

# PROJET DE THESE D'EURO-GEOMAT-CONSULTING

## MISE EN ŒUVRE D'UN MATERIAU A BASE D'ARGILITE REMANIEE POUR UNE UTILISATION DANS LE REMBLAYAGE DES GALERIES ET DES Puits DES OUVRAGES SOUTERRAINS DE STOCKAGE DES DECHETS RADIOACTIFS

### I INTRODUCTION

Cette étude s'affiche comme une continuité de l'action du premier Groupement de Laboratoires (GL) entre le CERMES, LAEGO, CEA et EGC comme coordinateur du projet concernant l'utilisation des argilites remaniées pour les remblais des galeries. Le premier GL était focalisé sur l'emploi des argilites remaniées pour les noyaux de scellement de galerie de puits et des têtes d'alvéoles des ouvrages souterrains de stockage des déchets radioactifs (cf rapport final 22 mars 2009). L'appel à projets des thèses de doctorat nous fournit l'occasion de proposer cette action qui concerne les remblais des galeries dans la même optique que celle réalisée sur les noyaux ou les scellements.

### II LE CAHIER DES CHARGES PROPOSE POUR CE PROJET

#### II.1 MISE EN PLACE DES REMBLAIS DANS LES GALERIES

Les remblais seront mis en place par compactage à l'optimum Proctor et posséderont un vide aux voutes des galeries (de 1 cm sur 2/8 du périmètre d'une galerie de 6 m de diamètre) caractérisant la faiblesse du compactage en partie haute du remblai.

#### II.2 ETUDE DE LA VARIABILITE DES PROPRIETES DE GONFLEMENT DES POUDRES D'ARGILITE

La variabilité spatiale des propriétés de gonflement des différents lots d'argilite excavée sera examinée par des essais de gonflement libre sur des poudres d'échantillons d'argilite. On reprendra le dispositif mis en œuvre dans le GL 2009. Ainsi les échantillons compactés de poudre d'argilite seront tamisés à 300  $\mu\text{m}$  avec une densité sèche de 2  $\text{g}/\text{cm}^3$  et saturés avec de l'eau déminéralisée.

Le dispositif expérimental se compose de deux paires de seringues: l'une reçoit la poudre d'argilite (densité sèche égale à 1,1  $\text{g}/\text{cm}^3$ ) et l'autre reçoit le fluide correspondant à l'eau de site. La déformation de la poudre (gonflement ou tassement) est obtenue à partir de la mesure des déplacements d'un piston en téflon coulissant dans le corps de la seringue.

#### II.3 ETUDE DE L'INFLUENCE DE LA GRANULOMETRIE SUR L'OPTIMUM PROCTOR

Rappelons que le facteur le plus important affectant la pression de gonflement des minéraux gonflants est le degré de surconsolidation (l'OCR) à travers la densité sèche.

##### II.3.1 L'aptitude au compactage

Trois granulométries de l'argilite devront être testées : l'une grossière avec élimination des plus gros blocs, tamisée avec une maille de 45 mm (TG), la deuxième sera tamisée avec des mailles de 30 mm (T30) et la troisième plus fine tamisée avec une maille de 15 mm (T15). Des essais œdométriques sont proposés dans une première partie sur des poudres d'argilite dans les œdomètres de diamètre 40 mm et dans une deuxième partie dans la maquette PHEBUS de diamètre 350 mm sur une argilite dont la granulométrie est voisine de celle réalisée in situ. Ces essais permettront de sélectionner le matériau le mieux adapté au compactage.

A partir de ce matériau sélectionné une série d'essais Proctor seront réalisés pour valider le matériau de remblai sélectionné et permettront d'établir la pression de compactage et la teneur en eau initiale pour réaliser des échantillons sur des chemins œdométriques pour les essais hydro-mécaniques.

