

Essais de relaxation sur un grès molassique

Sahli M.

Ecole Hassania des Travaux Publics de Casablanca, saqli@ehp.ac.ma, Maroc

Mathier J.-F.

Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, jean-francois.mathier@epfl.ch, Suisse

RESUME: Cette note présente des résultats d'essais de relaxation uniaxiale et triaxiale, sur échantillons de grès molassique. Les résultats montrent que cette roche, présente une diminution de contrainte dans le temps, sous état uniaxial et triaxial quand la déformation axiale est bloquée à une valeur constante. L'ajustement empirique des points expérimentaux peut être effectué aussi bien par une loi logarithmique ou en puissance, et ce pour des durées de relaxation de quelques minutes ou de quelques heures. L'extrapolation de ces courbes sur des temps plus longs indique des contraintes limites relativement proches. D'un point de vue mathématique, les variations relatives de la déformation de l'ajustement logarithmique sont un cas particulier de celles correspondant à un ajustement en puissance (la dérivée ds/dt est du type s^{-n} avec $n=1$ pour l'ajustement logarithmique et n différent de 1 pour l'ajustement en puissance).

1 INTRODUCTION

Un programme expérimental, comprenant des essais de température et des essais mécaniques instantanés et différés a été réalisé sur une roche gréseuse, objet de nombreux aménagements et travaux de génie civil en Suisse Romande. L'objectif poursuivi a été l'étude de cette roche sous plusieurs aspects :

- la détermination de ses caractéristiques thermiques en vue de son utilisation pour le stockage thermique comme roche magasin.
- la détermination de ses paramètres mécaniques en charge et en décharge, sous diverses vitesses de déformation axiale.
- l'observation de son comportement différé sous étreinte uniaxiale constante (fluage primaire).

Ces résultats d'essais thermiques et mécaniques instantanés et différés ont été présentés et discutés dans le cadre de publications antérieures (Sahli et Mottier, 1988), (Sahli, 1990).

Cette note présente les résultats d'essais de relaxation uniaxiale et triaxiale effectués sur la même roche.

2 ROCHE TESTEE

Il s'agit d'une molasse gréseuse qui constitue le Plateau suisse entre le Jura et les Préalpes. C'est une ro-

che relativement tendre et friable, d'aspect homogène, non fissurée. Les essais différés sont réalisés sur des échantillons de 55 mm de diamètre, avec un élargissement de 2.

Le stockage des échantillons avant essais a été effectué dans une enceinte dans laquelle les conditions de température et d'hygrométrie sont contrôlées.

2.1 Paramètres d'identification de la roche:

Tableau 1: Paramètres d'identification

• Densité sèche	2,20 t/m ³
• Densité spécifique	2,65 t/m ³
• Teneur en eau à saturation	env. 6 %
• Porosité équivalente	17 %
• Perméabilité à l'eau	1,2 10 ⁻⁹ m/s

Composition minéralogique:

• Quartz	67 %
• Carbonates	28 %
• Argiles	5 %

Résistance en compression simple 11.7 MPa

Module en charge 2200 MPa

2.2 Contrôle de la teneur en eau :

Compte tenu de l'effet de la présence d'eau sur le comportement de la roche étudiée, la sensibilité de celle-ci aux conditions hydriques a été étudiée. La

courbe de la figure 1 donne la teneur en eau des échantillons stockés en fonction de l'hygrométrie de l'enceinte.

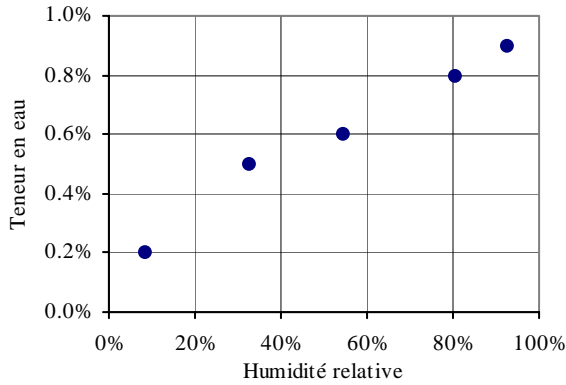


Fig. 1: Teneur en eau des échantillons, en fonction de l'hygrométrie de l'enceinte

Les échantillons ont été testés à une teneur en eau largement inférieure au pourcent.

