

---

# Retrait et fissuration des sols argileux par dessiccation

EL HAJJAR A.<sup>1\*</sup>, EID J.<sup>1</sup>, BOUCHEMELLA S.<sup>1,2</sup>, OUAHBI T.<sup>1</sup>, TAIBI S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire Ondes et milieux complexes UMR CNRS 6294, Université Le Havre Normandie, France.

<sup>2</sup> Laboratoire INFRARES, département de Génie Civil, Université de Souk Ahras, Algérie.

\* Ahmad.el-hajjar@doct.univ-lehavre.fr

---

*RÉSUMÉ. Durant ces dernières années, les chercheurs sont de plus en plus intéressés par la construction en terre crue. Ceci est dû à plusieurs caractéristiques : une faible consommation en énergie grise, une disponibilité quasi-immédiate, et une bonne isolation phonique et thermique. En dépit de ces avantages, l'utilisation de cette technique de construction reste un peu limitée à cause du retrait par dessiccation préjudiciable, en particulier dans certaines zones de sécheresse. Un retrait conséquent est susceptible d'endommager l'ouvrage grâce aux fissurations. Ce travail traite, par corrélation d'images numériques, l'évolution de la déformation d'échantillons argileux, dès le début du retrait et jusqu'à l'amorce de la fissure. Afin de comprendre l'origine de la fissuration, la dessiccation est étudiée pour différentes conditions aux limites et en fonction des caractéristiques intrinsèques du matériau. Plus les grains du sol sont fins, plus la fissuration du sol est importante.*

*ABSTRACT. In recent years, the researchers have become increasingly interested in raw earth construction. This is due to several characteristics : a low consumption of gray energy, an almost immediate availability, and a good soundproofing and thermal isolation. Despite these advantages, the use of this construction technique remains somewhat limited due to shrinkage by prejudicial desiccation, especially in some drought areas. A consequent shrinkage is likely to damage the structure by dint of cracks. This work deals, by digital image correlation, the evolution of the strain of clay samples, from the beginning of shrinkage until the initiation of crack. In order to understand the origin of cracking, desiccation is studied for different boundary conditions and depending on the intrinsic characteristics of the material. The finer the soil grains, the greater the soil cracking.*

*MOTS-CLÉS : sol argileux, corrélation d'images numériques, fissuration, déformation, retrait, succion.*

*KEY WORDS: clayey soil, digital image correlation, cracking, strain, shrinkage, suction.*

---

## 1. Introduction

Dans notre société actuelle, la terre crue présente une alternative comme matériau de construction non énergivore pour faire face aux enjeux climatiques et environnementaux. Néanmoins, elle présente une sensibilité à l'eau, due à la présence des fines, qui a un effet direct sur sa consistance. Celle-ci peut se traduire lors d'une dessiccation, par des déformations de retrait aboutissant à la fissuration qui s'amorce une fois que les contraintes de traction internes développées, dues à la succion, dépassent la résistance de traction du matériau.

Pour remédier à ce problème, il est indispensable de comprendre l'évolution de la déformation du matériau durant le séchage. Ce travail présente une étude expérimentale, qui consiste à réaliser des essais de retrait libre sur deux types d'argiles (gonflante et non gonflante) afin d'identifier la déformation aboutissant à la fissuration en fonction des conditions aux limites imposées, de l'hétérogénéité de l'échantillon et ses caractéristiques intrinsèques.

## 2. Matériaux et méthodes

### 2.1. Matériaux

Les matériaux utilisés sont d'une part une montmorillonite calcique grecque et d'autre part une kaolinite P300. Les caractéristiques géotechniques de la montmorillonite sont présentées dans le tableau 1. La figure 1 présente une observation au microscope électronique à balayage ainsi qu'une analyse par diffraction des rayons X (sous forme de poudre) de cette montmorillonite. On remarque qu'elle montre une texture assez complexe.

