
Mise en évidence du phénomène « Stick-Slip » lors de la rupture par poussée d'un sol constitué de matériau analogique.

Sidi Mohammed Daoud¹ *, Mourad Meghachou¹, Pierre Vacher²

¹Université Djillali Liabes, Faculté des Sciences de l'Ingénieur 22000 Sidi Bel Abbés, Algérie.

²Université de Savoie, SYMME Annecy, France.

*daoudmed22@yahoo.fr

RÉSUMÉ. Nos travaux ont été entrepris afin de mettre en évidence le phénomène « stick-slip » lors du mécanisme de rupture par poussée d'un sol granulaire constitué de matériau analogique dans le cas des murs de soutènement. Pour ce un modèle réduit bidimensionnel a été conçu et une analyse phénoménologique de ces mécanismes est faite par mesure des champs de déformations grâce à la méthode de corrélation d'image. Il a été ainsi constaté une fluctuation dans la réponse du matériau lors de l'application successive des incréments égaux de déplacements imposés à la paroi mobile. Cette alternance de réponse du milieu lors du processus de rupture par poussée traduit le phénomène « stick-slip ».

ABSTRACT. Our work was undertaken in order to highlight the phenomenon "stick-slip" in the mechanism of rupture by the active earth pressure of a granular soil analogical material made up in the case of the retaining walls. For this a two-dimensional small-scale model was conceived and a phenomenological analysis of these mechanisms is made by measurement of the fields of deformations using the method of image correlation. It was noted that a fluctuation in the response of material occur during the successive application of the equal increments of displacements imposed on the mobile wall. This alternation response of the medium during the process of rupture by active earth pressure explains the phenomenon of "stick-slip".

MOTS-CLÉS : corrélation d'images, modèle réduit, mur de soutènement, milieu granulaire, matériau analogique, phénomène stick-slip, cisaillement.

KEYWORDS: image correlation, small-scale model, retaining wall, granular material, analogical material, stick-slip phenomenon, shear.

1. Introduction

Le phénomène de poussée est défini comme étant un état d'équilibre limite lorsque un matériau de remblai pousse sur une paroi d'un mur de soutènement, il a été démontré que lorsque il y a rupture d'un sol par poussée une ligne de rupture le long du sol derrière le mur se développe. Cette ligne ou bande représente la zone où va s'opérer un glissement et un frottement entre les grains du sol constitué d'un matériau granulaire. Pour les matériaux granulaires lors de la rupture par poussée un bloc rigide constitue la partie en mouvement qui glisse par rapport au reste du matériau et un frottement s'opère entre ces deux parties. L'une des manifestations importantes de ce frottement, est le phénomène *stick-slip*. Le *stick-slip* caractérise un mouvement saccadé, lorsque l'on tire sur un objet frottant par l'intermédiaire d'un ressort. Le mouvement de l'objet n'est en général pas uniforme mais saccadé : avec des périodes où l'objet résiste et ne bouge pas *stick* ; puis des périodes plus courtes où le seuil de résistance est dépassé et l'objet glisse sur une distance importante *slip* (Bocquet, 2005).

Dans notre campagne expérimentale, nous avons cherché à étudier cinématiquement l'influence des incréments de déplacements d'une paroi mobile devant représenter un écran de soutènement sur la réponse d'un matériau granulaire constitué de tige métallique (matériau analogique). Ainsi il serait possible de mettre en évidence le mouvement de *stick-slip* lors de la rupture par poussée du matériau en question (Daoud, 2007).

2. Le comportement en « stick-slip » dans les matériaux granulaires

Le comportement en *stick-slip* a été beaucoup étudié dans les matériaux granulaires durant la rupture en cisaillement (Albert *et al*, 2001). Pendant la phase d'adhérence « stick » les particules à l'interface sont étroitement imbriquées et ont une forte résistance au cisaillement. Le matériau entame ensuite une période de dilatance, et un glissement « slip » s'opère entre les grains. Les charges ne sont plus appliquées uniformément, et sont supportées par une chaîne de particules alignées linéairement. En rompant cette chaîne, les particules se trouvent redistribuées. Sous cette rupture et cette reformation de la chaîne de particules, une faible fluctuation dans le domaine des contraintes est observée (Roussel, 2005). Plusieurs études ont été faites sur ce sujet, il a été trouvé que la vitesse de déformation joue un rôle important dans l'ampleur du phénomène en question. Quand la vitesse de déformation est assez importante le phénomène du « stick-slip » n'a pas le temps de s'engendrer complètement (Roussel, 2005). Il a été démontré qu'en plus de l'influence de la vitesse de déformation, la taille de l'échantillon peut elle aussi influencer sur le phénomène du *stick-slip* (Adjemian et Evesque, 2004).

