
Etude numérique sous logiciel Plaxis des Bandes de cisaillement de matériaux granulaires.

Boubrit¹, Melbouci² et Haddadi³

¹ Boubrit1 (LGEA, Laboratoire géo matériaux environnement et aménagement, Faculté génie de la construction, département génie civil. Université Mouloud Mammeri Tizi ousou Algérie. boubrit_h@yahoo.fr)

² Melbouci2 (LGEA, Laboratoire géo matériaux environnement et aménagement, Faculté génie de la construction, département génie civil. Université Mouloud Mammeri Tizi ousou Algérie.)

³ Haddadi3 (LGEA, Laboratoire géo matériaux environnement et aménagement, Faculté génie de la construction, département génie civil. Université Mouloud Mammeri Tizi ousou Algérie.)

...

RESUME Cette étude présente une application numérique sur la localisation des déformations qui est un phénomène qui se manifeste sous des sollicitations mécaniques avant la rupture surtout des géo matériaux sous forme de bandes appelées communément bande de cisaillement. Les différentes façons de détections des déformations localisées ainsi que les théories utilisées pour expliquer le passage des déformations homogènes aux déformations hétérogènes qui est parfaitement illustré dans la théorie de bifurcation et ainsi calculer les caractéristiques (orientations et épaisseurs) des bandes de cisaillement. Nous avons simulé numériquement l'essai de cisaillement direct à la boîte sous le logiciel Plaxis 8.2 pour définir les paramètres de la bande de cisaillement à savoir sa largeur ainsi que l'angle de son orientation et étudier ces dernières en utilisant les couleurs des contraintes à la rupture qui décrivent le comportement du matériau vu le concept de rupture à une certaine contrainte. Cette étude concerne deux matériaux le Granit et le Calcaire sous les distributions granulométriques 0/6, 6/10 et 10/14.

ABSTRACT This study presents a numerical application on the localization of the deformations which is a phenomenon that manifests under mechanical stresses before rupture, especially geo materials in the form of bands commonly called shear band. The different ways of detection of localized deformations and the theories used to explain the passage of homogeneous deformations to heterogeneous deformations, which is perfectly illustrated in the bifurcation theory and so calculating the characteristics (orientations and thicknesses) of the shear bands. We simulated the direct shear box test under Plaxis 8.2 software to define the parameters of the shear band namely its width and the angle of its direction and study these by using the colors of the stresses at the Rupture which describe the behavior of the material in view of the concept of rupture at a certain constraint.

MOTS-CLÉS : bandes de cisaillement, contrainte, cisaillement direct, angle d'orientation, largeur.

KEY WORDS: shear band, constraint, Direct shear, Angle of orientation, width.

1. Introduction

La déformation localisée touche divers matériaux bien que les matériaux friables n'en font pas partie. Autrement dit, les bandes de cisaillement se développent pratiquement dans tous les matériaux ductiles (alliages, métaux, matériaux granulaires et les sols) et même dans les matériaux tels que le béton et la roche ce qui fait que ce phénomène touche la totalité des géo matériaux naturels qui sont l'essence même de la géotechnique.

Le changement de déformation se déclare avant la rupture qui est produite par un processus de déformation homogène au début de la sollicitation mécanique et arrivée à un certain seuil, la localisation de la déformation se déclare et forme ce qui est appelé une bande de cisaillement où se concentre l'essentiel des contraintes tandis que le reste du matériau est peu déformé.

La simulation numérique est un moyen intéressant à exploiter pour l'étude des bandes de cisaillement. Par rapport à l'expérimental, le numérique nécessite moins de moyens pour obtenir des résultats de déformations donc la bande de cisaillement peut être étudiée dans son ensemble et par ailleurs, les résultats sont donnés presque instantanément. Pour ce qui est des calculs de la déformation localisée, la largeur et l'orientation de la bande de cisaillement sont facilement calculées sous le numérique.

Pour étudier la largeur et l'orientation des bandes de cisaillement, nous avons pris l'initiative de simuler un essai de cisaillement direct sur des matériaux granulaires (Granit et Calcaire), de classe 0/6, 6/10 et 10/14 sous des contraintes allant de 100 à 500 kPa, en utilisant l'approche continue. Pour ce faire, nous avons utilisé le logiciel Plaxis 8.2 qui est basé sur la méthode des éléments finis. Puis, nous avons utilisé les courbes numériques (contrainte tangentielle, déplacements horizontale) ensuite les couleurs des diagrammes des contraintes, obtenues numériquement, pour déterminer l'angle d'orientation et la largeur de la bande de cisaillement.

