
Étude expérimentale de la fissuration et les zone d'influence autour des fissures d'un sol argile sous dessiccation

Zhengtian YANG¹, Mahdia HATTAB¹, Mohamad JRAD¹, Hanbing BIAN²

¹Laboratoire d'Étude des Microstructures et de Mécanique des Matériaux, CNRS UMR 7239, Université de Lorraine, Arts et Métiers Paris Tech, 7, Rue Félix Savart, BP 15082, F- 57073 Metz, Cedex 03, France.
zhengtian.yang@univ-lorraine.fr

²Laboratoire de Génie Civil et géo-Environnement, Université de Lille, 59 655 Villeneuve d'Ascq Cedex, France.

RÉSUMÉ. L'objectif de cette étude expérimentale est d'apporter une meilleure compréhension du phénomène d'initiation et de propagation des fissures dans un milieu argileux sous dessiccation contrôlée. L'argile étudiée est le Kaolin K13, qui contient un pourcentage élevé de particules kaolinite. Des échantillons saturés à une teneur en eau égale $1.2 w_L$ ont été testés. La méthode de corrélation d'images numériques (CIN) a été utilisée pour étudier dans un premier temps le phénomène de retrait du au séchage, puis l'initiation et la propagation des fissures. Avec le logiciel ImageJ, les zones autour de grandes déformations autour des fissures ont été précisément analysées. Les résultats obtenus semblent montrer que la propagation des fissures n'est pas liée à la vitesse avec laquelle l'humidité relative décroît et ce jusqu'à une certaine valeur de teneur en eau soit atteinte. Les zones de grandes déformations apparaissent avant la formation des fissures. A la fin de la dessiccation, les fissures forment un réseau associé à des zones de déformations maximales.

ABSTRACT. The goal of this experimental work was to try to understand the phenomenon of crack initiation and propagation during drying. The studied clayey material is the Kaolin K13, which has the advantage to contain high percentage of kaolinite particles. At the initial state, before drying, the tested sample was fully saturated at about $1.2 w_L$, the tests being performed under controlled desiccation. Digital Image Correlation (DIC) analysis using Vic-2D allowed to characterize first the shrinkage phenomenon, and then, the initiation and the propagation of the cracking network developed during drying. Thanks to ImageJ software, zones of large strains, developed all around the cracks, were precisely characterized. The results seem to show that the cracks propagation developed independently to the RH velocity until a given water content value is reached. Zones of large strains appear before the initiation of cracks. At the end of drying, the cracks form a network associated to zones of maximum strains.

MOTS-CLÉS : Argile. Corrélation d'images numériques (CIN). Fissuration. Dessiccation.

KEY WORDS: Clay. Digital Image Correlation (DIC). Cracking. Desiccation.

1. Introduction

En période de sécheresse, il se produit une évaporation de l'eau dans le sol qui traduit par une perte massique du matériau. Le sol est alors soumis au développement d'une succion qui continue à augmenter avec le séchage. On sait que la sécheresse modifie de manière importante les caractéristiques mécaniques des sols, et peut amener à l'amorçage et au développement des fissures, en particulier lorsque le sol est argileux. Une étude de la fissuration basée sur une approche expérimentale des sols argileux apparaît comme essentielle pour la sécurité et la durabilité des ouvrages.

L'objectif de cette étude expérimentale est d'apporter une meilleure compréhension du phénomène d'initiation et de propagation des fissures au cours de la dessiccation. L'étude a nécessité l'utilisation de différentes techniques de mesure et d'analyse. Par ailleurs, les caractéristiques hydriques du sol ont été analysées par la méthode de déplacements du Kerdane. Cette méthode a permis de déterminer la courbe de rétention d'eau. Dans cette étude la méthode de corrélation d'images numériques (CIN) couplée à une analyse fine (via logiciel ImageJ) des zones de grandes déformations, avant et après l'apparition des fissures, a été développée.