Phénomène « Stick-Slip » lors de la rupture par poussée sur matériau analogique

3. Présentation du modèle expérimental

Le modèle réduit a été conçu dans le but de reproduire les phénomènes de poussée et de butée, et ce grâce à un mécanisme adéquat permettant de faire mouvoir manuellement une paroi du dispositif.

Afin d'éviter quelconque problème pouvant survenir des effets d'échelle ou avoir à réaliser un trop grand modèle, les dimensions du dispositif (800x500x100) mm semble être adéquate pour nos essais vu que le diamètre des tiges représentant le matériau granulaire est de l'ordre de 4mm ce qui reste sans incidence vis-à-vis des dimensions du dispositif. Ainsi, un déplacement de la paroi (500 mm de haut avec un milieu d'environ 300 mm) de quelques millimètres est relativement faible par rapport à la longueur du milieu de 550 mm (dispositif de 800 mm), ceci justifie un milieu semi-infini. En effet, les lignes de glissement lorsqu'elles se propagent ne sont pas bloquées par l'autre paroi latérale fixe. L'épaisseur de 100 mm est suffisante pour permettre le remplissage dans les meilleures conditions de stabilité afin d'éviter d'éventuels déversements des pailles de 70 mm de longueur. Les Figures 1 et 2a, illustrent le dispositif expérimental de poussée butée.

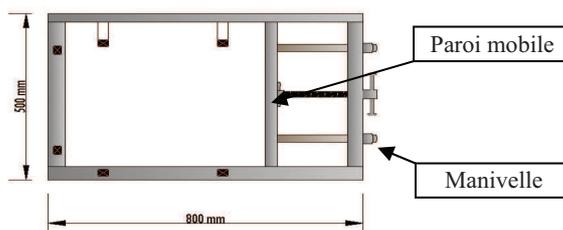


Figure 1. Schéma du dispositif de poussée et butée utilisé.

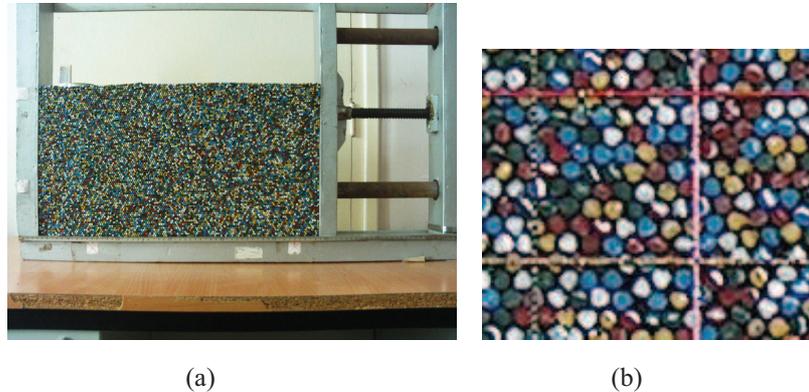


Figure 2. (a) *Photo du dispositif utilisé.* (b) *Vue sur le matériau constituant le matériau analogique.*

Schneebeli a montré que l'étude des problèmes en mécanique des matériaux granulaires peut être ramenée à deux dimensions et ce en remplaçant le sol en question par un empilement de rouleaux cylindriques en Acier par exemple. Dans notre cas les rouleaux utilisés sont en acier et ont un diamètre de 4mm avec une longueur de 70mm d'un nombre de 12000 à 12500 pièces (Figure 2b). Vu qu'un unique diamètre est utilisé, le matériau est dit monodisperse. Un poids volumique de l'acier de l'ordre de 75 KN/m^3 confère au matériau une nature pesante. La procédure de mise en place des tiges a été respectée pour être toujours dans la configuration de contact triangulaire, celle-ci est supposée mettre le milieu dans un état dense. Ces tiges supposées indéformables simulent des grains incompressibles, ainsi la déformation appliquée ne touche que l'empilement des grains. Afin d'obtenir un grain visuel pour le traitement des photos ultérieurement, les tiges ont été teintées en leur extrémité par 05 couleurs différentes. Après chaque essai le matériau ayant subi des déformations, nous nous sommes efforcés de l'enlever et de le replacer. Cela va éviter de favoriser une quelconque hétérogénéité du milieu et donc une quelconque localisation de la déformation.

