

INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING



This paper was downloaded from the Online Library of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). The library is available here:

<https://www.issmge.org/publications/online-library>

This is an open-access database that archives thousands of papers published under the Auspices of the ISSMGE and maintained by the Innovation and Development Committee of ISSMGE.

A laboratory comparison of the effects of water and waste leachate on the performance of soil liners

Comparaison au laboratoire de l'effet de l'eau et du lixiviat de décharge sur les qualités des barrières étanches

A.S.Ourth – *Faculté Agronomique de Gembloux, Belgium*
J.C.Verbrugge – *Université Libre de Bruxelles, Belgium*

ABSTRACT: Liner system regulation for municipal solid waste landfill provides minimum design requirement to ensure that landfills are protective of the environment. Compacted clay liners are widely used for waste containment facilities because of their low cost, low permeability and resistance to damage and puncture. However, if mechanical behaviour of clay in contact with water is rather well known, little knowledge is available about properties of clay permeated with waste leachate. The aim of this study is to compare geomechanical properties of clay wet by water with that of clay wet by leachate. Various tests are lead in the laboratory with and without leachate to study the way that clay properties are influenced by leachate.

RÉSUMÉ: Les décharges modernes sont conçues et construites de manière à réduire leur impact sur l'environnement. Dans ce but, les barrières en argile sont largement utilisées en raison de leur faible coût, de leur bonne imperméabilité et de leur résistance à l'usure et à la perforation. Cependant, si les propriétés mécaniques de l'argile au contact de l'eau sont assez bien connues, les connaissances sont rares en ce qui concerne les propriétés de l'argile à travers laquelle du lixiviat de décharge a percolé. Le but de cette étude est de comparer les propriétés géomécaniques de l'argile mouillée à l'eau avec de l'argile mouillée par du lixiviat. Différents tests ont été menés au laboratoire avec ou sans lixiviat pour étudier la manière dont le lixiviat influence l'argile.

1 INTRODUCTION

De manière générale, la littérature fournit un vaste éventail d'informations en ce qui concerne le comportement des argiles en présence d'eau et même de différents électrolytes en solution. Il n'en est pas de même en ce qui concerne la présence de substances organiques complexes comme les lixiviats de décharge. C'est pourquoi il est intéressant d'étudier l'influence qu'ils peuvent avoir sur les propriétés mécaniques de l'argile. En effet, dans l'hypothèse où l'argile serait fortement influencée par le lixiviat, ses nouvelles caractéristiques devraient impérativement être prises en compte dans le dimensionnement des barrières étanches des centres d'enfouissement technique.

L'objectif de la recherche en cours est de comparer le comportement de l'argile en présence d'eau et en présence de lixiviat de décharge. L'expérimentation consiste essentiellement à réaliser des essais classiques de mécanique des sols (essais de compressibilité, essais de perméabilité, essais triaxiaux, détermination des limites d'Atterberg...) avec un matériau préparé d'une part à l'eau distillée et d'autre part après un contact prolongé en présence de lixiviat.

Dans un premier temps, la recherche se concentre sur une seule argile et un seul lixiviat. L'argile choisie provient d'un gisement belge correspondant à un horizon géologique bien connu en Belgique (argile de Boom). Le matériau séché à l'air libre et réduit en poudre est utilisé pur, sans addition de sable. Le lixiviat est un mélange de trois lixiviats issus de cellules de différents âges d'un centre d'enfouissement technique d'ordures ménagères et assimilées situé à la périphérie de Bruxelles.

Après une première série d'essais réalisés sur la poudre d'argile imbibée d'eau ou de lixiviat, d'autres sont en cours sur l'argile macérée dans le liquide pendant plusieurs mois, à l'abri de l'air et de la lumière pour inhiber la fermentation des matières organiques présentes naturellement dans le polluant.

