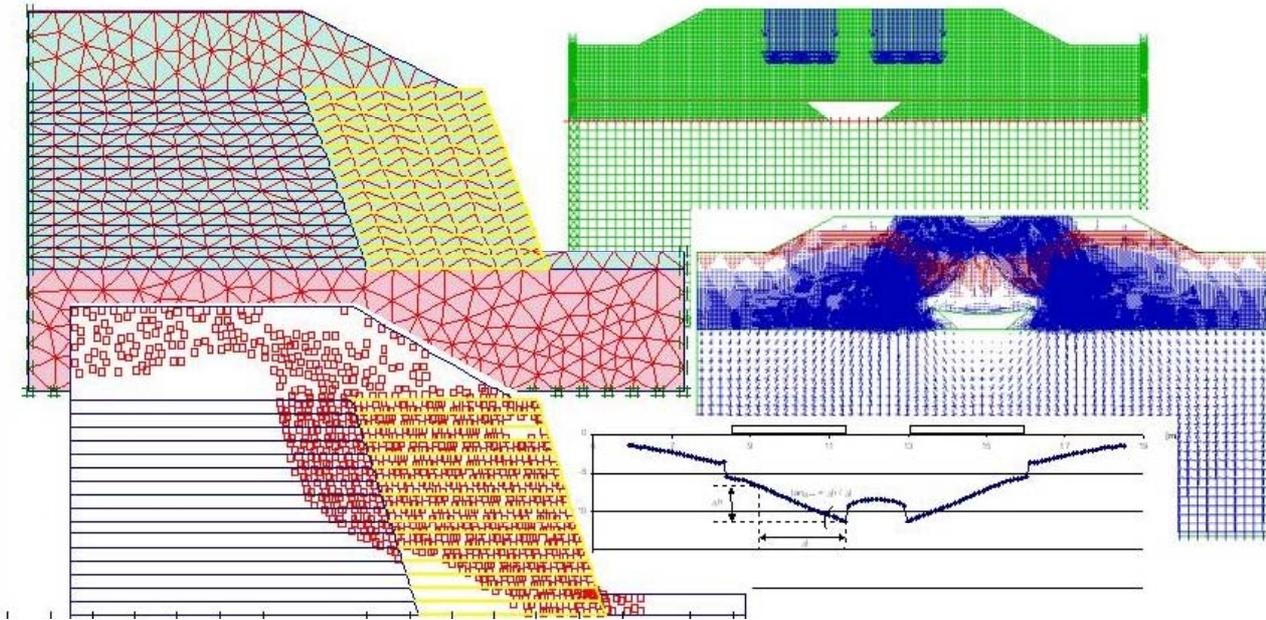
3.2 Modélisation numérique

L'utilisation de matériaux nouveaux dans la réalisation des ouvrages en sol renforcé fait que le comportement mécanique de ces ouvrages devient plus complexe. Dans ce cas, l'utilisation de la méthode des éléments finis s'est avérée adaptée pour une modélisation plus réaliste des problèmes.

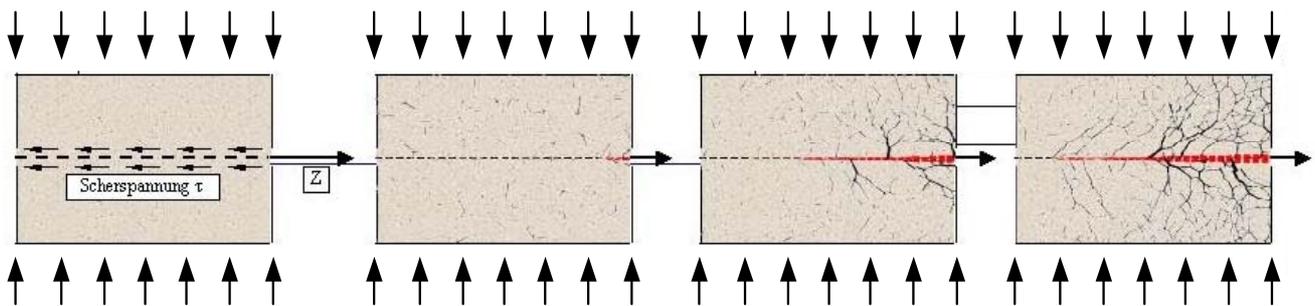
Cette méthode permet notamment de simuler le comportement d'interaction géosynthétique-sol au niveau de leur contact. Ce principe de simulation permet d'évaluer des déformations, des contraintes ainsi que des forces d'où la possibilité d'envisager des mécanismes de rupture complexes dans le sol (grandes déformations, bandes de cisaillement, etc.) ou des mouvements relatifs très importants de part et d'autre d'une interface. Les études expérimentales réalisées en laboratoire dans des conditions contrôlées (essais de traction, essais de cisaillement, essais de frottement, etc.) peuvent aussi être modélisés. Nous avons utilisé les logiciels :