2. Matériau étudié et préparation d'échantillon

Le matériau étudié est un kaolin commercialisé sous le nom K13 par Sibelco. Cette argile industrielle, est fournie sous forme d'une poudre déshydratée. Les essais d'identification sont déjà réalisés afin de déterminer les propriétés physiques du Kaolin K13. Les valeurs moyennes mesurées sont montrées dans le tableau 2.1.

Propriétés physiques	Limite de liquidité w_L (%)	Limite de plasticité w_P (%)	Indice de plasticité $I_P = w_L - w_P$ (%)	Poids volumique des grains γ_s (KN/m ³)
Kaolin K13	40	21	19	26.5

Tableau 2. 1. Propriétés physiques du Kaolin K13.

L'échantillon est confectionné à partir d'une boue d'argile (Kaolin K13) ayant une teneur en eau initiale égale à 1,2 fois sa limite de liquidité ($w_0=1,2w_L=48\%$). La préparation d'échantillon est réalisée en quatre étapes :

- Fabrication de la boue dans un malaxeur en mélangeant le kaolin et l'eau
- Repos de la boue pour une meilleure homogénéité de la teneur en eau
- Étalage de la boue sur un support dans un cadre carre
- Application d'un mouchetis sur la surface supérieure de l'échantillon.



Figure 2. 1. Préparation de la boue. (a) mélanger poudre et eau, (b) boue d'argile et (c) conditionnement.

L'échantillon en forme carré a comme dimensions : 179 mm de côté et 5 mm d'épaisseur.

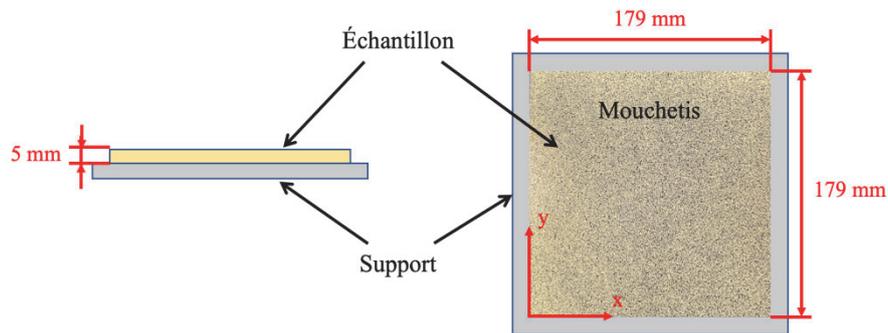


Figure 2.2. Représentation de l'échantillon sur le support.

3. Dispositif d'essai expérimentale

Le dispositif expérimental utilisé dans les essais est représenté sur la figure 3.1. Il est composé d'une caméra CCD positionnée à la verticale de l'échantillon, permettant de prendre des photos à intervalles réguliers, d'un PC pour sauvegarder puis traiter les données et d'une enceinte étanche. A l'intérieur de cette enceinte l'échantillon est placé sur une balance numérique en présence d'une solution saline qui permet de contrôler l'humidité relative, et par conséquent la succion. L'évolution de la masse d'éprouvette et de l'humidité relative au sein de l'enceinte est mesurée via la balance et un hygromètre placé au sein de l'enceinte.