1. Présentation du modèle

Le modèle est la réplique d'une boîte de cisaillement qui sera modélisé par un modèle géométrique plan (2D) avec des mesures de largeur et de profondeur qui dépendent de la classe du matériau.

Conditions aux limites pour la demi-boîte supérieure, nous lui permettons uniquement les déplacements verticaux (Horizontal Fixity). Pour ce qui est de la demi-boîte inférieure aucun déplacement ne lui sera bloqué sauf pour la plaque inférieure, nous bloquons les déplacements verticaux pour éviter d'avoir une déformation de l'acier (Vertical Fixity). Nous avons créé ce qui est appelé INTERFACE entre les deux demi-boîtes pour que le glissement de la demi-boîte inférieure soit possible. une charge uniformément répartie nommée « A » est appliquée sur la face supérieure de la boîte et pour finir, nous avons créé un déplacement (Prescribed Displacements) d'une même distance dans chaque phase pour chaque côté de la demi-boîte inférieure, figure (1).

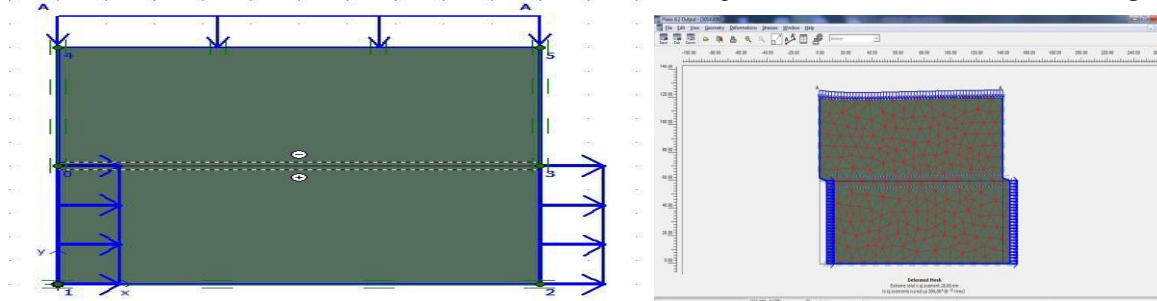


Figure. 1 Modèle géométrique de la boîte de cisaillement sous PLAXIS 8.2

2. Calcul des angles et largeurs des bandes de cisaillement

Pour commencer, nous devons limiter la largeur de la bande de cisaillement sur le diagramme donné par Output du logiciel, sur la courbe réalisée avec [Curves program], on mesure la valeur de la contrainte de cisaillement correspondant à la rupture ($\text{Sig}_{xx} = 5,52 \cdot 10^{-4} \text{ [kN/mm}^2\text{]}$) comme s'est représenté dans les Figures (2 et 3) et avec la contrainte de rupture, nous déterminons la couleur dans l'échelle du diagramme qui va limiter la bande de cisaillement. Puis, il suffirait de prendre le début et la fin de cette couleur sur le diagramme des contraintes, pour tracer la bande de cisaillement en sachant que les deux lignes qui vont limiter cette bande seront parallèles, les Figures (2 et 3) montrent la largeur et l'angle de la bande de cisaillement sur le diagramme.

- Exemple

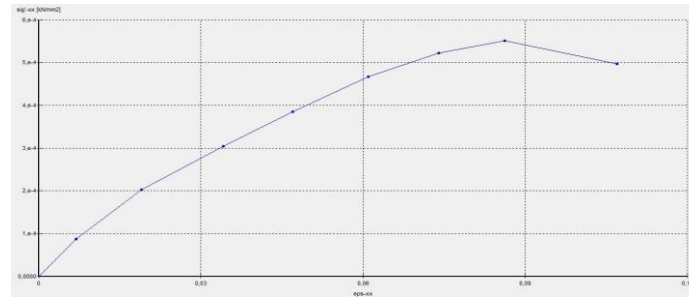


Figure.2 Courbe contrainte-déformation du granit de classe 6/10 sous une contrainte normal de 300kPa ($3 \cdot 10^{-4}$ [kN/mm²]).

