

Caractérisation physico-chimique et mécanique des argiles de la région d'Adrar et de Timimoun en vue d'une utilisation dans les centres de stockages des déchets

BELAIDI Khedidja^{#1}, MEKERTA Belkacem^{*2}, ALLAL Mohamed Amine^{#3}

^{#1} Enseignant Chercheur, Département science de la technologie, Université Ahmed Draia Route N6-01000, Adrar, Algérie

^{#3} Professeur Chercheur, Département de génie civil, Université Aboubekr Belkaid Faculté de Technologie, B.P N°230 Pole Chetouane-13000, Tlemcen, Algérie

¹khadidja.univ@yahoo.fr

³aminallal@yahoo.fr

^{*2} Professeur Chercheur, Université Ahmed Draia Route N6-01000, Adrar, Algérie

²mekertab@yahoo.fr

Résumé— Nos travaux de recherche ont pour but d'étudier expérimentalement les argiles compactées saturées utilisées dans la construction de la barrière passive du Centre de Stockage des Déchets (CSD). Le choix du matériau utilisé pour la construction de la barrière passive est une argile qui provient de deux gisements différents, à savoir celui d'Adrar et de Timimoun. Dans la première partie, on s'intéresse à la connaissance des différentes caractéristiques physiques, chimiques et mécaniques de ces argiles. La seconde étape de cette étude, nous a conduit à traiter les essais œdométriques qui permettront de trouver les paramètres de gonflement (taux et pression de gonflement). On a poursuivi nos travaux de recherche dans la détermination du coefficient de perméabilité par les deux méthodes de Casagrande et Taylor.

Mots-clés — Argiles d'Adrar, centre de stockage des déchets, barrière passive, paramètres de gonflement, perméabilité.

I. INTRODUCTION

La croissance de la population dans les zones urbaines et les centres ruraux conduisent à la naissance de volumes de déchets de plus en plus importants. Le confinement des déchets dans les centres de stockage des déchets (C.S.D) est la méthode la plus couramment utilisée actuellement. Afin de préserver les eaux souterraines, les décharges sont construites sur une couche d'argile naturelle ou reconstituée de faible perméabilité, connue sous le nom de barrière de sécurité passive. Pour les déchets ménagères et assimilés, la plupart des réglementations en vigueur exigent une perméabilité maximum de 1×10^{-9} m/s.

La présente étude fixe son objectif principal dans la connaissance des différentes caractéristiques physiques, chimiques et mécaniques des argiles. De ces matériaux particuliers, on a réalisé des essais œdométriques qui ont permis de trouver les paramètres de gonflement et le coefficient de perméabilité K , qui est un paramètre fondamental au niveau du choix des CSD dans l'enfouissement des différents déchets (inertes ou dangereux).

II. QU'EST CE QU'UN CSD

Un centre de stockage des déchets comprend une surface de plusieurs dizaines d'hectares. Il est composé de casiers indépendants sur le plan hydraulique dans lesquelles sont confinés les déchets [1] (voir Figure 1).

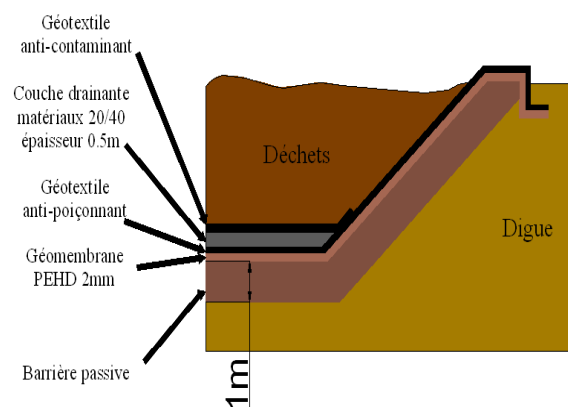


Fig. 1 Schéma type d'un CSD en Algérie [1]

La barrière de sécurité passive est destinée à garantir l'étanchéité des casiers en cas de défaillance de la barrière de sécurité active sous laquelle elle se trouve (voir Figure 2). La valeur de la perméabilité tourne autour de 10^{-9} m/s pour 1mètre d'épaisseur de la barrière passive [2].