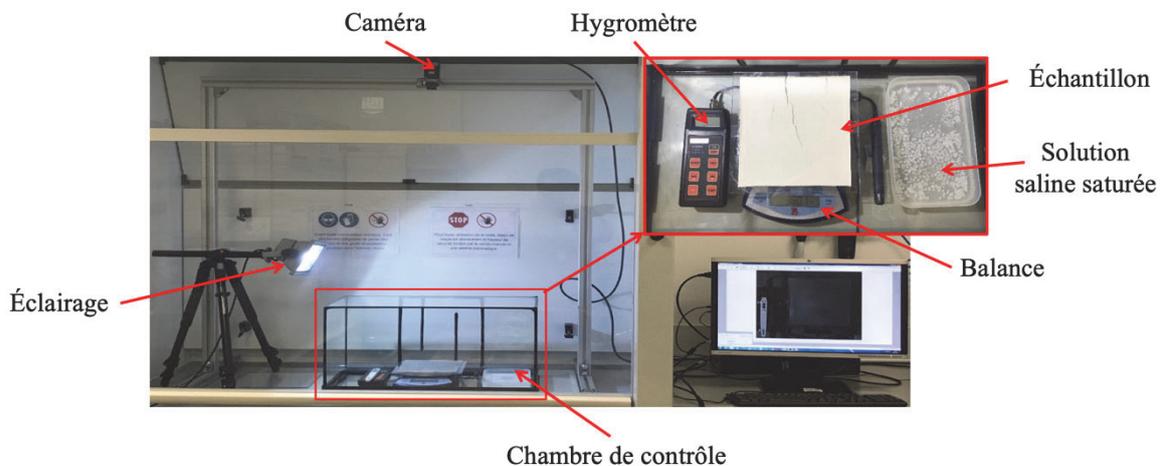


Figure 3.1. Dispositif d'essais dessiccation contrôlée.

4. Traitement de la fissuration hydrique

ImageJ est un logiciel multiplateforme et open source de traitement et d'analyse d'images, développé par *National Institutes of Health*. Écrit en Java, ce logiciel a initialement été développé pour des applications biomédicales. Son usage s'est depuis étendu à d'autres domaines, comme la science des matériaux. Ainsi ce logiciel a été adopté pour traiter les images capturées au cours de l'essai afin d'analyser précisément l'initiation et la propagation des fissures. La figure 4.1 présente la méthodologie employée pour le traitement de la fissuration avec ImageJ.

Les images représentant l'initiation et la propagation des fissures sont enregistrées chaque 2 min. Elles sont ensuite améliorées, filtrées, puis segmentées par la méthode de seuillage, ce qui permet de séparer le vide,

représentant la fissure, en blanc du noir représentant le solide qui est la matrice argileuse. Ainsi via ImageJ il est possible de mesurer l'évolution de la longueur, la largeur et la surface de la fissure.

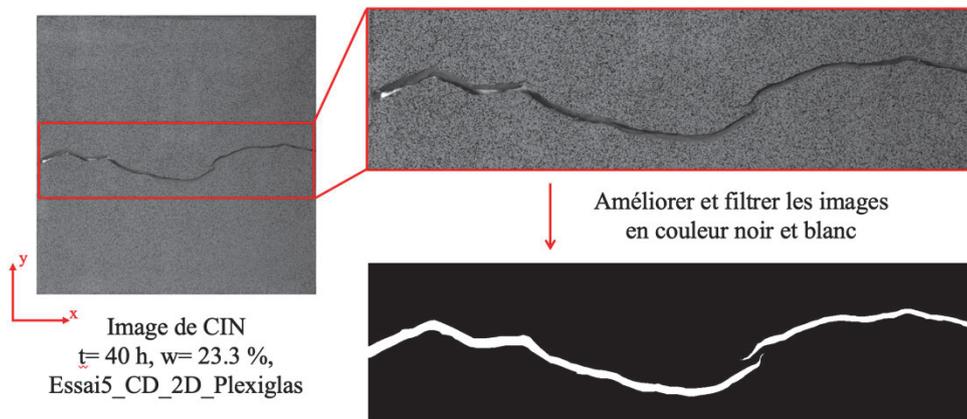


Figure 4.1. Traitement les image de la fissuration hydrique avec ImageJ

Les courbes de la Figure 4.2 représente l'évolution de la teneur en eau et de la longueur de la fissure en fonction du temps.

