
Etude expérimentale de la fissuration par dessiccation dans une kaolinite

Xin Wei¹, Thi Hong Ngoc Luong¹, Mahdia Hattab², Jean-Marie Fleureau¹

¹Laboratoire de Mécanique des Sols Structures et Matériaux, Ecole Centrale Paris-CNRS UMR 8579 –

²Laboratoire d'Etude des Microstructures et de Mécanique des Matériaux, Université Paul Verlaine – CNRS UMR 7239

xin.wei@ecp.fr

RÉSUMÉ. L'objectif de cette étude est de tenter de comprendre comment, dans un matériau argileux (kaolin P300) qui, à l'état initial, se trouve sous forme d'une pâte saturée, la microfissuration apparaît et comment elle se développe au cours d'un séchage libre. L'approche que nous proposons est expérimentale et consiste à suivre le réseau fissuré à partir de différents paramètres évolutifs tels que: la teneur en eau, la surface totale de fissures, la largeur moyenne de toutes les fissures, le nombre de segments et le taux de fissures.

ABSTRACT. The objective of this research is to understand how micro-cracks appear in clay material (kaolin P300) which was prepared as a saturated slurry. The evolution processes of the micro-cracks related to desiccation is also analyzed. This research combines an experimental approach with the analysis of different parameters of the micro-cracks. For example, the water content, the total area of the cracks, the average width of all the cracks, the number of the segments and the ratio of the cracks.

MOT-CLÉS : kaolinite, fissuration, desiccation

KEY WORDS: kaolin, cracks, desiccation

1. Introduction

Le phénomène de fissuration dans les sols constitue un des plus importants problèmes géo-environnemental. Celle ci affecte par exemple la perméabilité et peut compromettre l'intégrité des structures. De nombreux chercheurs se sont penchés sur ce problème et ont cherché à comprendre les mécanismes, notamment d'amorçage et de développement des fissures. Du point de vue de l'investigation expérimentale, [Kodikara et al. \(2000\)](#) montrent que la fissuration de l'argile soumise à une dessiccation est due à une contrainte de tension qui se développe dans le matériau, [Péron et al. \(2009a\)](#) ont réalisé des essais au laboratoire sur des sols soumis au séchage pour observer le phénomène. Les résultats montrent que la fissuration commence à un moment proche du début de la désaturation. Les auteurs ont défini un scénario du processus d'initiation de la fissuration à travers des variables macroscopiques. Ceci leur a permis de proposer un critère macroscopique d'amorçage de fissures. [Corte et Higashi 1960](#) montrent que les macros-fissures dues à la dessiccation sont susceptibles de se produire si les contraintes de traction générées dans le sol dépassent sa résistance à la traction. Ces contraintes peuvent être influencées par différents paramètres ([Hueckel 1992 ; Peron et al. 2009b](#)) dont le frottement les conditions aux limites du déplacement, les concentrations de contrainte au sein de l'échantillon de sol et des facteurs intrinsèques liés à la texture du sol.

Dans ce travail, nous présentons les premiers résultats d'une étude expérimentale qui a comme objectif de caractériser l'amorçage des fissures dans une argile de synthèse, ainsi que leur variation morphologique au cours d'un séchage libre. A son état initial, l'argile est une boue saturée. Différents paramètres seront suivis dont la longueur, la largeur, la teneur en eau etc.

2. Propriétés des matériaux utilisés et fabrication de l'échantillon

Le matériau est un kaolin nommé kaolin P300, qui est commercialisé par Dousselin (Rhône, France). [Hammad \(2010\)](#) a montré par des mesures de granulométrie laser que 100% du matériau était inférieur à 80 μ m et 59% à 2 μ m. La caractérisation minéralogique du matériau par diffraction de rayons X sur la poudre montre une présence dominante de kaolinite, et quelque traces de quartz et de feldspath. La caractérisation géotechnique montre que les limites de plasticité et de liquidité sont respectivement de 20 et 40%. La densité des grains solides est égale à 2,65.