#### II.4 EVALUATION DES PROPRIETES HYDROMECANIQUES ET HYDRODYNAMIQUES SUR DES POUDRES D'ARGILITE

L'étude des propriétés hydromécaniques et hydrodynamiques de l'argilite mise en place dans les galeries, possédera vraisemblablement de gros éléments et nécessitera d'utiliser des appareillages de grandes dimensions. EGC propose pour ce projet une démarche en deux étapes : La première étape la plus simple fera appel à une granulométrie fine de l'argilite permettant ainsi d'utiliser les appareillages mis en œuvre pour les argilites fortement compactées des ouvrages de fermeture GL 2009. La deuxième étape fera appel à la cellule PHEBUS de diamètre de 350 mm dans sa version œdomètre et perméamètre avec une granulométrie de l'argilite voisine à celle mise en place dans les galeries.

## II.4.1 Les essais sur les poudres d'argilite correspondant à la densité sèche et à la teneur en eau de l'optimum Proctor

### II.4.1.1 Le dispositif expérimental des essais d'imbibition à contrainte verticale constante

Le compactage de l'échantillon est assuré par un piston lié à une pompe hydraulique qui peut atteindre une valeur maximale de la pression de 60 MPa (figure 1). La pression hydraulique de chargement est déterminée par un capteur de pression Entran.

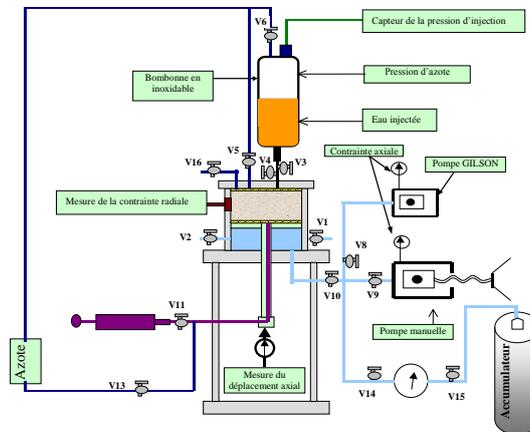


Figure 1 : Schéma du dispositif œdométrique développé

Le système de chargement hydraulique par des pompes ne permet pas de garantir une bonne stabilité de la contrainte axiale notamment dans le domaine dilatatant de l'échantillon. Ainsi, après la phase de consolidation des échantillons, l'application de la pression hydraulique est réalisée par un accumulateur Oaler permettant de garantir une très bonne stabilité de la pression hydraulique. Le dispositif d'injection du fluide pour la saturation des échantillons est constitué d'un réservoir cylindrique en acier inoxydable appelé bombe d'injection comportant dans sa partie supérieure un fluide inerte, l'argon. Dans la partie inférieure de la bombe, une sortie, comprenant deux vannes, permet de la relier au chapeau de l'œdomètre et de l'isoler pour mesurer l'évolution du poids du fluide injecté. La partie supérieure est équipée d'un capteur de pression Entran et d'une vanne de remplissage du fluide interne. La pesée périodique de la bonbonne permet de déterminer la perméabilité à saturation, en fonction de la nature chimique du fluide percolé.

### II.4.1.2 Evaluation du potentiel de gonflement de l'argilite remaniée seule saturée avec trois chimies des fluides de saturation

Le potentiel de gonflement des poudres d'argilite sera déterminé à l'appareil œdométrique en réalisant un chemin de chargement avec une teneur en eau et une densité sèche correspondant à l'optimum Proctor, suivi d'une saturation sous contrainte verticale constante (figure 2). Après la phase de saturation une décharge est réalisée. La saturation des échantillons est réalisée à contrainte constante associée à la mesure des déformations volumiques et avec trois types de chimies des fluides de saturation : eau déminéralisée, eau reconstituée du site et eau cimentaire (Ecoclay). La construction des courbes aux états non saturé AB et saturé CD permettent de déterminer les potentiels de gonflement en fonction de la chimie du fluide de saturation.