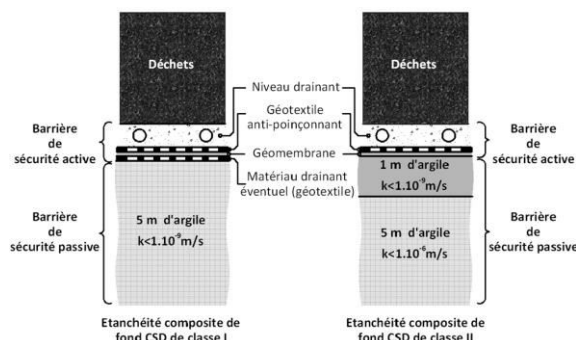
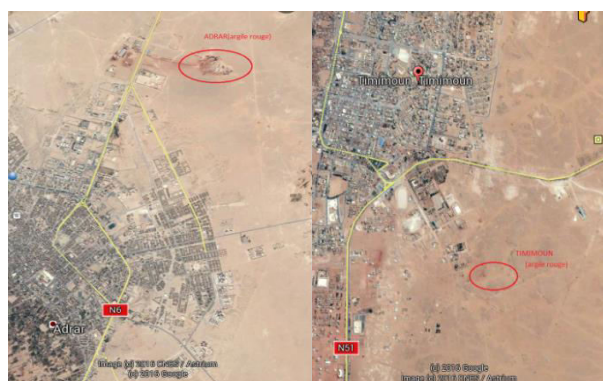


Fig. 2 Principe de l'étanchéité du fond de CSD selon la réglementation française, [2]

III. UTILISATION DES ARGILES LOCAUX DE LA WILAYA D'ADRAR

Dans nos travaux de recherche, nous allons caractériser deux types d'argile se trouvant à Adrar dans un rayon de 200Km. Le choix de ces gisements d'argiles est justifié par la proximité des CSD déjà construits (voir Figure 3), à savoir :

Le premier est proche du CSD déjà réalisé, il est utilisé pour les déchets ménagères (Timimoun), et le deuxième gisement sert à alimenter l'usine de briqueterie, il se trouve à Adrar Nord.



Localisation du site d'Adrar Localisation du site de Timimoun
 Fig. 3 Localisation des gisements étudiés

A. Caractérisation des sols de la région d'Adrar

Le tableau 1 résume l'ensemble des résultats des essais physico-chimiques et mécaniques réalisés sur les argiles étudiés. D'après l'abaque de plasticité de Casagrande et selon la classification L.C.P.C des sols fins, on a constaté que l'argile d'Adrar appartient à la catégorie des sols très plastiques, par contre l'argile de Timimoun est de consistance peu plastique.

D'après Skempton, l'activité d'une argile (A_c) est définie selon l'équation (1) :

$$A_c = I_p (\%) / \% \text{ des éléments } < 2 \mu\text{m} \quad (1)$$

Avec I_p : l'indice de plasticité

Le pourcentage de l'argile considéré est obtenu à partir des analyses granulométriques données dans le tableau 1. Suivant les résultats obtenus, on peut conclure que l'argile d'Adrar à une activité normale, par contre celui de Timimoun est peu actif.

TABLEAU I
 RECAPITULATIF DES RESULTATS DES ESSAIS PHYSICO-CHIMIQUES ET MECANIQUES SUR LES DEUX TYPES D'ARGILE

Propriétés des argiles	Type d'argile	Argile Adrar	Argile Timimoun
Analyses Physiques	Pourcentage des éléments < $2 \mu\text{m}$ (%)	46	36
	Limite de liquidité (%)	79	36
	Limite de plasticité (%)	36,74	11,4
	Indice de plasticité (%)	42,26	24,6
	Limite de retrait (%)	12,9	11,8
	Le coefficient d'activité A_c	0,92	0,68
Analyses Chimiques	VBS	8,2	5,33
	SST (m^2/g)	171,62	111,55
	CaCO_3 (%)	3,59	12,08
Analyses Mécanique	$\gamma_{d\text{max}}$ (kN/m^3)	17,7	19,9
	Teneur en eau optimale w_{opt} (%)	20,86	10,53
	Indice des vides e_0	0,637	0,372
	Pression de gonflement P_g (bars)	12,50	7,64
	Gonflement libre G (%)	39,05	20,10

L'analyse des résultats chimiques nous a conduit à constater et confirmer que suivant la valeur de bleu, on est en de sols argileux. D'après les résultats obtenus lors des essais de la teneur en carbonate de calcium CaCO_3 [3], nous remarquons que l'argile d'Adrar est un sol non calcaire et l'argile de Timimoun appartient à la classe des sols faiblement calcaire.

Les résultats du Proctor modifié montrent que l'argile de Timimoun a une valeur de $\gamma_{d\text{max}}$ plus élevée que l'argile d'Adrar, contrairement à la teneur en eau optimal. L'argile d'Adrar demande une quantité plus élevée d'eau à cause du pourcentage des particules fines (% éléments < $2 \mu\text{m} = 46\%$).