2.3 Contrôle de la température :

Alors que les essais de fluage ont été effectués sous un dispositif de maintien de chaque échantillon sous température constante, les essais de relaxation sont réalisés sous une presse rigide asservie en déformation, dans une salle dont la température n'est pas rigoureusement contrôlée. L'essai de relaxation triaxiale, est effectué dans une cellule type Hoek sous la même presse rigide et dans les mêmes conditions de température. Etant donné leur durée, les essais de relaxation effectués ne sont cependant pas affectés par ce paramètre.

2.4 Mesure des déformations :

Le déplacement du vérin de poussée dans les essais de relaxation est mesuré par un capteur inductif type LVDT.

2.5 Chemins de fluage et relaxation

Un essai de fluage est réalisé au laboratoire en appliquant à un échantillon un tenseur contrainte maintenu constant au cours du temps. La mesure des composantes du tenseur déformation avec le temps constitue la réponse en fluage.

Les essais de fluage réalisés sur le grès par nos soins ont nécessité la mise au point d'un dispositif spécifique décrit par ailleurs (Sahli, 1990), et dans lequel le temps de mise en charge est pratiquement instantané.

Dans les essais de relaxation effectués, le saut de déformation axiale est obtenu le long d'un chemin quasi statique (donc à vitesse de déformation constante) jusqu'à la valeur de déformation de l'essai. La vitesse de déformation adoptée est la valeur maximum permise par notre dispositif expérimental, soit

$4 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ environ. Après quoi la déformation est maintenue constante par le système d'asservissement du vérin.

Un essai de relaxation étant l'essai dual de l'essai de fluage (Lemaitre et Chaboche, 1996), il correspond stricto sensu à la réponse de l'échantillon à un saut du tenseur déformation maintenu constant au cours du temps. Au laboratoire cependant, on ne peut bloquer de manière relativement aisée et avoir une réponse significative en terme de contrainte que la composante axiale de la déformation.

Notons que les essais de fluage réalisés ont confirmé que les échantillons fluent à volume constant (Sahli, 1990), (Pellet et al., 2000]. Cette condition est généralement admise pour l'ensemble des chemins qui sollicitent le matériau en comportement différé, et en particulier sur chemin de relaxation.

3 COURBES DE RELAXATION

On a réalisé 3 essais de relaxation sans confinement latéral, et 3 essais de relaxation avec un confinement de 3 MPa, maintenu constant en cours d'essai, en même temps que la déformation totale axiale. Les graphiques ci-après présentent les mesures obtenues, ainsi que les courbes d'ajustement empiriques (logarithmique et en puissance) correspondantes.