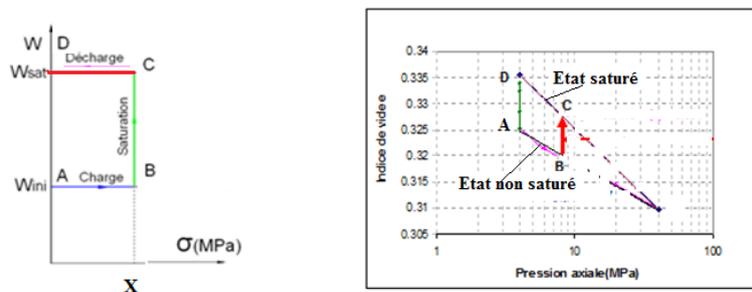


Figure 2 : Evaluation du potentiel de gonflement de l'argilite remaniée saturée avec trois types de chimies des fluides de saturation

#### **II.4.1.3 Evaluation des perméabilités de l'argilite remaniée en relation avec les trois chimies des fluides de saturation**

La perméabilité à saturation est obtenue sous la contrainte correspondant à l'optimum Proctor. La saturation est effectuée par les bombes d'injection placées sur la tête de l'œdomètre et contenant l'un des trois fluides sélectionnés. Après saturation complète de l'échantillon trois tests de perméabilités sont réalisés. Dans le cas du fluide cimentaire, le contrôle du pH sera réalisé à intervalles réguliers. Par ailleurs la composition du fluide de sortie ayant percolé à travers l'argilite contenu dans les seringues sera analysée par un laboratoire partenaire (BRGM, CEA).

### **II.5 DOPAGE DES POTENTIELS DE GONFLEMENT DES POUDRES D'ARGILITES PAR ADDITION DE LA POUDRE DE BENTONITE MX80**

Dans l'hypothèse où les potentiels de gonflement des argilites remaniées et compactées correspondant à l'optimum Proctor avec un vide résiduel (dû à un plus faible compactage du remblai en partie haute) sont trop faibles pour assurer une bonne fermeture il sera nécessaire de doper ces potentiels. Ce dopage comme pour les argilites remaniées du GL1 2009 est réalisé par l'utilisation de la bentonite.

#### **II.5.1 Les essais hydromécaniques et hydrodynamiques des mélanges de poudre d'argilite et de poudre bentonite MX80**

Quatre pourcentages de poids de poudre de bentonite MX80 par rapport au poids de l'argilite remaniée sont proposés: 1%, 3%, 6% et 12%. Le chemin hydromécanique imposé à ces mélanges sera le même que pour l'argilite seule. Ces chemins de chargement permettent de définir les potentiels de gonflement relatif à chaque pourcentage de poudre de bentonite. Ces potentiels de gonflement sont définis par les courbes entre les états non saturés et saturés. A la fin des phases de saturation trois essais de perméabilité seront réalisés.

### **II.6 EVALUATION DES PROPRIETES HYDROMECHANIQUES ET HYDRODYNAMIQUES SUR L'ARGILITE AVEC UNE GRANULOMETRIE VOISINE DE CELLE IN SITU AVEC OU SANS AJOUT DE BENTONITE**

Les essais réalisés dans la maquette PHEBUS ont pour objet de valider à l'échelle de la granulométrie du matériau mis en place dans les galeries, la formulation retenue par les essais dans les appareils de petites dimensions. Dans le cas d'un dopage des propriétés de gonflement mis en évidence dans l'étude précédente, des pellets de bentonite du projet FFS de diamètre 32 mm seront sélectionnées au profit des poudres de bentonite pour limiter le malaxage de l'argilite avec la poudre de bentonite.

#### **II.6.1 Le dispositif expérimental des essais d'imbibition à contrainte verticale constante dans la maquette PHEBUS (cf rapports sur les matériaux de bourrage)**

Contrairement pour les poudres d'argilite fortement compactées le matériau remblai possédant de plus gros éléments nécessite de substituer l'œdomètre de diamètre 40 mm par un œdomètre de grande dimension : la maquette Phebus (figure 3). Elle est constituée d'un cylindre en bronze de diamètre intérieur 350 mm et de hauteur 390. A l'intérieur du cylindre coulisse un piston de hauteur 180 mm avec une tige de 50 mm laissant un volume d'essai de hauteur 210 mm pour un diamètre de 350 mm.