- PFC^{2D} et PFC^{3D} – Méthode des éléments discrets (DEM)
- FLAC^{2D} et FLAC^{3D} – Méthode des différences finies (FDM)
- PLAXIS – Méthode des éléments finis (FEM)

La figure 7 montre à titre d'exemple les résultats de quelques modélisations numériques de l'interaction géosynthétique-sol dans différents domaines d'application : pente renforcée, franchissement d'éboulement, franchissement de cavité et un essai de traction modélisé au moyen du programme PFC (DEM).



a. Divers calculs en éléments finis et différences finies



b. Modélisation de l'arrachement d'un géosynthétique (programme PFC)

Figure 7. Résultats des modélisations numériques de l'interaction géosynthétique-sol

4. Conclusion générale

Dans le but d'approfondir les connaissances sur le comportement des sols renforcés par géosynthétiques et non renforcés, nous avons utilisé un nouvel appareil de cisaillement dénommé IPG d'après son nom en allemand "*Geosynthetik-Boden-Interaktionsprüfgerät*" (Appareil d'essai d'interaction géosynthétique - sol). Il a été fabriqué à l'institut de Géotechnique de l'École des Mines et de Technologie de Freiberg en tenant compte des nouvelles normes allemandes, notamment la norme DIN 18137-3: 2002-08.

On peut réaliser des essais sur le « matériau sol + renforcement » tel qu'utilisé in situ. Nous avons montré que c'était un appareil fiable et assez facile d'utilisation.

Ce nouvel appareillage nous a permis d'effectuer des essais de cisaillement, de traction et de frottement.

L'institut de géotechnique de l'École des Mines et de Technologie de Freiberg a comme objectif des applications innovantes de géosynthétiques pour différents projets de construction géotechnique, par le développement d'équipements expérimentaux avancés, d'essais modernes et de nouveaux systèmes de mesure ainsi que par le calcul par méthodes numériques.

Nous avons également présenté un programme de recherche pour obtenir des informations statistiques sur les interactions aux interfaces des systèmes composés de sol et de géosynthétiques.

5. Références bibliographiques

- Aydogmus T. (2004) Geräteinflüsse bei der Ermittlung des Interaktionsverhaltens von Geokunststoffen und Geomaterialien. 28. Baugrundtagung, 22.-24. September 2004, "Forum für junge Geotechnik-Ingenieure" Leipzig, Allemagne.
- Aydogmus T., Alexiew D., Klapperich H. (2004) Investigation of interaction behaviour of cement-stabilized cohesive soil and PVA Geogrids. *Geotechnical engineering with geosynthetics. Proc. 3rd European Geosynthetics Conference, Munich, Germany, 1.-3. March 2004. ISBN 3-00-013305-4, pp. 559-564, refs. 10, Munich, Allemagne.*
- Aydogmus T., Klapperich H. (2003) Geosynthetik-Boden-Interaktionsprüfgerät zur experimentellen Veranschaulichung der Interaktion von Boden-Geosynthetik-Verbundsystemen – Erste Ergebnisse. *Proc. 8. Informations- und Vortragsveranstaltung über "Kunststoffe in der Geotechnik", Geotechnik Sonderheft, pp. 67-68, refs. 5, München, Allemagne.*
- Aydogmus T., Tamaskovics N., Klapperich H. (2001) Geosynthetik-Boden-Interaktionsprüfgerät zur Erfassung komplexer Randbedingungen mit optimaler Praxisanwendung. *Proc. 7. Informations- und Vortragsveranstaltung über "Kunststoffe in der Geotechnik", Geotechnik Sonderheft, pp. 189-197, refs. 7, München, Allemagne.*
- Aydogmus T., Tamaskovics N., Klapperich H. (2002) Enhanced shear-pullout-testing device for the examination of the interaction behaviour of soil-geosynthetic-compound-systems. *Proc. 7. icg - Seventh International Conference on Geosynthetics, 22.-27. September 2002, Nice, ISBN 90 5809 523 1, pp. 1305-1308, refs. 12, Nice, France.*
- Aydogmus T., Tamaskovics N., Klapperich H., Schick R. (2001) Geosynthetik-Geomaterial-Prüfgerät. *Anmeldung auf Erteilung eines Patents, Deutsches Patent- und Markenamt, 15. März 2001, Aktenzeichen: 10112986.6., Patentschrift. (Allemagne).*
- DIN 18137-3 (2002-09) Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Scherfestigkeit - Teil 3: Direkter Scherversuch. *Beuth Verlag GmbH, Berlin, Allemagne.*
- EBGEO (1997) Empfehlungen für Bewehrungen aus Geokunststoffen. *DGGT, Ernst & Sohn Verlag, pp. 174, Essen, Allemagne.*