3.1 Essais de relaxation uniaxiale

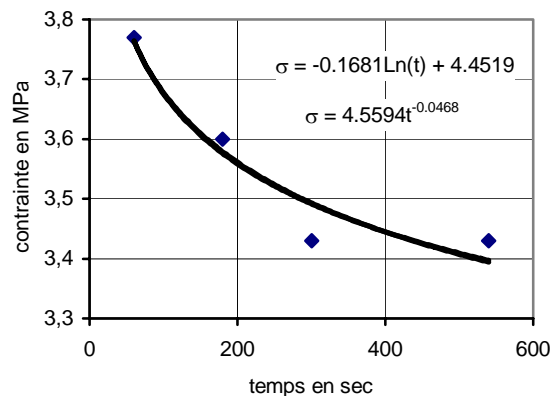


Fig.2 : relaxation uniaxiale à $2,2 \cdot 10^{-3}$, effectué sur le grès

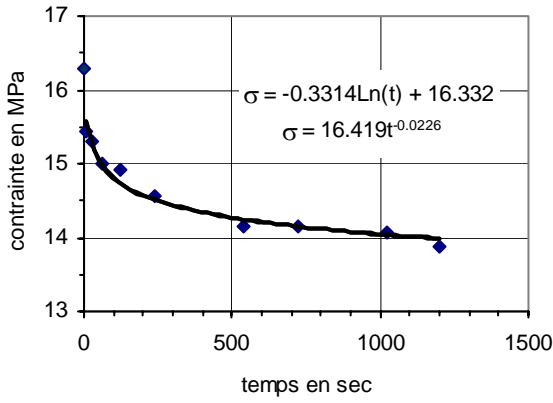


Fig.3 : relaxation uniaxiale à $5,5 \cdot 10^{-3}$, effectué sur le grès

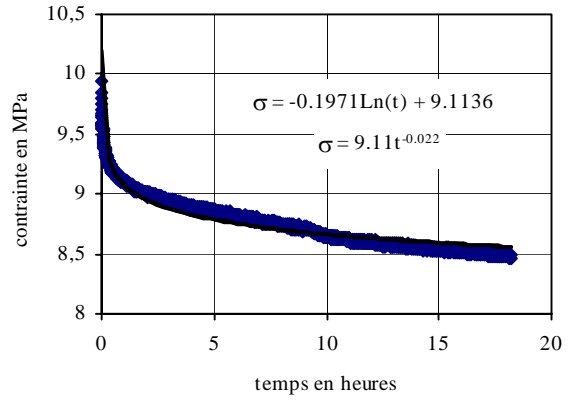


Fig.7 : relaxation uniaxiale à $5,6 \cdot 10^{-3}$, effectué sur le grès

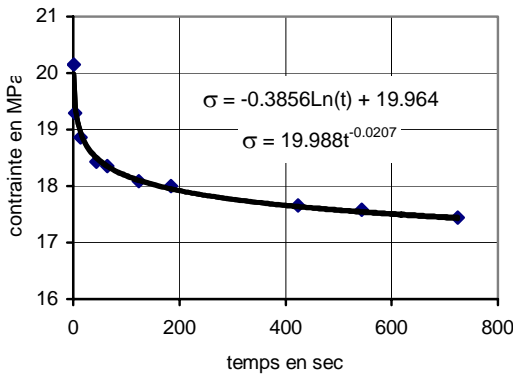


Fig.4 : relaxation uniaxiale à $6,8 \cdot 10^{-3}$, effectué sur le grès

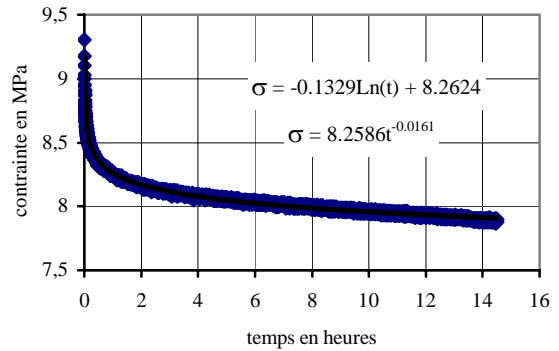


Fig.8 : relaxation uniaxiale à $7,6 \cdot 10^{-3}$, effectué sur le grès

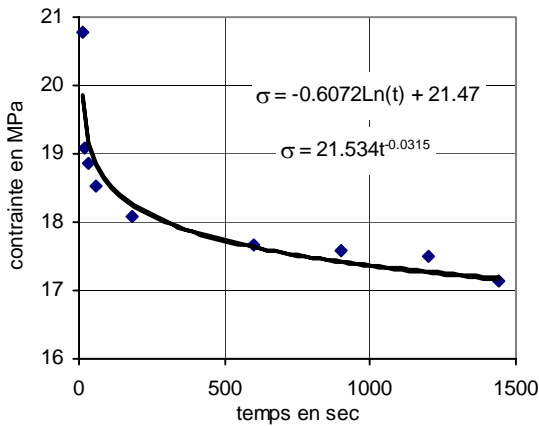


Fig.5 : relaxation uniaxiale à $1,8 \cdot 10^{-2}$, effectué sur le grès

3.2 Essais de relaxation triaxiale

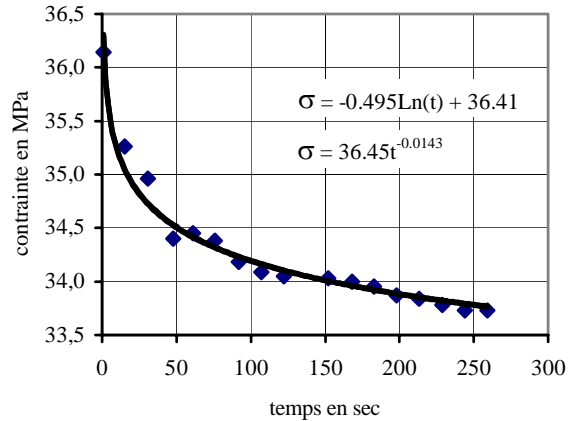


Fig.9 : relaxation triaxiale, effectuée sur un grès pour une déformation de $1,04 \cdot 10^{-2}$

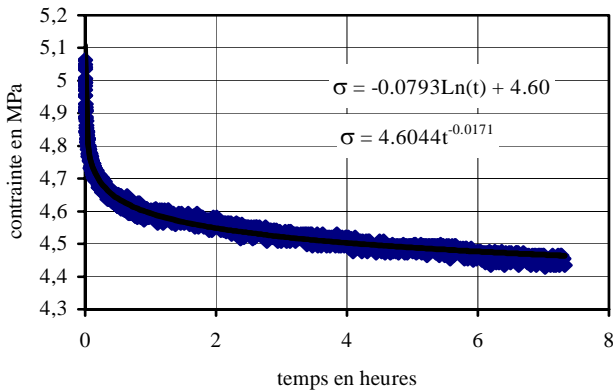


Fig.6 : relaxation uniaxiale à $3 \cdot 10^{-3}$, effectué sur le grès

4 AJUSTEMENT DES COURBES