A son état initial l'argile est saturée, structurellement isotrope, et a une teneur en eau $w=30\%$. Elle est étalée sur une surface circulaire en porcelaine de diamètre $d=23\text{mm}$ d'épaisseur $e=2\text{mm}$, et laissée au repos 24h sans variation de la teneur en eau ([Fig. 1](#)).



Figure 1. *Échantillon et plan de contact porcelaine/argile*

Le matériau est ensuite séché à l'air libre à température constante $T=20^{\circ}\text{C}$. L'essai consiste à suivre la variation des paramètres suivants caractérisant le développement de la fissuration :

Les paramètres morphologiques : n nombre de segments, α nombre d'intersections, L longueur, l largeur, a aire (surface) de la fissure, et θ taux de fissures défini comme le rapport entre la surface totale des fissures et la surface totale de l'échantillon.

Les paramètres physiques : la teneur en eau w (ou l'indice des vides)

3. Procédure et dispositif expérimental

Le dispositif expérimental représenté sur la [Fig. 2](#) est constitué d'un appareil photo numérique haute résolution qui permet de réaliser des successions de photos lors du processus de fissuration et d'une balance pour la mesure de la teneur en eau globale, sur laquelle est posé l'échantillon. Le système permet l'automatisation des essais (prise de photos et acquisition du poids).

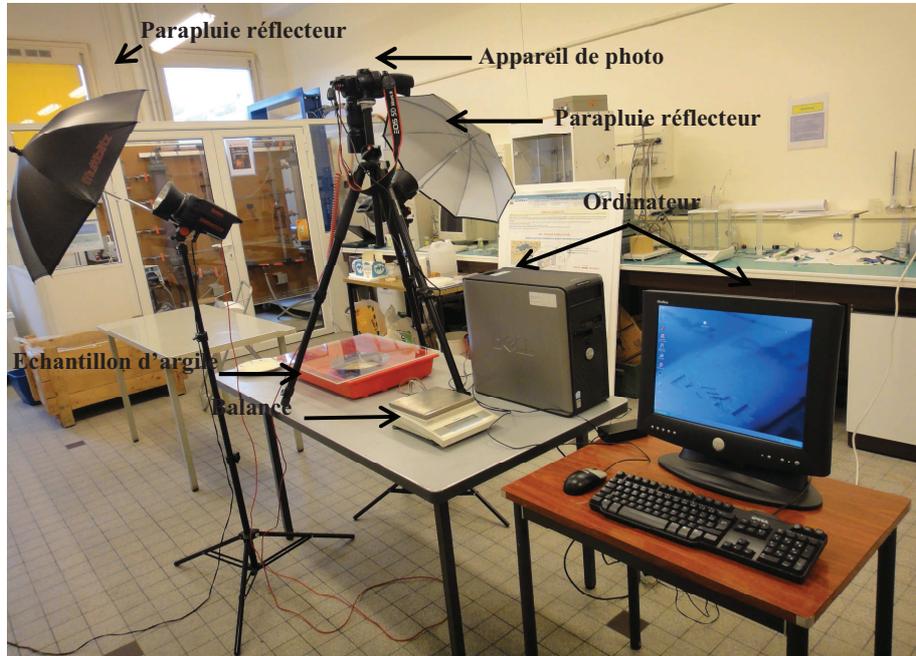
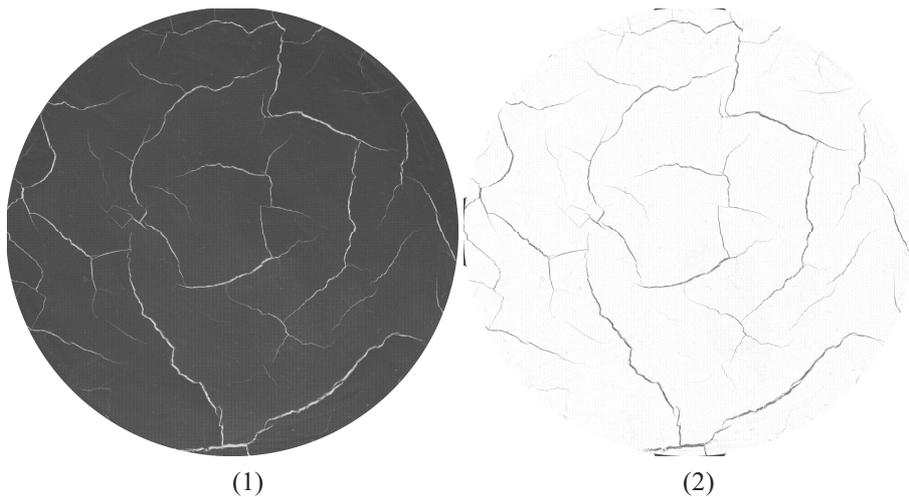
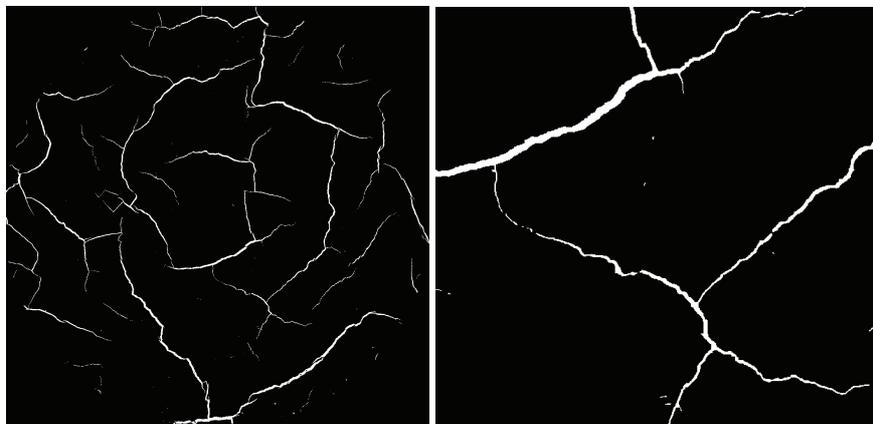


