

IDENTIFICATION DU COMPORTEMENT MONOTONE DU SEL



Fig.1 : Epreuve en sel



Fig.2 : Montage utilisé

La rhéologie du sel gemme est intéressante à plus d'un titre.

- Parfois un gisement pétrolier (pétrole dans une roche poreuse) est situé juste au dessus d'une couche saline : les déformations de la roche poreuse contenant le pétrole et consécutives au sous-tirage du pétrole peuvent être amplifiées par les déformations différées de la couche saline et avoir des répercussions importantes en termes d'affaissement de surface à l'aplomb du gisement (exemple : gisement 'Off Shore' en mer du Nord). *bullet* Les roches salines (sel gemme NaCl, potasse KCl ...) ont toujours été exploitées non seulement pour la cuisine, mais aussi pour la chimie... Cette exploitation se fait de plus en plus par lessivage (on envoie de l'eau et on récupère de la saumure) en créant ainsi de grands vides (une cavité = 4 Millions de m³) à des grandes profondeurs (jusqu'à 800 m) pour lesquels on doit se préoccuper du devenir à long terme (abandon de l'exploitation)
- Les couches salines sont relativement imperméables même au gaz d'où l'idée de créer par lessivage des cavités (jusqu'à 2 Mm³ par cavité) profondes (jusqu'à 3000 m) pour y stocker des produits pétroliers. L'évolution dans le temps des vides souterrains ainsi créés dans les couches salines est pertinent tant en termes de déformations qu'en termes de stabilité.

Une éprouvette cylindrique (Fig. 1) est mise dans une cellule en acier (Fig. 2) pour y être soumise à deux pressions : une pression axiale communiquée

par un piston en acier et une pression latérale (confinement) exercée par de l'huile à travers une membrane souple qui transmet l'action mécanique tout en protégeant l'éprouvette contre le contact direct avec le fluide. Les deux pressions sont appliquées progressivement en étant égales (phase de mise en charge isotrope) ensuite le confinement étant maintenu constant on augmente quasi-instantanément la pression axiale (créant ainsi un déviateur de contrainte). Ce nouvel état de contrainte est maintenu constant (palier de fluage) mais l'on modifie instantanément la pression axiale pour réaliser un nouveau palier de fluage et ainsi de suite.

Le modèle que l'on se propose d'identifier est un modèle viscoplastique sans seuil, dans lequel l'écrouissage dépend de la déformation cumulée. Il utilise le critère de von Mises, qui introduit le second invariant du déviateur $J(\underline{\sigma}) = (3/2)\underline{s} : \underline{s})^{1/2}$ et s'écrit donc en tridimensionnel :

$$\underline{\dot{\varepsilon}}^p = \dot{p} \underline{n}$$

où \underline{n} représente le gradient de la fonction $f(\underline{\sigma}) = J(\underline{\sigma})$. Sous chargement uniaxial, la variable p , déformation viscoplastique cumulée, est égale à la composante de la déformation viscoplastique dans la direction de traction, et le modèle s'écrit simplement :

$$\dot{\varepsilon}^p = \left(\frac{\sigma}{K} \right)^n (\varepsilon^p + v_o)^m$$

Il y a quatre paramètres matériau dans le modèle, K et n qui caractérisent la viscosité, v_o et m qui caractérisent l'écrouissage. On observe que, si v_o est «grand», la variation de la déformation plastique au cours de l'essai peut être faible devant lui, si bien que le modèle revient à un modèle de Norton (le terme en $(\varepsilon^p + v_o)$ varie peu). Si v_o est nul, il y a une vitesse infinie au départ de la déformation (le paramètre m est négatif), puis un fort écrouissage au cours de la déformation ; c'est le modèle de Lemaitre. En fluage, l'équation différentielle s'intègre pour donner :

$$\varepsilon^p = \left(v_o^{1-m} + (1-m) \left(\frac{\sigma}{K} \right)^m t \right)^{1/(m-1)} - v_o$$

Pour v_o nul, on obtient la forme classique :

$$\varepsilon^p = A t^\alpha \sigma^\beta \quad \text{avec} \quad \alpha = \frac{1}{1-m} \quad \beta = \frac{n}{1-m}$$

Le tableau ci-dessous montre la mise en donnée utilisée pour l'intégration numérique. Le chargement comporte trois périodes, pour lesquelles le déviateur

vaut respectivement 3, 6 puis 9 MPa. On traite le problème comme un problème de traction simple, en prenant le déviateur équivalent.

*Chargement de l'essai
de fluage à 1150 MPa*

```
***simulate
***test salt
**load
*segment 20
time      sig11
  0.      0.
0.00001  3.000
1.126    3.000
1.12601  6.000
2.338    6.000
2.33801  9.000
3.545    9.000
**model  *file salt.mat
**output time sig11 etoll
***return
```

*Fichier définissant un
matériau élasto-viscoplastique*

```
***behavior gen_evp
**elasticity isotropic
young 100000. poisson 0.3
**potential gen_evp ev
*criterion mises
*flow strain_hardening
K      1400.
n       9.
m      -13.
v_0    0.003
***return
```

[Accès à la feuille de calcul](#)