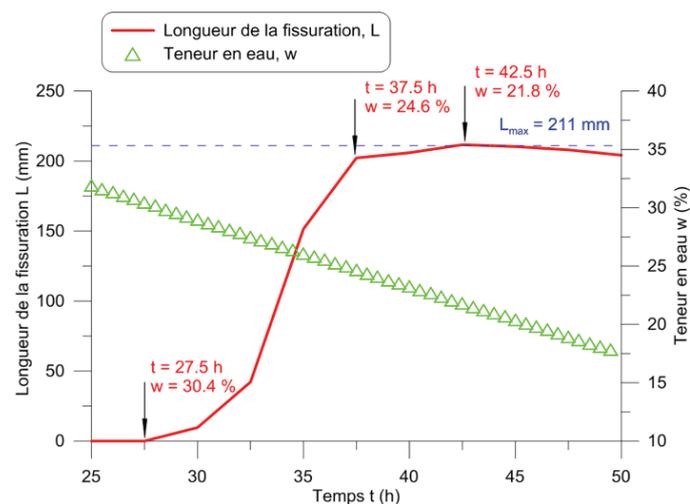


Figure 4.2. Longueur de la fissuration en fonction du temps

La fissure apparait après 27,5 h de séchage (avant la limite de retrait $w_{SL}=24\%$), ensuite, la fissuration s'accélère (jusqu'à 37,5 h) puis elle ralentit et créer un réseau stable. Cependant la vitesse de séchage mesurée est quasiment constante, ce qui montre que la propagation de la fissuration n'est pas directement liée à de la vitesse de séchage. Au cours du séchage, la longueur maximum de la fissure est égale à 211 mm. A la fin du séchage, la longueur de la fissure est égale à 206 mm.

5. Étude la zone influence d'une fissure principale

Une zone de grandes déformations, se développe tout autour de la pointe d'une fissure, cette zone peut être caractérisée par la méthode de corrélation d'image. On montre qu'elle conditionne la propagation de la fissure.

La zone de grande déformation a été analysée avec le logiciel Image J afin de mesurer les dimensions de cette zone. La distance D entre la pointe de la fissure et la limite de la zone de grandes déformations pour chaque image est mesurée pour tracer la courbe d'évolution de D en fonction du temps

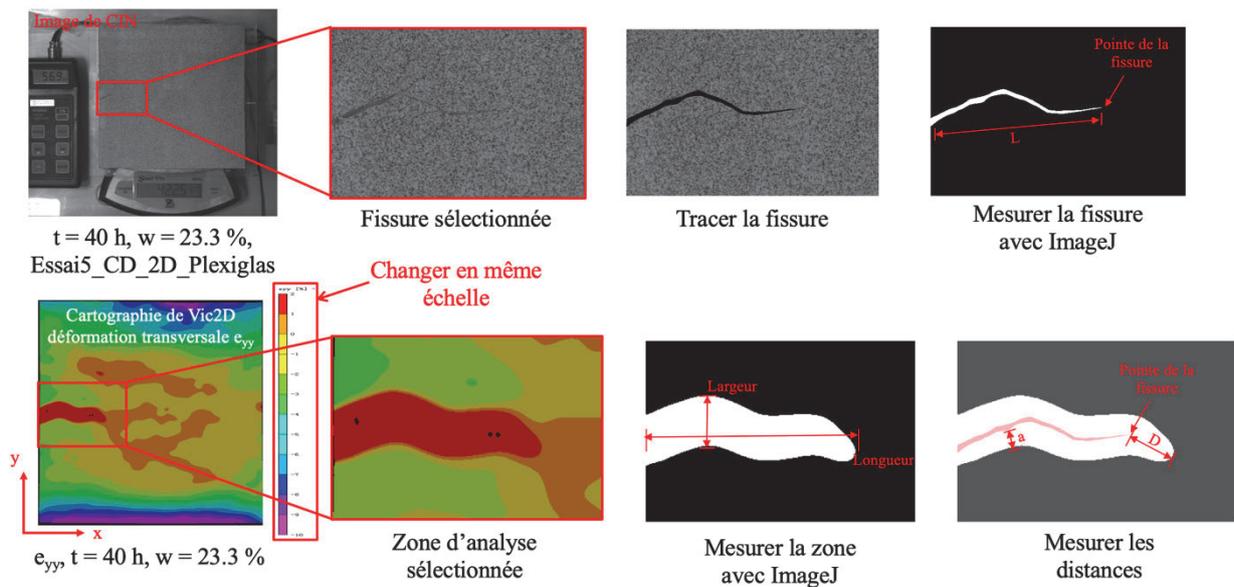


Figure 5.1. Déterminer et mesurer la zone influence d'une fissure hydrique

La Figure 5.2 montre les courbes d'évolution de la distance D et du teneur en eau en fonction du temps.