Figure 2. *Dispositif expérimental*

Un logiciel (Image J) permet de réaliser le traitement d'images sur chaque photo d'un essai (voir par exemple Fig. 3). Il permet en particulier la différenciation des fissures par un code de couleur, ce qui rend possible la détermination des paramètres morphologiques.

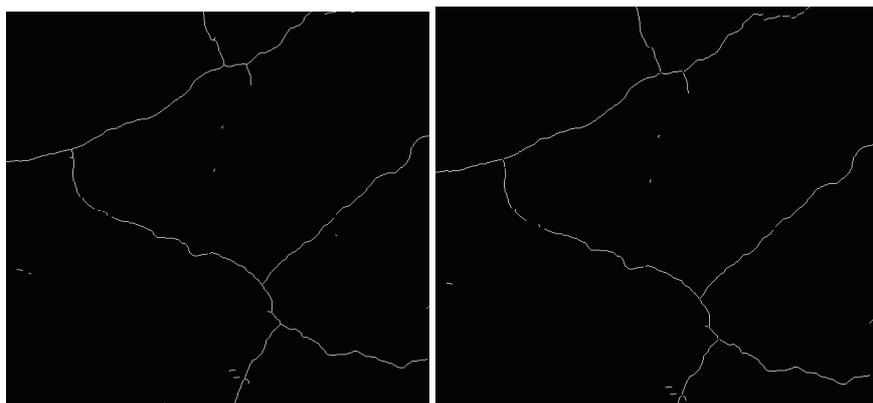


Etude expérimental de la fissuration par dessiccation par une kaolinite



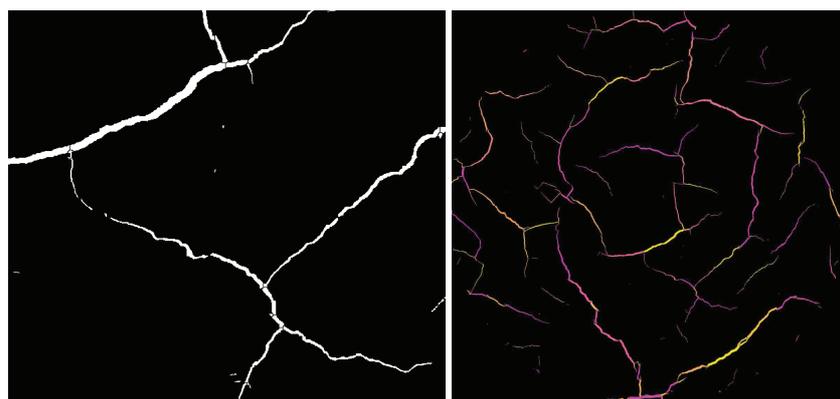
(3)

(4)



(5)

(6)



(7)

(8)

Figure 3. Analyse par traitement d'image (Luong, 2010)

4. Résultats expérimentaux

A un temps t donné en cours d'essai, la procédure d'essai nous permet de caractériser les paramètres évolutifs suivants du réseau fissuré (exemple représenté en Fig. 4): w , n , α , L , l , a , et θ .

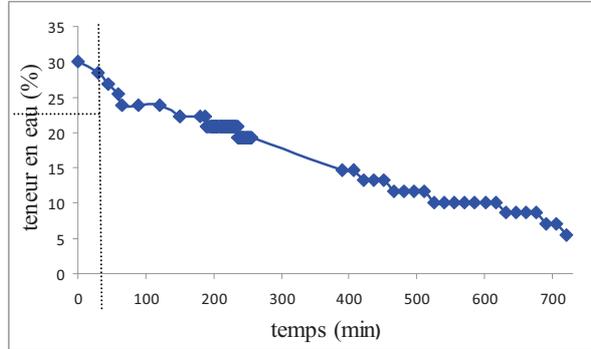


Figure 4. Réseau fissuré du kaolin P300 à $t= 8h$

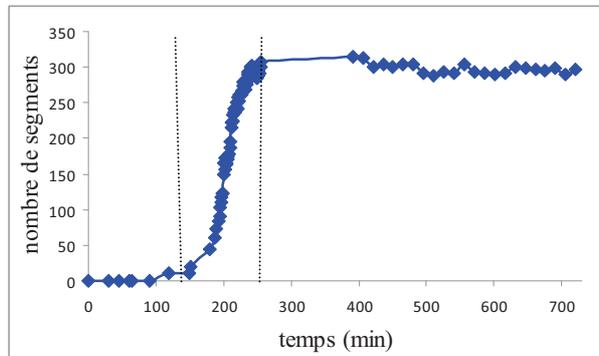
Tous les résultats d'essais sont présentés sur la Fig. 5. Ils montrent une diminution de la teneur en eau, rapide au début de l'essai puis qui tend progressivement vers un équilibre (Fig. 5a). La Fig. 5b montre l'amorce des premières fissures vers $t = 120\text{min}$, ces fissures sont d'abord isolées puisque l'intersection n'est enregistrée qu'à $t = 200\text{min}$ (Fig. 5c). La longueur des fissures (Fig. 5d) est alors assez importante pour que les fissures puissent se croiser. Les 150 premières minutes ne montrent pas d'évolution de la longueur totale des fissures, il apparaît ensuite une augmentation très rapide de L . A $t = 250\text{ min}$, on obtient un palier de longueur totale $L = 1140\text{ mm}$ qui montre qu'il n'y a plus de création de fissures. La Fig. 5e représente l'évolution en fonction du temps de la largeur moyenne de toutes les fissures. Nous pouvons alors observer comme sur la Fig. 5b les premiers signes de l'amorce des premières fissures isolées vers $t = 120\text{ min}$. La largeur moyenne l va ensuite globalement augmenter jusqu'à une stabilisation vers $t = 250\text{ min}$ où le réseau fissuré n'évolue plus. Sur la Fig. 5f, la surface totale des fissures en fonction du temps est calculée à partir des paramètres L et l mesurés précédemment.