Granulométrie	< 80 $\mu\text{m}$ (%)	100
	< 2 $\mu\text{m}$ (%)	40
	$d_{50}$ ( $\mu\text{m}$ )	4
Plasticité	$w_L$ (%)	170
	$w_P$ (%)	60
	$I_p$ (%)	110
Densité des grains	Gs	2.73
Compactage proctor normal (OPN)	w (%)	40
	$\gamma_d$ ( $\text{kN/m}^3$ )	11
Compactage proctor modifié (OPM)	w (%)	29
	$\gamma_d$ ( $\text{kN/m}^3$ )	14.3
Compactage sous forte contrainte	w (%)	8.2
	$\gamma_d$ ( $\text{kN/m}^3$ )	21.0

Tableau 1: Caractéristiques géotechniques de l'argile grecque [FLE 1993]

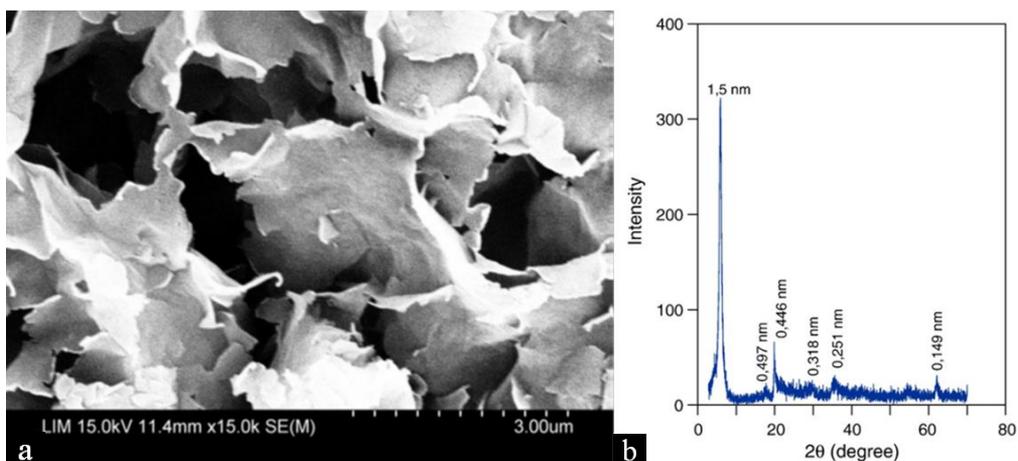


Figure 1: Observation au MEB [HAM 2010] (a) et analyse DRX de la Montmorillonite calcique grecque [SOU 2008] (b)

La kaolinite P300 présente une limite de liquidité  $w_L$  égale à 40 %, un indice de plasticité  $I_P$  égal à 19 % et une masse volumique des grains solides  $G_s$  égale à 2.65 g/cm<sup>3</sup>. Son image MEB et son analyse DRX (en lame orientée) sont présentées dans la figure 2. On remarque que cette argile contient en plus de la kaolinite (pics à 7.18 et 3.58 Å), de l'illite (pics à 10 et 5 Å) et du quartz (pics à 4.26 et 3.34 Å).

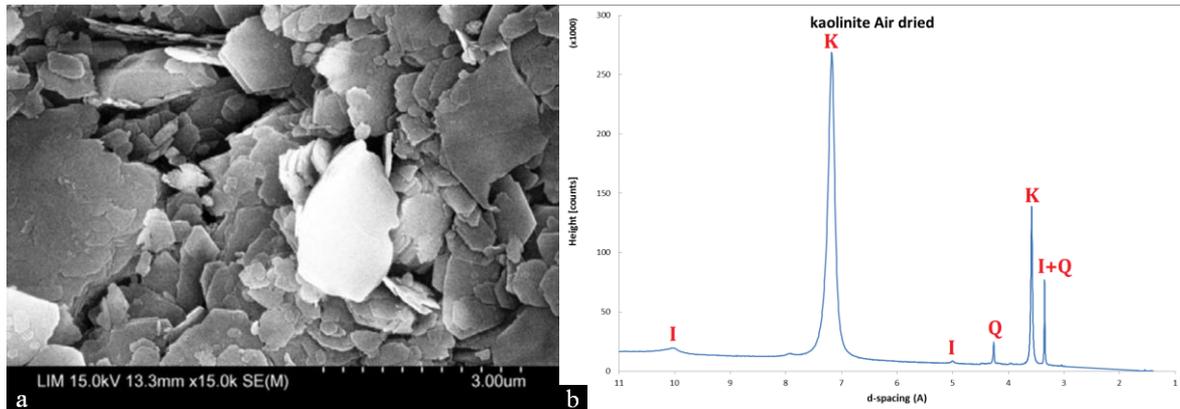


Figure 2: Observation au MEB [HAM 2010] (a) et analyse DRX de la kaolinite P300 (b)

