



HAL
open science

Avancées sur la caractérisation du comportement hydromécanique à court et long termes de la craie du bassin parisien

Mountaka Souley

► **To cite this version:**

Mountaka Souley. Avancées sur la caractérisation du comportement hydromécanique à court et long termes de la craie du bassin parisien. Rapport Scientifique INERIS, 2017, 2016-2017, pp.34-35. ineris-01869661

HAL Id: ineris-01869661

<https://ineris.hal.science/ineris-01869661>

Submitted on 6 Sep 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

AVANCÉES SUR LA CARACTÉRISATION DU COMPORTEMENT HYDROMÉCANIQUE À COURT ET LONG TERMES DE LA CRAIE DU BASSIN PARISIEN

Contributeur
Mountaka
SOULEY

Les retours d'expérience sur les études de stabilité menées dans des carrières souterraines de craie montrent que l'estimation du coefficient de sécurité butte bien souvent sur le choix des valeurs de résistance à retenir et sur les caractéristiques à prendre en compte pour reproduire le comportement de ce matériau en présence d'eau. En effet, l'extraction de la craie s'est généralement cantonnée aux seuls terrains situés au-dessus de la nappe phréatique mais la modification dans le temps des conditions hydrogéologiques (arrêt des pompages industriels, changement climatique, crues exceptionnelles) peut agir sur l'amplitude des battements de nappes et contribuer à saturer le massif encaissant, voire parfois à ennoyer les carrières. Trois sites (figure 1), déjà instrumentés ou ayant fait l'objet d'une démarche en retour d'expérience, ont permis d'étudier ces paramètres pour des craies exploitées depuis plus de cent ans en carrière souterraine et soumises de manière récurrente à des ennoyages naturels ou accidentels.

Une caractérisation physico-mécanique en fonction de l'hygrométrie a été menée en laboratoire pour les trois craies. Il ressort que la craie de Château-Landon est un peu différente des deux autres dans le sens où la saturation d'un échantillon fait brutalement chuter sa résistance à la compression uniaxiale. Néanmoins, lorsque le matériau est saturé, la forme de la rupture n'est pas aussi nette: la craie s'écrase, le matériau rentre en plasticité rapidement et présente de la dilatance (augmentation de volume) avant la rupture. Sur la base des essais de laboratoire à court terme, les critères de rupture de Mohr-Coulomb et Hoek & Brown

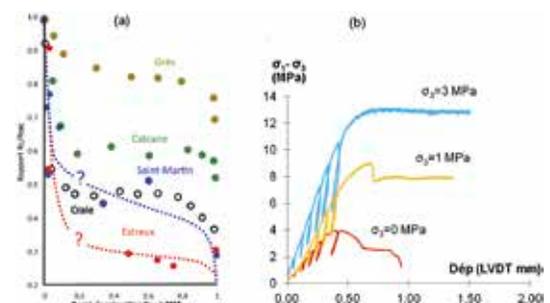
(généralement utilisés en mécanique des roches) ont été déterminés, et les paramètres associés ont été identifiés pour les trois craies en conditions saturées et sèches [1]. Les essais de caractérisation à hygrométrie contrôlée ont permis d'établir que les propriétés mécaniques telles que les modules de déformabilité (axiale et latérale) et les résistances en compression uniaxiale et triaxiale diminuent lorsque le degré de saturation (ou l'humidité relative H_r) augmente. La figure 2 montre un exemple type de courbes du déviateur de contrainte en fonction des déformations axiale et latérale et de résistance en compression uniaxiale en fonction de H_r . Les résultats obtenus sur différents sites démontrent bien l'hétérogénéité de ce matériau, bien souvent considéré comme homogène à l'échelle d'une formation rocheuse.

Le comportement hygro-mécanique différé (dans le temps) a également été étudié à travers des essais de fluage uniaxiaux sous atmosphère contrôlée (85 %, 90 % et 98 % généralement rencontrées *in situ*) et dont la figure 3 montre un exemple de courbes expérimentales. Il ressort que la part argileuse de la craie d'Estreux lui confère un comportement viscoplastique (caractérisé par un fluage de la roche) non négligeable devant son comportement dit instantané, à la différence des deux autres craies. Ceci est en accord avec les résultats relatifs au comportement à court terme. Quelle que soit l'hygrométrie, le fluage se manifeste à partir d'un certain seuil de contrainte, qui lui-même dépend de

Figure 1 / Sites suivis par l'Ineris.