En calculant le taux de fissures nous pouvons suivre en fonction du temps la création puis l'évolution du réseau fissuré (Fig. 5g), d'autre part en le reliant à la teneur en eau (Fig. 5h) on retrouve la limite de retrait du Kaolin (d'environ $w_s=23\%$).

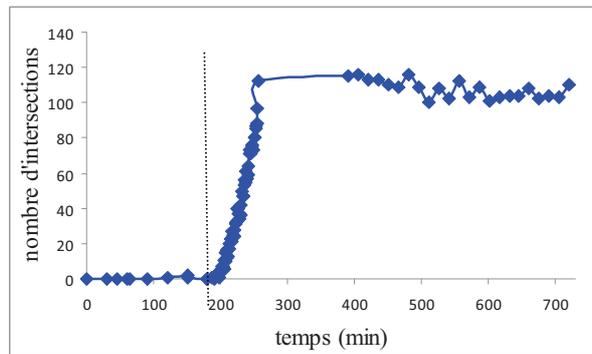
Etude expérimental de la fissuration par dessiccation par une kaolinite



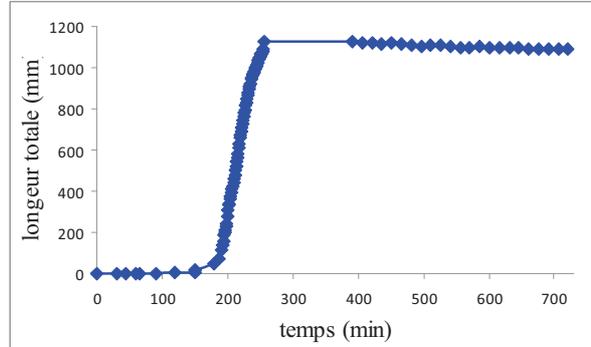
(a) variation de la teneur en eau



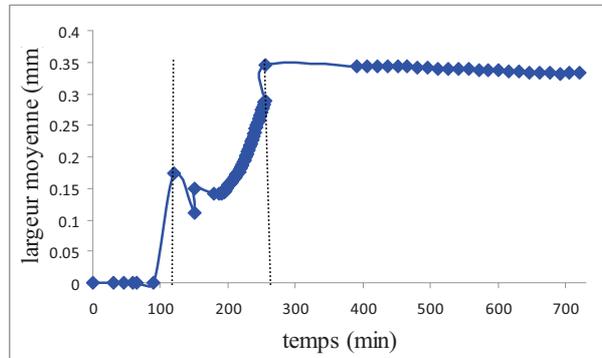
(b) nombre de segments en fonction de temps.



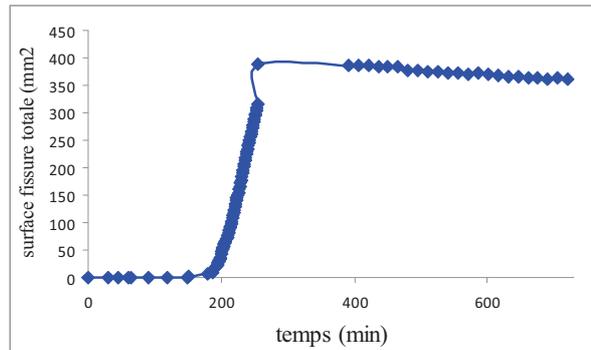
(c) nombre d'intersection en fonction de temps