Comme on peut le constater dans les courbes expérimentales présentées dans les figures 2 à 7, le comportement en relaxation des échantillons peut être ajusté indifféremment par deux lois empiriques : la loi *en puissance* et la loi *logarithmique*. On présente aux figures 2 à 5 les résultats d'essais de relaxation uniaxiale sur des temps courts et aux figures 6 à 9

des essais de même type obtenus sur des temps plus longs. La figure 9 correspond à un essai triaxial court sur un échantillon distinct de la même roche.

Le

Tableau 2 rappelle les paramètres d'ajustement des courbes expérimentales par les lois logarithmique et en puissance. Les dispersions des paramètres.

Tableau 2: paramètres d'ajustement

Déformation imposée	$\sigma = A \ln(t) + B$		$\sigma = \alpha t^\beta$	
	A	B	α	β
<i>Essais courts</i>				
$2,2 \cdot 10^{-3}$	-0,1681	4,452	4,559	-0,047
$5,5 \cdot 10^{-3}$	-0,3314	16,330	16,419	-0,023
$6,8 \cdot 10^{-3}$	-0,3856	19,964	19,988	-0,021
$1,8 \cdot 10^{-2}$	-0,6072	21,472	21,534	-0,032
<i>Essais longs</i>				
$3,1 \cdot 10^{-3}$	-0,0793	4,600	4,604	-0,017
$5,6 \cdot 10^{-3}$	-0,1971	9,110	9,110	-0,022
$7,6 \cdot 10^{-3}$	-0,1329	8,260	8,259	-0,016