## 2.2. Méthodes

Pour étudier l'effet des conditions aux limites (frottement externe) sur la fissuration des argiles, on a disposé de 3 différents types de supports fixés sur une plaque en PVC :

- a- Support rugueux : papier abrasif imperméable de très gros grain 180 « utilisé couramment pour le gros décapage ».
- b- Support mi-rugueux : papier abrasif imperméable de grain fin 400 « utilisé couramment pour la finition ».
- c- Support lisse : rouleau de téflon vierge d'épaisseur 1 mm (coefficient de frottement statique = 0.08 à 0.10 selon la norme ASTM D1894).

Tous les échantillons ont des dimensions de 20 x 20 cm et une épaisseur de 8 mm, et sont coulés à une teneur en eau initiale de 1.5  $w_L$ . Un aspect moucheté, réalisé avec une poudre en PVC de couleurs blanc et noir, est nécessaire pour permettre au logiciel de corrélation d'image de bien détecter la différence entre les pixels. L'ensemble du dispositif expérimental est contrôlé en température ( $T = 22.5^\circ\text{C}$ ) et en humidité relative ( $HR \approx 18\%$ ).

Durant le séchage, un appareil photo *Canon 600D* avec un objectif Macro prenait une photo monochromatique en niveaux de gris toutes les 10 minutes. L'éclairage est effectué à l'aide de deux lampes fluorescentes (lumière froide) pour éviter toute perturbation de la température ambiante. Un schéma de principe du montage de cet appareil est présenté dans la figure 3.

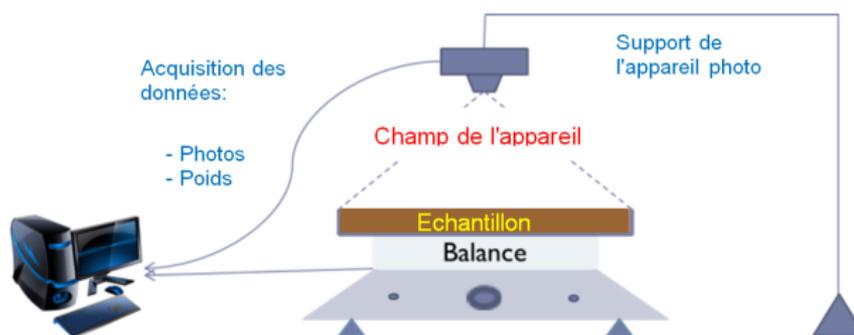


Figure 3: Schéma de principe du dispositif expérimental [EID 2015]

Pour analyser la déformation de l'échantillon, un logiciel de corrélation d'images numériques « VIC-2D » a été utilisé. Ce logiciel analyse la différence entre les pixels dans les photos prises afin d'obtenir un champ de déformation bidimensionnel de la surface de l'échantillon. En revanche, l'analyse de la morphologie des fissures est effectuée à l'aide d'un logiciel « ImageJ » qui permet de calculer la surface de fissuration et de retrait des

échantillons afin d'obtenir la densité de déformation définie par la surface déformée (fissurée et rétrécie) sur la surface totale de l'échantillon à son état initial.