4. Mesure des champs de déplacements et de déformations (Traitement par corrélation d'image - logiciel 7D) et procédure expérimentale

Phénomène « Stick-Slip » lors de la rupture par poussée sur matériau analogique

L'analyse des déformations du milieu sera faite par corrélation d'image grâce au logiciel "SevenDi" ou "7D" (Analyse de déplacement et de déformation en 2 et 3 dimensions). 7D est un logiciel d'analyse d'images numériques permettant de mesurer des déplacements et calculer des déformations sur des surfaces planes par la méthode de corrélation d'images (Vacher *et al.*, 1999). Le simple enregistrement de deux images numériques d'un même objet dont la surface présente un motif contrasté est suffisant pour déterminer des champs de déplacements en pixels entre les images, la comparaison est obtenue par comparaison des niveaux de gris. Ces informations en termes de déplacements sont analysées par le logiciel, soit pour définir des champs de déformations, soit pour réaliser des numérisations 3D.

La rupture du milieu par poussée sera faite par l'intermédiaire de la paroi verticale mobile. La procédure consiste à faire mouvoir la paroi grâce à une manivelle avec un taux de déplacement de $\frac{1}{4}$ de tour de la manivelle (ce qui correspond à 1.5mm ou 4 pixels), la paroi se déplacera à vitesse constante puis s'arrêtera, une prise de photos sera effectuée pour ensuite reprendre le mouvement de la paroi. Nous avons appelé ce mode de déplacement mode discontinu (figure 3).

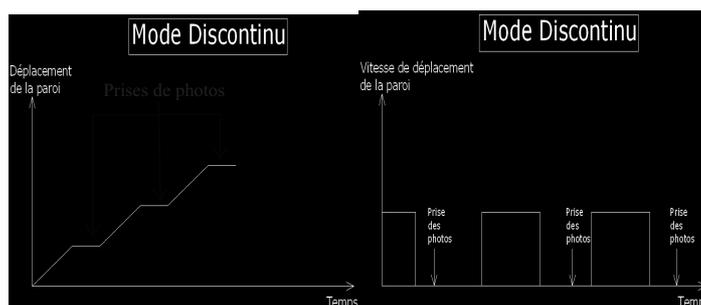


Figure 3. Déplacement et Vitesse de déplacement de la paroi mobile du modèle réduit et moment des prises des photos au cours des essais en mode discontinu.

5. Analyses et interprétations des essais

5.1. Formation du coin rigide

Nous remarquons en observant les résultats en analyse globale (c.à.d. en comparant les résultats de chaque état déformé par rapport à l'état initial) qu'aux premiers incréments de déplacements un coin de glissement commence à se former. Ceci démontre la rupture par formation d'un coin rigide propre aux matériaux granulaires lors du phénomène de poussée. Un glissement s'opérera entre ce coin et le reste du matériau.

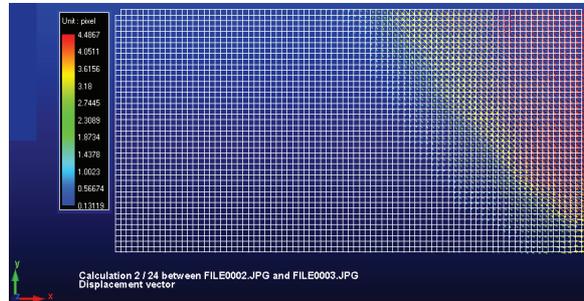
5.2. Fluctuation dans le glissement du coin rigide (mouvement en stick-slip)

En étudiant les champs des vecteurs déplacements en analyse incrémentale (c.à.d. en comparant les résultats de chaque état déformé par rapport à l'état précédent), il apparait que le glissement du coin rigide subit des fluctuations bien que l'incrément de déplacement de la paroi est identique pour chaque étape. Ceci est mis en évidence par des étapes où les valeurs des vecteurs déplacement sont de l'ordre de 1.4378 à 4.1257 pixels (Figures 4a, 4b et 4c) durant les deux ou trois premiers incréments de déplacement de la paroi (ceci équivaut à 2×4 ou 3×4 pixels), cette étape correspond à la phase *stick* où le coin glissant du matériau colle en quelque sorte au reste du matériau. Le mouvement du bloc est plus accentué durant les phases suivantes, au-delà d'un incrément de déplacement de la paroi de 3×4 pixels, les vecteurs de déplacement démontrent un mouvement important et soudain du bloc avec des valeurs atteignant les 8.2975 pixels (Figure 4c), ceci correspond à la phase *slip*. Le bloc reprend ensuite un mouvement moins accentué, et l'intervalle des valeurs des vecteurs déplacements se rapprochent de celles de la première phase de mouvement en *stick* (Figures 5a, 5b et 5c). Et ce n'est qu'au huitième incrément de déplacement de la paroi (8×4 pixels) que le bloc subit à nouveau un glissement important, avec des vecteurs déplacements atteignant des valeurs jusqu'à 17.827 pixels (Figure 5d).