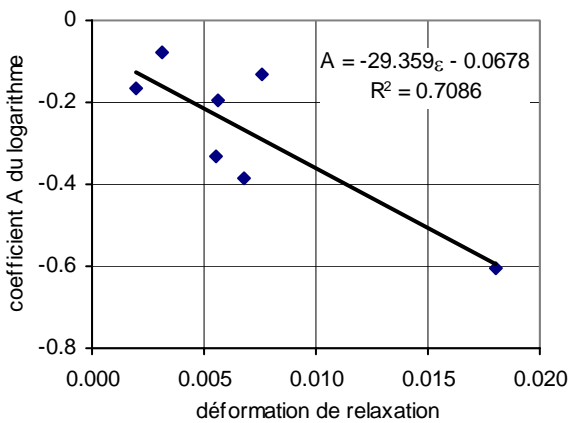


Fig. 10 : variation du coefficient A en fonction de la déformation de relaxation

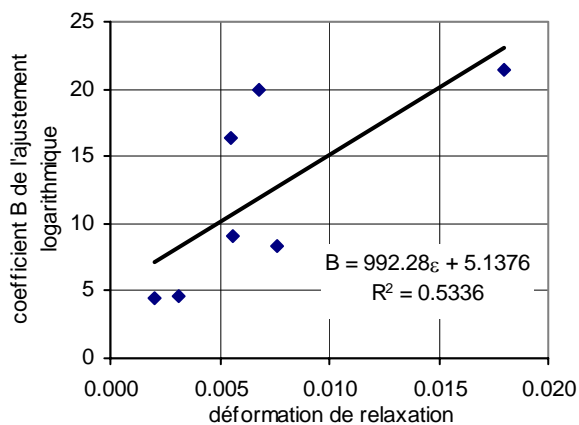


Fig. 11 : variation du coefficient B en fonction de la déformation de relaxation

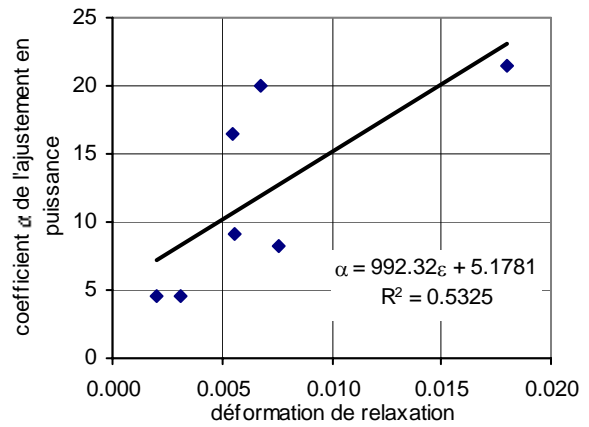


Fig. 12 : variation du coefficient α en fonction de la déformation de relaxation

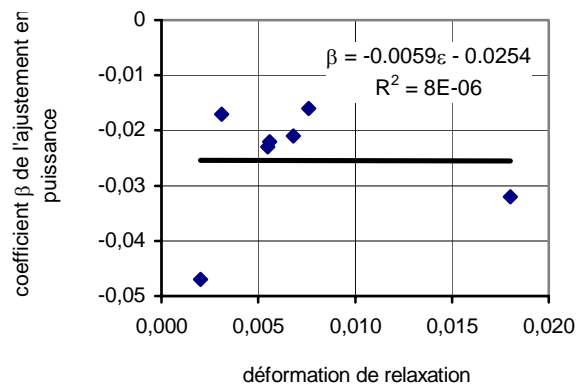


Fig. 13 : variation du coefficient β en fonction de la déformation de relaxation

L'extrapolation pour des temps beaucoup plus longs, de la courbe de relaxation obtenue pour une déformation de $1,8 \cdot 10^{-2}$ (courbe de la figure 5) dans un but comparatif des lois d'ajustements. On constate ainsi une relative stabilisation de la contrainte axiale même pour la loi logarithmique, cette dernière donnant d'ailleurs une valeur limite de contrainte légèrement inférieure à celle obtenue par la loi en puissance.