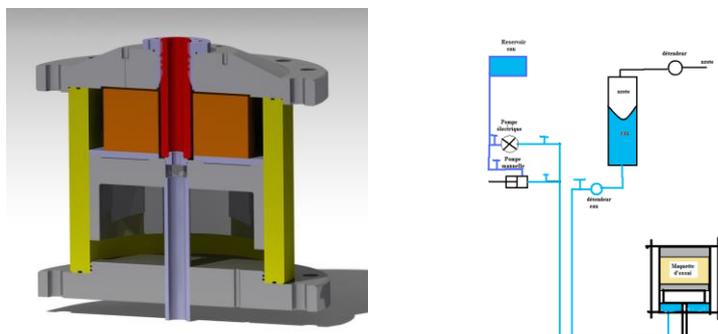


Figure 3 : Vue schématique de la maquette Phebus avec son système de chargement

Les mesures du déplacement résultant du chargement sont réalisées par mesure électrique via un capteur LVDT. La maquette Phebus est aménagée pour permettre les mesures des contraintes radiales. La figure 3 présente le dispositif de chargement mécanique permettant de réaliser le chargement mécanique. Le

chargement mécanique sera réalisé par paliers. Le passage d'un palier de chargement à un autre s'effectuera après stabilisation des déplacements (Courbe CV).

### **II.6.2 Validation du potentiel de gonflement du matériau sélectionné dans la première étape**

Le potentiel de gonflement sera déterminé à l'appareil PHEBUS en réalisant la même démarche que pour les petits œdomètres à savoir : un chemin de chargement à l'état non saturé à la densité sélectionnée correspondant à une pression de compactage, suivi d'une saturation sous contrainte verticale constante. Après la phase de saturation une décharge est réalisée. La saturation des échantillons est réalisée à contrainte constante associée à la mesure des déformations volumiques et avec trois types de chimies des fluides de saturation : eau déminéralisée, eau reconstituée du site et eau cimentaire (Ecoclay). La construction des courbes aux états non saturé AB et saturé CD permettent de déterminer les potentiels de gonflement en fonction de la chimie du fluide de saturation.

### **II.6.3 Validation des perméabilités du matériau sélectionné dans la première étape**

La perméabilité à saturation est obtenue sous la contrainte correspondant à l'optimum Proctor. La saturation est effectuée par les bombes d'injection placées sur la tête de l'œdomètre et contenant l'un des trois fluides sélectionnés. Après saturation complète de l'échantillon trois essais de perméabilités sont réalisés.

## **II.7 CONSTRUCTION DES ABAQUES DES PRESSIONS DE GONFLEMENT DU MATERIAU SELECTIONNE EN FONCTION DU VOLUME DES VIDES ET DU POURCENTAGE EN POIDS DE PELLETS**

A partir des résultats expérimentaux, des abaques peuvent être construits sur le même principe que celles réalisées pour le GL 2009. La figure 4 illustre la forme d'abaque proposée.

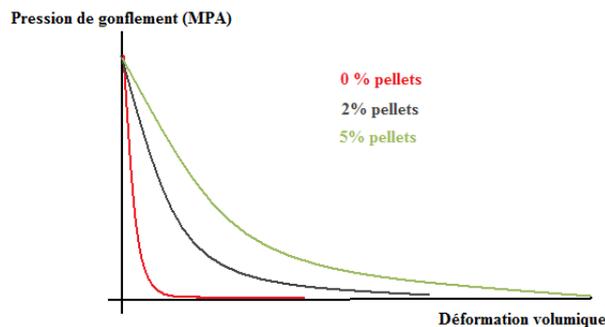


Figure 4 : Abaque de la pression de gonflement en fonction de la déformation volumique et du pourcentage en poids des pellets.