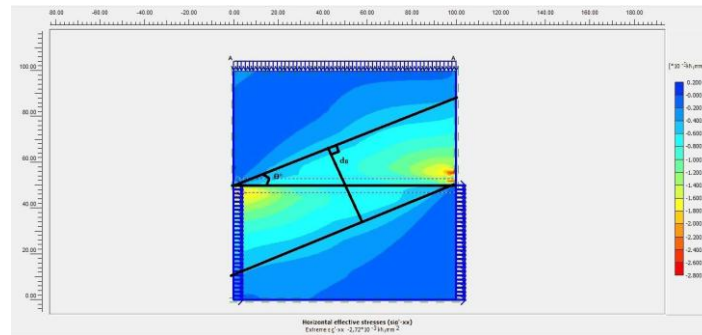


Figure. 3 Résultat des contraintes de cisaillement du granit de classe 6/10 sous une contrainte normal de 300kPa ($3 \cdot 10^{-4}$ [kN/mm²]).

4. Interprétation des résultats

L'analyse des résultats exprimé par nos simulations sous le logiciel Plaxis ont montré que plusieurs facteurs peuvent jouer sur la largeur et l'angle de la bande de cisaillement, ce qui semble être compatible avec les résultats expérimental données par d'autres auteurs qui ont étudié ce phénomène tel que (El Bied 2004) ; (Derus 1984). Dans nos simulations, les bandes de cisaillements ont été étudiées en fonction des contraintes. Et nous avons constaté que la contrainte horizontale augmente avec l'augmentation de la contrainte verticale., et cela dans l'expérimental ou même dans le milieu discret engendre un enchevêtrement et un frottement de plus en plus prépondérant entre les grains (Meddah 2014), ce qui empêche leurs déplacements horizontal les uns par rapport aux autres et sont ainsi, plus susceptibles à se casser qu'à se déplacer (Melbouci ; Yezli 2012). Ce qui avantage l'évolution et la coalescence des contraintes pour finalement former une bande (Sous PLAXIS). La largeur de la bande diminue lorsque la valeur de la contrainte verticale augmente et cela nous montre que la localisation de la déformation s'accroît. Aussi, nous remarquons que la valeur de la largeur de la bande de cisaillement s'amplifie de plus que la dimension des grains du matériau augmente ce qui peut être expliqué par la différence des diamètres des grains présent dans les différentes classes ce qui est lié aux résultats de (El-Bied, 2004) qui observe une intense fissuration dans les matériaux granulaire qui se déploient sur 3 à 4 grains pour former une bande de cisaillement. Et quant au fait de varier les matériaux de la même classe granulométrique (6/10), nous remarquons que les paramètres de la bande de cisaillement diffèrent même dans des conditions de simulations quasi-identiques mais la nature du matériau fait que les résultats sont différents.

Sur la figure 5 (a), est représenté la variation de la largeur de la bande de cisaillement en fonction du logarithme décimale de la contrainte normale, cette relation nous rappelle, la relation de l'indice des vides avec la contrainte normale en logarithme décimale obtenue après un essai oedométrique. Les courbes représentées sur cette figure confirme les résultats cités ci-dessus.

Sur la figure 5 (b) est représentée la variation de l'angle d'orientation de la bande de cisaillement avec la contrainte normale. On peut constater sur cette figure que la valeur de l'angle diminue lorsque la contrainte augmente, mais lorsque la granulométrie change les valeurs de l'angle ne changent presque pas et les courbes des trois classes granulaires sont presque confondues, mais les valeurs du calcaire 6/10 sont plus importante que celle du granit 6/10, ce qui indique que l'angle d'orientation de la bande de cisaillement a surtout une relation avec la nature du matériau granulaire, lorsque les grains du matériau calcaire s'écrasent plus que les grains du matériau granit, les valeurs de l'angle sont plus importante pour le calcaire.

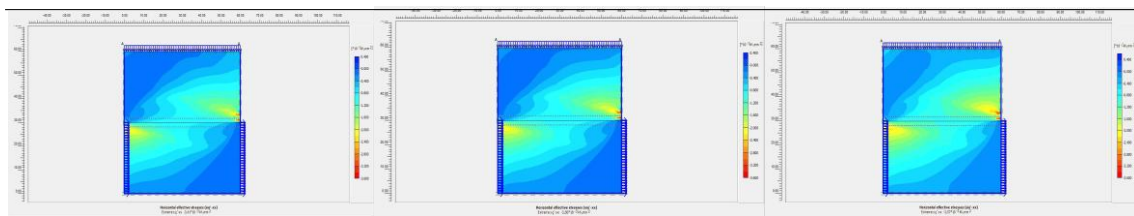


Figure.4 Diagramme cisaillement Granit classe 0/6 sous les contraintes 300, 400 et 500 kPa.