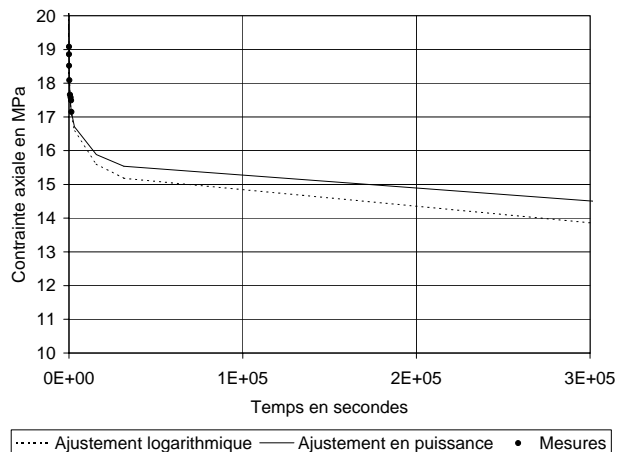


Fig. 14 : Extrapolation des ajustements empiriques sur des temps plus longs d'une courbe de relaxation

5 CONCLUSION

On s'est intéressé dans cette étude à l'observation de la relaxation uniaxiale et triaxiale d'échantillons de grès, pour des temps proches de l'origine.

Les courbes obtenues peuvent indifféremment être ajustées empiriquement par une loi en puissance ou en logarithme. Pour des temps plus longs (de l'ordre de quelques jours), l'extrapolation montre une modeste divergence des valeurs de contraintes limites. Pour déterminer, sur une grande période prévisionnelle de relaxation, les valeurs limites des contraintes asymptotes, il est nécessaire d'effectuer des essais beaucoup plus longs et de mesurer les déformations latérales en cours de relaxation, afin de vérifier l'hypothèse d'un comportement sans variation de volume sur ce chemin.

Pour la généralisation des comportements, on peut remarquer que d'un point de vue incrémental, le comportement logarithmique (dont la vitesse est en t^{-1}) est un cas particulier du comportement en puissance (dont la vitesse est en t^{-n} avec $n > 0$), dont la loi viscoplastique de Lemaitre constitue une généralisation bien adaptée à ce type de matériau (Sahli et al, 2001 ; Pellet et al, 2000).

BIBLIOGRAPHIE

- Sahli M.** 1988. Essais thermiques sur une molasse gréseuse. *Conférence Internationale « mesures et essais en Génie Civil »*. Lyon – Villeurbanne 13-16 sept., pp 391-399
- Sahli M.** 1990. Essais quasi statiques et différés sur un grès. *Annales de l'ITBTP*, n° 482, Série Sols et Fondations 207, pp 1-11
- Sahli M.** 1990. Vitesse de déformation et essais quasi statiques. *Revue française de Géotechnique*. n° 51, pp 69-73
- Lemaitre J., Chaboche J.-L.** 1996. Mécanique des matériaux solides. Dunod
- Pellet F, Sahli M, Boidy E, Boulon M.** 2000. Modelling of time-dependent behavior of sandstones for deep underground openings. *International Symposium on Civil Engineering in the 21st Century*, Beijing, China
- Sahli M, Pellet F, Boidy E, Fabre G.** 2001. Modeling of viscous behavior of rocks for deep tunnels. *ISRM regional symposium, Eurock june 2001*

1	InTroduction.....	1
2	Roche testée	1
2.1	Paramètres d'identification de la roche:	1
2.2	Contrôle de la teneur en eau :.....	1
2.3	Contrôle de la température :.....	2
2.4	Mesure des déformations :.....	2
2.5	Chemins de fluage et relaxation.....	2
3	Courbes de relaxation.....	2
3.1	Essais de relaxation uniaxiale	2
3.2	Essais de relaxation triaxiale	3
4	Ajustement des courbes	3
5	Conclusion	5