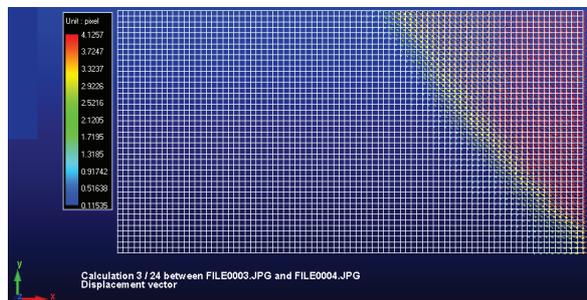


(a) Premier incrément de déplacement de la paroi mobile

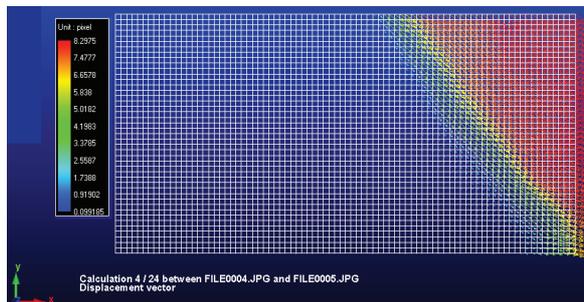
Phénomène « Stick-Slip » lors de la rupture par poussée sur matériau analogique



(b) Deuxième incrément de déplacement

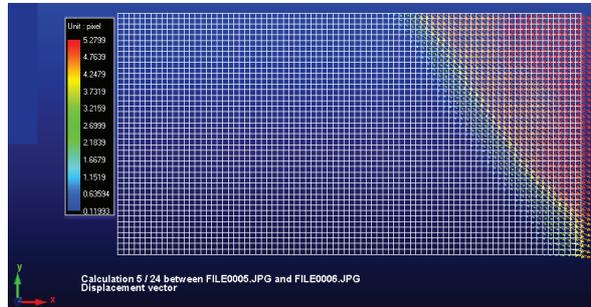


(c) Troisième incrément de déplacement

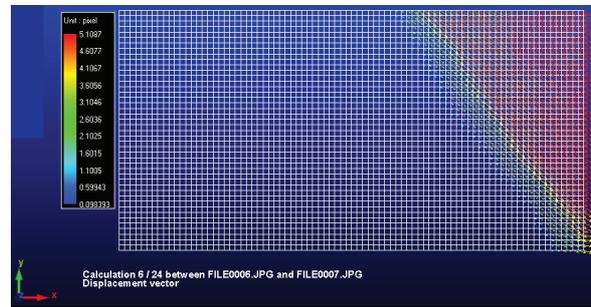


(d) quatrième incrément de déplacement

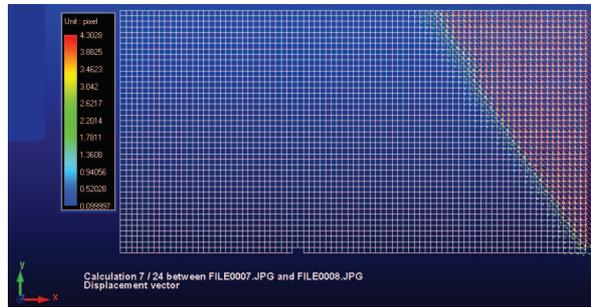
Figure 4. Vecteurs déplacements



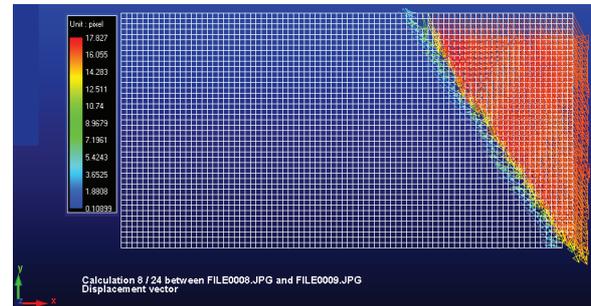
(a) Cinquième incrément de déplacement de la paroi mobile