IV. ESSAIS OEDOMETRIQUES

A. Mesure du potentiel de gonflement

Les argiles gonflantes ont des caractéristiques physiques typiques permettant de connaître leurs potentiels de gonflement [4]. Le but de cette analyse est de déterminer les paramètres de gonflement (gonflement libre et pression de gonflement) des deux argiles sur des échantillons obtenus par compactage statique aux caractéristiques de l'optimum Proctor. Les essais ont été réalisés sur un oedomètre classique, l'échantillon est placé dans une cellule cylindrique entre deux pierres poreuses. Puis suite à l'inondation, on laisse le

gonflement se réaliser verticalement sous la pression du piston durant plusieurs jours jusqu'à la stabilisation [5]. L'argile d'Adrar a demandé 9 jours de stabilisation, par contre l'argile de Timimoun a été stabilisé au 6^{ème} jour. La variation relative du volume de l'échantillon est notée G (%).

D'après le tableau 1, la pression de gonflement de l'argile d'Adrar à une valeur importante, elle est de l'ordre de 12.5 bars, par contre l'argile de Timimoun présente une pression de gonflement moyennement faible.

La pression de gonflement trouvée est celle qui ramène le sol à son volume initial après son gonflement. La valeur de la charge finale lorsque l'échantillon est stabilisé est la pression de gonflement [4]. En ce qui concerne le gonflement libre, la figure 4 montre l'évolution du gonflement libre en fonction du temps pour les deux sols. On constate qu'au début de l'inondation, les sols gonflent d'une manière similaire en fonction du temps, mais par la suite l'argile d'Adrar présente un taux de gonflement plus important de l'ordre 39.05%.

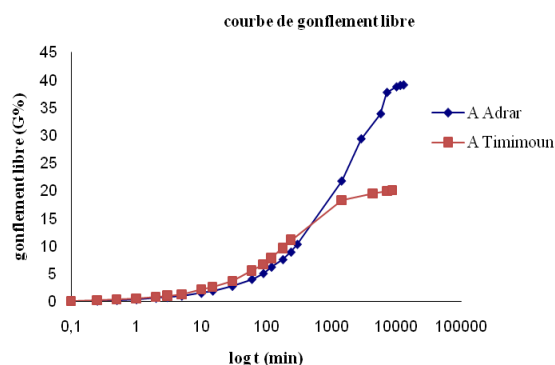


Fig. 4 Evolution du gonflement libre en fonction du temps des deux argiles

B. Mesure indirecte de la perméabilité

L'essai œdométrique permet d'évaluer le tassement et le gonflement du matériau au cours du temps, il permet également de classer les sols vis-à-vis de leur compressibilité.

On peut estimer la valeur de la perméabilité k_{sat} en fonction des paramètres de compressibilité et de consolidation selon l'équation suivante (2) :

$$k_{sat} = C_v \cdot \gamma_w / E' \quad (2)$$

avec : C_v : coefficient de consolidation
 E' : module oedométrique
 γ_w : poids volumique de l'eau

Le coefficient de consolidation C_v se calcule en utilisant les méthodes graphiques de Casagrande et Taylor. On remarque que pour les mêmes données, ces méthodes graphiques donnent des valeurs différentes de C_v [6].

C. Mesure du coefficient de consolidation C_v

Le coefficient de consolidation C_v est un paramètre très important pour l'estimation de la conductivité hydraulique, il est fonction de la hauteur de l'échantillon H en cours d'essai et du temps de consolidation t_{90} (méthode de Taylor) ou t_{50} (méthode de Casagrande), selon les équations (3) et (4) :

$$\text{méthode de Taylor : } C_v = (0,848 \times H^2) / (4 \times t_{90}) \quad (3)$$

$$\text{méthode Casagrande : } C_v = (0,197 \times H^2) / t_{50} \quad (4)$$

Les résultats des valeurs des coefficients de consolidation des deux argiles sont regroupés dans le tableau 2 ci-dessous. Les valeurs des coefficients de consolidation C_v obtenues par la méthode de Casagrande sont supérieures à celles obtenues par la méthode de Taylor. On remarque aussi que l'argile de Timimoun donne une valeur de C_v plus élevée comparée à l'argile d'Adrar, cela explique que l'argile d'Adrar est une argile proche des sols très fins.