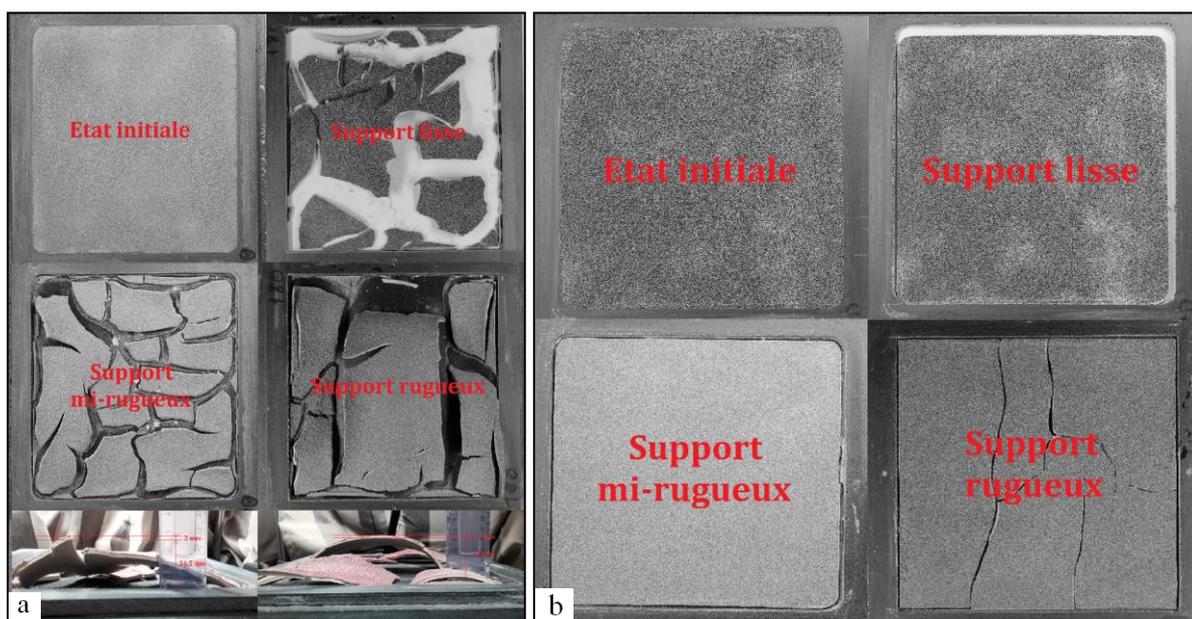
Le bilan des échantillons réalisés est présenté dans le tableau 2:

N° d'échantillon	Argile	Support
Ech1	Kaolinite	Rugueux
Ech2	Kaolinite	Mi-rugueux
Ech3	Kaolinite	Lisse
Ech4	Montmorillonite	Rugueux
Ech5	Montmorillonite	Mi-rugueux
Ech6	Montmorillonite	Lisse

**Tableau 2: Bilan des échantillons réalisés**

### 3. Résultats et interprétations

La fin de l'expérience est atteinte lorsque la teneur en eau de l'échantillon devient stable en formant un palier horizontal sur la courbe de l'évolution de la teneur en eau en fonction du temps. La teneur en eau résiduelle des échantillons de montmorillonite est 15.7 % alors cette teneur en eau est de 0.6 % pour les échantillons de kaolinite. En outre, la pente du séchage d'une montmorillonite (-3.7) est deux fois plus grande que celle d'une kaolinite (-1.4). La figure 4 montre que la kaolinite a seulement fissuré sur le support rugueux ; alors que la montmorillonite a fissuré sur tous les supports en subissant un très grand retrait en 3 dimensions et d'énormes déformations.



**Figure 4 : Etat initiale et finale de la montmorillonite (a) et de la kaolinite (b)**

En comparant le comportement des échantillons de montmorillonite et de kaolinite réalisés sur un support rugueux, on remarque que la première fissure est apparue pour une teneur en eau de 167.25 % dans le premier cas avec une déformation majeure principale  $\epsilon_1 = 0.12 \mu\text{m}/\text{m}$  et pour une teneur en eau de 34.8 % dans le deuxième cas avec une déformation majeure principale  $\epsilon_1 = 0.07 \mu\text{m}/\text{m}$  (figure 5). On peut donc définir ces 2 seuils de déformation comme déformations majeures ultimes aboutissant à la fissuration du matériau lorsqu'il est soumis à une contrainte de traction (engendrée par les frottements sol/support le cas échéant). Ces résultats nous indiquent qu'une montmorillonite peut supporter une déformation quasiment double à celle d'une kaolinite avant d'atteindre la rupture, malgré qu'elle subisse un retrait deux fois plus rapide (pente du séchage).