(b) Sixième incrément de déplacement



(c) Septième incrément de déplacement

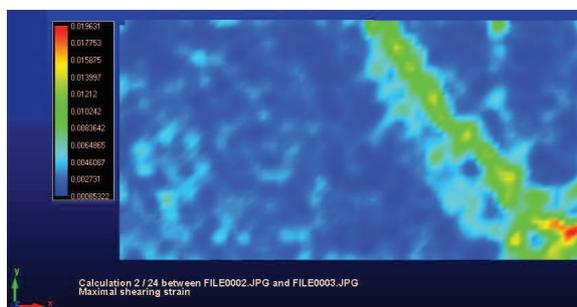


Phénomène « Stick-Slip » lors de la rupture par poussée sur matériau analogique

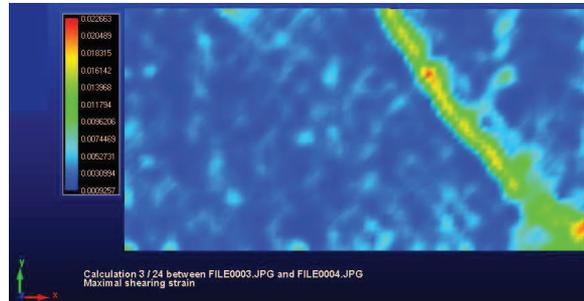
(d) Huitième incrément de déplacement

Figure 5. Vecteurs déplacements

En effet, et comme il a été définis précédemment, le phénomène *stick-slip* correspond au passage d'une phase où les particules du milieu sont étroitement imbriquées et ont une forte résistance au cisaillement, et une période de dilatance, où un glissement s'opère entre les grains. Un autre point, pouvant appuyer notre explication, est le fait que notre milieu est pesant ; le coin ainsi formé au cours du déplacement du mur, présente une importante masse qui après un glissement intergranulaire se déplace brusquement et avec une forte ampleur due au poids du bloc. Ce résultat peut être aussi affirmé par le champ de cisaillement max mesuré sur le milieu, où l'on peut observer des valeurs maximales de 0.022623 (Figure 6a et 6b) dans la première phase correspondant au mouvement de type *stick* et ce jusqu'au 3^{ème} incrément de déplacement de la paroi mobile. La phase correspondant à un fort glissement du bloc rigide est mise en évidence par une bande de cisaillement dont les valeurs sont dans l'intervalle de 0,017472 et 0,042301 (Figure 7).



(a) Deuxième incrément de déplacement de la paroi mobile



(b) Troisième incrément de déplacement

Figure 6. Cisaillement max

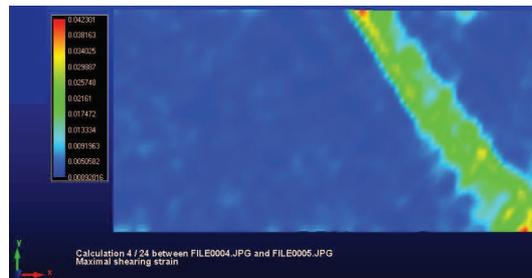


Figure 7. Cisaillement max au quatrième incrément de déplacement de la paroi.

6. Conclusion

Le dispositif élaboré ainsi que le matériau analogique utilisé ont permis de reproduire le mécanisme de rupture par poussée d'un matériau granulaire. La fluctuation dans le mouvement du coin rigide glissant lors de la rupture démontre la propriété du matériau granulaire à adopter un mouvement en *stick-slip* lors de la rupture par cisaillement et ce bien que les incréments de déplacements de la paroi soient égaux. Il serait intéressant pour de futures investigations de voir l'influence du taux de cet incrément sur la réponse du matériau. Le mode de déplacement dans notre cas étant de nature discontinu, il serait aussi intéressant de voir comment sera le comportement du matériau si le déplacement de la paroi était continu.

7. Bibliographie

- Adjemian F., Evesque P., « Experimental study of stick-slip behavior », *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 2004, Vol 28, p 501-530.
- Albert I., Tegzes P., Albert R., Sample J.G., Barabási A.-L., Vicsek T., Kahng B., Schiffer P., « Stick-slip fluctuations in granular drag », *Physical Review E volume 64*, 2007
- Bocquet L., « Approche physique du frottement », *Texte de la 597ème Conférence de l'Université de tous les savoirs*, Juillet 2005.
- Daoud S.M., Etude cinématique des modes de rupture lors de la poussée dans les milieux granulaires sur modèle réduit, Mémoire de magister, Université Djillali Liabes de SIDI BEL ABBES, 2007.
- Roussel L. E., Experimental investigation of Stick-Slip behavior in granular materials, Thesis for the degree of Master of Science in Civil Engineering, Louisiana State University, 2005.
- Vacher P., Dumoulin S., Morestin F., Mguil-Touchal S., « Bidimensional strain measurement using digital images », *Poc. Instn. Mech. Engrs*, vol. 213, Part C IMChE, 1999, p. 811-817.