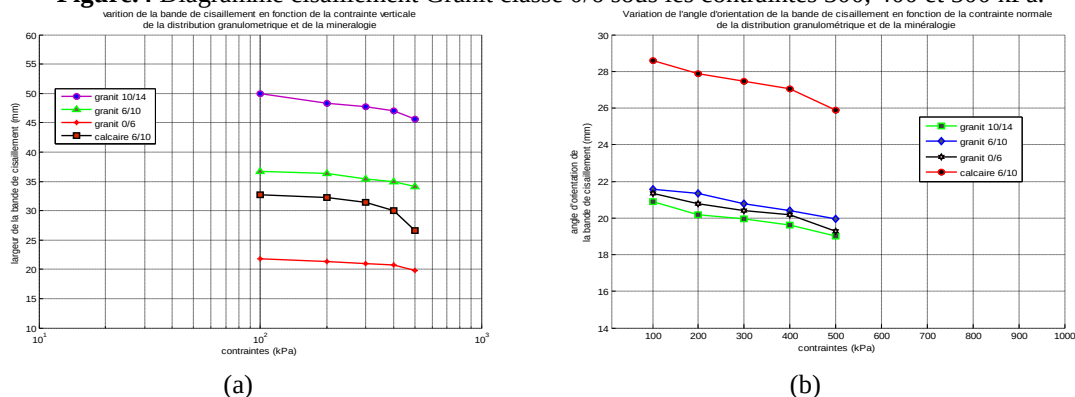


Figure. 5. Variation de la largeur (a) ainsi que l'angle d'orientation (b) de la bande de cisaillement en fonction des variations de la contrainte normale, de la classe granulométrique et de la nature des matériaux.

CONCLUSION

Les différents essais de simulations, ont indiqué que la largeur de la déformation localisée serait directement liée au matériau utilisé et sa granulométrie. Avec les couleurs des contraintes que génère Plaxis, nous avons constaté que les paramètres de la bande de cisaillement changeraient en fonction de la contrainte verticale et des conditions de la simulation qui lui seraient appliquées. Par ailleurs, les courbes (Contraintes Tangentielles – Déformations Horizontales) obtenues avec la simulation comparée à celles de l'expérimental nous permettent de dire que l'approche continue pourrait être utilisée pour étudier les déformations localisées mais vu le nombre de facteurs qui pourraient changer les résultats d'une simulation sous Plaxis 8.2 pour étudier les angles et les largeurs des déformations localisées, cela laisserait penser que les calculs de l'orientation et de l'épaisseur de la bande de cisaillement proposés ainsi que les différentes méthodes de calculs utilisés sous Plaxis 8.2 seraient des manœuvres toujours discutables en dépit de cela, le perfectionnement de ces méthodes serait toujours envisageable.

Et enfin, dans le cadre de nos essais de simulations avec Plaxis et des calculs effectués, les résultats obtenus pourraient être améliorés en suivant ces quelques remarques:

- L'utilisation d'une version plus récente du logiciel pourrait faciliter les calculs et donnerait des résultats plus précis.
- L'utilisation d'un modèle plus avancé sous Plaxis 8.2 au lieu de celui utilisé (Mohr-coulomb) pourrait améliorer les résultats.
- Le développement d'une méthode plus précise pour le calcul de l'épaisseur et l'orientation de la bande de cisaillement seraient nécessaires pour un résultat plus fiable.
- L'exploitation de la 3ème dimension.

1. Bibliographie

[ELB 05] El bied A., Thèse de doctorat : *etude expérimentale et modélisation du comportement des roches granulaires : écrouissage, radoucissement et rupture en mode localisée*, Ecole National des Ponts et Chaussées, France, 2005.

[DES 84] Desrues J., Thèse de Doctorat : *La localisation de la déformation dans les matériaux granulaires* – Institut National Polytechnique de Grenoble, France, 1984.

[MEL 12] Melbouci B., yezli S., *Influence de la dimension fractale sur les caractéristiques mécaniques des matériaux granulaires*, Université de Tizi-Ouzou, Algérie, 2012.

Meddah L., Mémoire de Master: *Influence de la granulométrie sur l'angle de frottement interne étudié par PFC2*, Université de Tizi-Ouzou, Algérie.