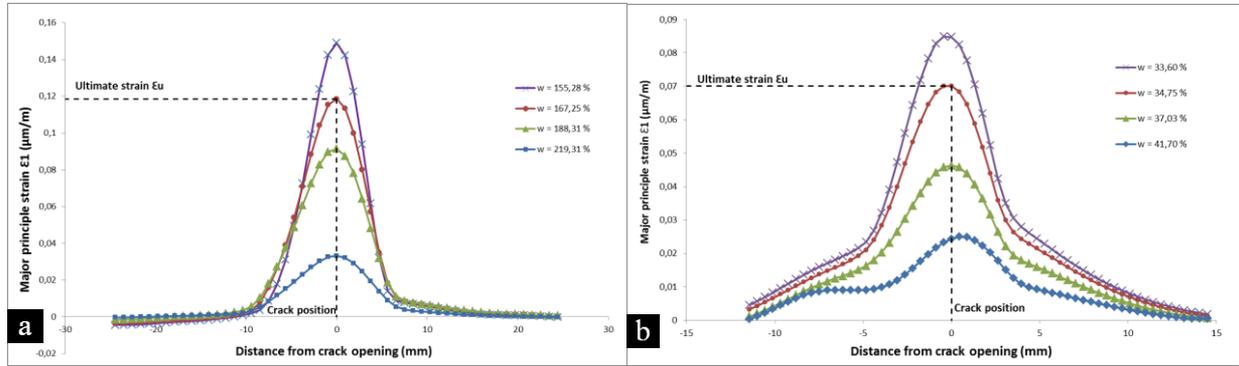


Figure 5: Evolution de la déformation locale pendant le séchage pour une montmorillonite (a) et une kaolinite (b)

La figure 6 montre la déformation totale de chaque échantillon lorsque les conditions aux limites n'interviennent pas (cas d'un support lisse où le frottement sol/support est négligeable). On remarque que la densité de déformation de la montmorillonite 46.42 % est 7 fois plus grande que celle d'une kaolinite 6.57 %.

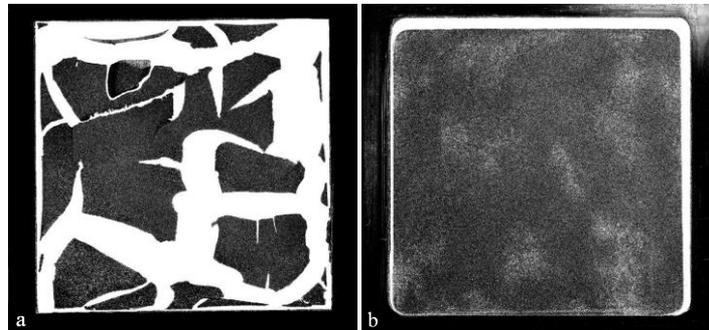


Figure 6: Déformation totale d'une montmorillonite (a) et d'une kaolinite (b) pour des conditions aux limites de frottement quasiment nulles

#### 4. Conclusion

Il est bien évident que la montmorillonite possède un comportement tellement différent de la kaolinite, elle se fissure même quand les conditions aux limites n'interviennent pas. Elle subit dans tous les cas un soulèvement vertical (en direction Z) qui varie de 4 à 5 cm.

Cette différence de comportement peut être due à un changement des propriétés physiques (surface spécifique 50 fois plus grande dans une montmorillonite (700 à 800  $\text{m}^2/\text{g}$ ) que dans une kaolinite (10 à 30  $\text{m}^2/\text{g}$ )), minéralogiques (structure cristallographique), ou bien chimique (la présence de Magnésium «  $\text{Mg}_{0,6}$  » qui provoque un déficit de charge dans la montmorillonite).

Les conditions aux limites ont une influence sur la fissuration d'une argile, mais encore les caractéristiques intrinsèques (minéralogiques, mécaniques et hydriques) du matériau portent une influence supérieure sur cette fissuration.

#### 5. Bibliographie

[EID 2015] EID J., TAIBI S., FLEUREAU J. M., HATTAB M., « Drying, cracks and shrinkage evolution of a natural silt intended for a new earth building material », *Construction and Building Materials*, vol. 86, 2015, p. 120-132.

[FLE 1993] FLEUREAU J.M, KHEIRBEK-SAOUD S., SOEMITRO R., TAIBI S., « Behaviour of clayey soils on drying-wetting paths », *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 30, n° 2, 1993, p. 287-296.

[HAM 2010] HAMMAD T., Comportement des sédiments marins de grande profondeur : approche multiéchelle, Thèse de doctorat, Ecole Centrale Paris, 2010.

[SOU 2008] SOULI H., FLEUREAU J. M., AYADI M. T., BESNARD M., « Physicochemical analysis of permeability changes in the presence of zinc », *Geoderma*, vol. 145, n° 1-2, 2008, p. 1-7.