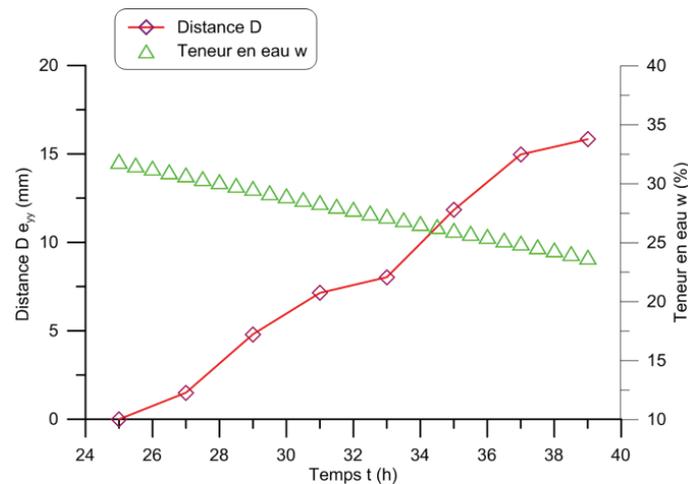


Figure 5.2. Distance D entre le point de la fissure et la limite de zone en grandes déformations en fonction du temps.

6. Conclusions

La fissuration hydrique des sols au cours de dessiccation est toujours importante dans plusieurs domaines d'application et notamment sur la sécurité et la durabilité des ouvrages. La méthode de corrélation d'images numériques (CIN) a été utilisée pour étudier d'abord le phénomène de retrait, puis l'initiation et la propagation des fissures au cours de la dessiccation. Avec le logiciel ImageJ, les zones d'influence autour des fissures, ont été analysées précisément. Dans notre recherche, Les résultats obtenus montrent que les fissures se créent souvent sous une condition restreinte – la forte teneur entre la supporte et échantillon. La propagation des fissures est indépendante de la vitesse de diminution de l'humidité relative, jusqu'à une certaine valeur de teneur en eau. À partir des variations de la teneur en eau d'échantillon en fonction du temps, le comportement mécanique du sol est variable. Une fissure se produit quand la contrainte de traction augmentée atteint la résistance de traction du sol au cours de retraits de séchage. Cette fissure hydrique s'initie par la rupture de Mode I. Les zones d'influence présentent la distribution de concentration de la déformation autour des fissures au cours de séchage. Ces zones

d'extension souvent apparaissent avant les fissures et provoquent la fissuration. En fin de dessiccation, les fissures forment un réseau associé au centre des zones de déformations maximales.

7. Bibliographie

[PÉR 06] PÉRON H., LALOU L., HUECKEL T., & HU L., « Experimental study of desiccation of soil », *Proceedings of the Fourth International Conference on Unsaturated Soils*, Carefree, AZ, United State 1, 2006, p. 1073-1084.

[WEI 14] WEI X., « Étude micro-macro de la fissuration des argiles soumises à la dessiccation », *Doctoral dissertation*, École Central Paris, France, 2014.

[IGH 16] IGHIL AMEUR L., « Étude expérimentale du phénomène de l'endommagement et de la fissuration d'une matrice poreuse », *Thèse de Doctorat*, Université de Lorraine, Metz, France, 2016.

[WEI 13] WEI X., HATTAB M., FLEUREAU J. M. & HU R. L., « Micro-macro experimental study of two clayey materials on drying paths », *Bull. Engng Geol. Environ.* 72, No. 3, 2013, p. 495-508.