TABLEAU II
 RESULTATS DES COEFFICIENTS DE CONSOLIDATION ET DE PERMEABILITE SUR LES DEUX TYPES D'ARGILES

Type de méthode	Type d'argile	Argile Adrar	Argile Timimoun
Méthode de Taylor	coefficient de consolidation C_v (cm ² /s)	0,085.10 ⁻³	0,444.10 ⁻³
	perméabilité k (m/s)	2,03.10 ⁻¹⁰	5,27.10 ⁻¹⁰
Méthode de Casagrande	coefficient de consolidation C_v (cm ² /s)	0,171.10 ⁻³	0,501. 10 ⁻³
	perméabilité k (m/s)	4,10.10 ⁻¹⁰	5,94.10 ⁻⁹

D. Variation de la conductivité hydraulique K

On remarque que la conductivité hydraulique de l'argile d'Adrar déterminée par la méthode de Casagrande est inférieure à celle de l'argile de Timimoun. Par contre, les valeurs de la perméabilité des deux argiles obtenues par la méthode de Taylor sont presque proches. Comme première proposition dans notre cas, l'argile à prendre en considération pour la suite de nos travaux de recherche est celle d'Adrar. Cependant, on peut poursuivre nos travaux de recherche par la diminution du gonflement par ajout de la chaux à différents pourcentages et de mesurer par la suite l'évolution de la conductivité hydraulique.

V. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Dans cette étude, nous avons réalisé un travail expérimental permettant la caractérisation physico-chimique et mécanique des matériaux argileux nommés « argiles d'Adrar et de Timimoun ». Cette étude a pour objectif principal l'évaluation de la possibilité d'exploitation d'un matériau argileux comme barrière de sécurité passive pour les C.S.D, en vérifiant l'argilosité et la perméabilité.

Le premier critère qui est la granulométrie montre que l'argile d'Adrar est la plus favorable, puisqu'elle a une teneur en argile de 46%, ce qui assure une bonne perméabilité. L'analyse des résultats chimiques nous a confirmé que suivant la valeur de bleu, nos sols sont fins et que l'argile d'Adrar est un sol très argileux, par contre l'argile de Timimoun est un sol argileux. D'après les résultats obtenus lors des essais de la teneur en carbonate de calcium CaCO₃, nous constatons que l'argile d'Adrar est un sol non calcaire et l'argile de Timimoun appartient à la classe des sols faiblement calcaire.

La capacité de gonflement joue un rôle important dans l'étanchéité de l'argile. Suivant aussi les résultats des limites d'Atterberg, on peut conclure que l'argile d'Adrar est très gonflante (référence).

Pour le gonflement libre, on constate qu'au début de l'inondation de l'argile, les sols gonflent d'une manière similaire. On remarque que l'argile d'Adrar présente un taux de gonflement important estimé à 39.05%. La pression de gonflement de l'argile d'Adrar est élevée, elle est de l'ordre de 12.5 bars, par contre l'argile de Timimoun présente une pression de gonflement moyennement faible (7,64 bars).

La conductivité hydraulique a été calculée indirectement par les essais œdométriques par les méthodes de Casagrande et Taylor. Les résultats montrent que l'argile d'Adrar est relativement imperméable par rapport à l'argile de Timimoun. Les deux sols argileux pourront être utilisés comme barrière passive pour le stockage des déchets ménagers et spéciaux en moyennant quelques précautions supplémentaires liées à la disposition des différentes couches d'un CSD [6].

Comme perspectives des travaux de recherche, il reste à confirmer le choix de l'argile par rapport aux valeurs du

coefficient de perméabilité, après traitement aux mélanges à la chaux 2, 4 et 6%, dans le but du stockage des déchets dangereux et toxiques au niveau de la wilaya d'Adrar (Direction de l'environnement de la wilaya d'Adrar).

REFERENCES

- [1] MC. Rahmani, Durabilité des fondations d'un centre de stockage de déchets vis-à-vis des sollicitations de service. Mémoire de magister, Ecole Nationale Polytechnique d'Oran, 111 pages, 2014.
- [2] CARTAUD F., 2004. Modélisation des écoulements dans les interfaces des barrières d'étanchéité composites d'installations de stockage de déchets. Thèse Doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris. France.
- [3] (2018)Web-1:http://www.lano.asso.fr/web/potentiel_dhydrogene.html Calcaire total et calcaire actif. LANO - Laboratoire Agronomique Normand - pH (Potentiel hydrogène).
- [4] MK. Gueddouda, I. Goual, M. Lamara. et MS. Goual, Comportement mécanique d'un sol expansif stabilisé par ajout de sable de dune. Revue des Sciences et Sciences de l'Ingénieur, ISSN2170-073. RSSI, Vol.02, No.01, p16-26, Décembre 2012.
- [5] Z. Amraoui, Etude de l'infiltration dans les sols fins non saturé. Thèse de Doctorat de l'INPL , 325 p, 1996 .
- [6] M K. Gueddouda, Comportement hydromécanique des sols compactés: Application à la conception d'une barrière ouvragée "sable de dune-bentonite". Thèse de Doctorat, Tlemcen, 116 pages, 24 janvier 2011.