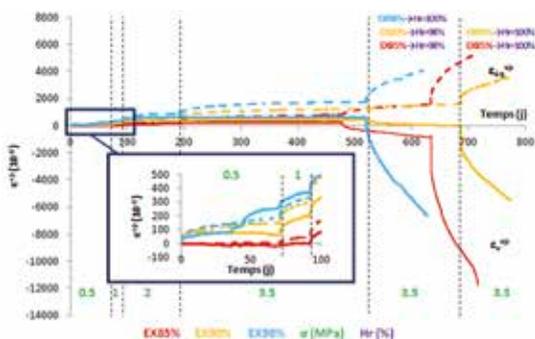


Figure 2 / Influence de l'hygrométrie (a) ratio de résistance $R_c(H_r)/R_c(sec)$ en fonction du degré de saturation S_{rw} à 20 °C des craies d'Estreux et de Saint-Martin-le-Nœud (Lafrance 2016) et une comparaison avec des données de littérature (Watelet 1996), (b) essais triaxiaux à 0, 1 et 3 MPa de confinement et une hygrométrie imposée de 98 % pour la craie d'Estreux.



l'humidité relative Hr: plus Hr est grande, plus le seuil de déclenchement du fluage est bas. Il a également été établi que pour une variété de craie donnée, la relation entre la déformation volumique différée et la distorsion différée (liée à la déformation de la roche) ne dépendait que du couple déviateur/hygrométrie et non de l'histoire de chargement. Les déformations viscoplastiques augmentent d'une manière non linéaire avec le temps et avec l'hygrométrie, pour un déviateur donné. Par ailleurs, la vitesse de déformation dépend de l'amplitude de la déformation viscoplastique. Enfin l'ennoyage augmente également significativement les déformations viscoplastiques. Plus l'échantillon est saturé (plus l'hygrométrie est importante), plus la déformation que subit l'échantillon est importante. Sur la base des différents mécanismes du comportement court terme et long terme des craies étudiées, un modèle rhéologique de comportement a été proposé et implanté dans le code de calcul FLAC3D pour des études de simulation numérique avec une bonne reproduction des courbes obtenues en laboratoire [2] comme illustré sur la figure 4. Une des perspectives importantes de cette recherche sera l'application à des études d'aléa liées aux carrières de craie.

Figure 3 / Courbes de fluage des échantillons partiellement saturés de craie de la carrière d'Estreux. Déformations différées volumique et déviatorique en fonction du temps.



Références

[1] Lafrance, N. 2016 : Étude des effets de l'eau sur les phénomènes de rupture et de déformation affectant les carrières souterraines de craie, thèse de doctorat de l'UL

[2] Souley, M.; Lafrance, N.; Auvray, C.; Labiouse, V. & Belem, T. 2016: An elastoplastic and viscoplastic model for porous geomaterials. *Rock Mechanics and Rock Engineering: From the Past to the Future* – Ulusay *et al.* (Eds) © 2016 Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-03265-1, p.481-486

Gombert, P.; Auvray, C.; Al Heib, M. (2013). In-situ and laboratory tests to evaluate the impact of water table fluctuations on stability of underground chalk mines. *Procedia Earth and Planetary Science* 7 304-308

Watelet, J.M. 1996 : Méthode d'analyse et diagnostic des conditions de stabilité des carrières souterraines, mémoire de fin d'études. ISAM-SNAM. Paris

ABSTRACT /

The risk of ground failures related to underground structures (natural or anthropogenic) involves over 10 000 towns in France. Accidents due to the collapse of underground chalk mines are among the most destructive, both humanly and materially.

The main objective of this research is to study the effects of water-rock interactions on the mechanical behaviour of three chalks sampled from three underground abandoned mines situated in the Parisian Basin, in the framework of a multi-scale and multi-physics approach. Laboratory characterization was conducted to understand the short and long terms behavior of these two chalks depending on the relative humidity. Although this work was limited to the investigation of relative humidity levels ranging between 90% and 100% which are the most representative of the in situ conditions of abandoned underground openings.

First, physical and mechanical characteristics of chalks and their interactions with water were carried out. The results obtained through short-term hydro-mechanical tests remain consistent with those found in previous published works.

Second, the study of the long-term behaviour of each chalk was developed through uniaxial creep tests with controlled humidity and sample flooding. It was established that creep depends on the mineralogy / micro-structure and the couple (deviatoric stress, relative humidity) but not on the loading history. The mechanisms believed to be the origin of creep deformations are of a physico-mechanical nature and involve the breaking and the restoring of electrostatic bonds between grains. The interpretation of the tests carried out allowed to quantify the importance of the relative contributions of various parameters on the long-term behaviour. The long-term goal remains to power both the expertise and the computer calculations so that one can assess the impact of groundwater level variation on the long-term stability of chalk underground abandoned mines.

Finally, a rheological model has been developed with good agreement with the experimental laboratory curves [2].

Figure 4 / Résultats des simulations d'essai et comparaison aux mesures : (a) cas d'essais triaxiaux sur la craie d'Estreux, (b) cas des essais de fluage multipaliers (à σ_1 et Hr imposés) les paliers étant les suivants: $\sigma_1 = 0,5$ MPa et Hr = 90 % ; $\sigma_1 = 1$ MPa et Hr = 90 % ; $\sigma_1 = 2$ MPa et Hr = 90 % ; $\sigma_1 = 3,5$ MPa et Hr = 90 % ; $\sigma_1 = 3,5$ MPa et Hr = 98 %.