(d) variation de la longueur totale de fissures

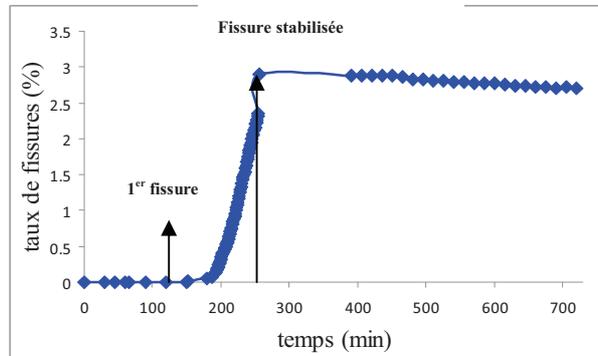


(e) variation de la largeur moyenne de toutes fissures

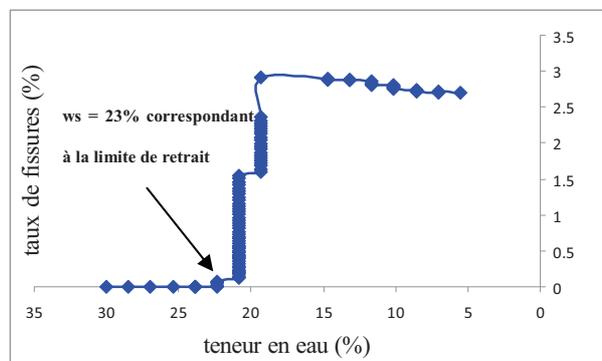


(f) variation de la surface totale de fissures

Etude expérimental de la fissuration par dessiccation par une kaolinite



(g) *taux de fissures en fonction de temps.*



(h) *taux de fissures en fonction de teneur en eau*

Figure 5. Caractérisation du réseau fissuré - *Essai 30A.*

5. Conclusions

Dans cette étude, une analyse de la fissuration par dessiccation a été menée sur le kaolin P300. La méthode d'investigation menée sur une succession de photos numériques intégrant un traitement d'images, a permis de suivre précisément l'amorce puis le développement du réseau fissuré. Celui-ci est caractérisé à partir de différents paramètres évolutifs complémentaires : la teneur en eau, la surface totale des fissures, la longueur totale des fissures, la largeur moyenne de toutes les fissures, le nombre de segments, le nombre d'intersections. Le suivi du paramètre « taux de fissures » a permis également de retrouver la limite de retrait du kaolin, qui représente la teneur en eau correspondant au déclenchement de la première fissure.

Bibliographies

XXIX^e Rencontres Universitaires de Génie Civil. Tlemcen, 29 au 31 Mai 2011.

- Kodikara, R.K., Barbour, S.L. et Fredlund, D.G., 2000. "Desiccation cracking of soil layers". Proceedings of the Asian Conference in Unsaturated Soils, UNSAT ASIA 2000, Singapore, 693-698.
- Hammad, T., 2010. Comportement des sédiments marins de grande profondeur : approche multiéchelle. PhD thesis. Laboratoire de mécanique des sols, structures et matériaux. Ecole Centrale de Paris, France.
- Hueckel, T. and Pellegrini, R., 1992, «Effective stress and water-pressure in saturated clays during heating-cooling cycles», Canadian Geotechnical Journal, 29, 6, 1095-1102
- Péron, H., Laloui, L., Hueckel, T. et Hu, L.B., 2009a. «Desiccation cracking of soils». Desiccation cracking of soils Failure in multiphase geomaterials, 13, 869-888.
- Péron, H., Laloui, L., Hueckel, T. et Hu, L.B., 2009b. «Fundamentals of desiccation cracking of fine –grained soils: experimental characterisation and mechanisms identification». Canadian Geotechnical Journal, 46, 1177-1201.
- Ngoc Luong T.H., 2010. Méthodes expérimentales pour étudier la fissuration d'un matériau argileux, Rapport de Master MSROE, Ecole Centrale Paris. Chatenay-Malabry.