La pression osmotique du lixiviat lui-même, ainsi que la courbe de succion de l'argile préparée soit avec de l'eau soit avec du lixiviat (sans macération) ont été mesurées à l'aide d'un psychromètre WESCOR à effet Peltier. La pression osmotique du lixiviat est d'environ -4.5 bars. Cette valeur se retrouve sur les

deux courbes de rétention (argile + eau et argile + lixiviat) qui sont décalées l'une par rapport à l'autre de 4 à 5 bars.

Des essais oedométriques ont été réalisés à température ambiante et à une température proche de 60°. Ce dernier cas simule la réalité terrain dans la mesure où la fermentation naturelle de déchet se produit aux environs de cette température. On observe une certaine dispersion dans les résultats liée non seulement au mode de préparation des échantillons, mais aussi au type d'essai lui-même. Cette variabilité de la réponse ne permet pas de conclure à une différence de comportement entre d'une part les essais à température ambiante et ceux à 60°C et d'autre part entre ceux réalisés avec les différents liquides. De nouveaux essais sont prévus en vue d'affiner ces résultats.

Des essais de perméabilité ont été menés dans des dispositifs à paroi rigide pendant un mois. A ce stade de l'essai, on ne constatait pas d'évolution dans les valeurs de perméabilité. Les perméabilités initiales observées pour les échantillons préparés à l'eau avoisinent 5E-10 m/s, les valeurs pour les échantillons préparés avec de l'argile macérée et filtrée sont de l'ordre de 1,5E-10 m/s. Ces différences ne sont guère significatives, mais il pourrait être intéressant d'en comprendre la source, l'étude en cours devrait apporter des réponses à ce sujet.

2 MATERIEL D'ESSAI : LIXIVIAT ET ARGILE

L'argile utilisée pour cette étude est de l'argile de Boom, provenant d'un gisement connu en Belgique. Le lixiviat a été prélevé sur une décharge belge. Il s'agit d'un mélange de liquide provenant de plusieurs cellules d'âges différents. Le mélange est donc un lixiviat 'moyen'.

Vu que le lixiviat évolue naturellement, du fait de la matière organique et des micro-organismes qu'il contient, il faut trouver un moyen de conservation pour préserver sa composition. Dans ce cas, la congélation a été retenue pour le volume nécessaire à l'ensemble des essais, soit 1m³.

Pour étudier les modifications de comportement de l'argile en présence de lixiviat, le programme prévoit plusieurs tests à réaliser sur de l'argile restée en contact plusieurs mois avec le lixiviat. Cette 'macération' et la description du dispositif dans lequel

elle se passe ont déjà été décrit par les auteurs (Ourth & Verbrugge, 1999a,b). On peut toutefois résumer la procédure de la manière suivante. Une dose d'argile en poudre est mélangée avec 5 fois son poids de lixiviat, celui-ci ayant été préalablement désaéré. Le récipient contenant le mélange est ensuite parcouru par un courant d'azote de manière à évacuer l'air résiduel. Il faut en effet éviter la présence d'oxygène qui conduirait rapidement à une fermentation et donc à une modification de la composition du lixiviat. Le récipient est fermé par un siphon à eau qui empêche les entrées de gaz mais évite les surpressions, dans l'hypothèse où des fermentations se produiraient malgré les précautions prises pour les éviter. Finalement, le dispositif est conservé dans un lieu frais et sombre. Au moment d'effectuer les essais, l'argile est récupérée par filtration sous vide. Dans la mesure du possible, il faut éviter de déshydrater l'argile imbibée de lixiviat car cela concentrerait les ions et modifierait sa concentration.

3 PROGRAMME D'ESSAIS ET PREMIERS RESULTATS

Plusieurs tests différents sont utilisés pour cette étude. Le programme de test est vaste et n'est à ce jour pas complètement réalisé. Les résultats donnés ci-après sont ceux résultant des premières investigations.

3.1 Identification du matériel expérimental

3.1.1 Le lixiviat

La pression osmotique du lixiviat, déterminée à l'aide d'un psychromètre à effet Peltier de la firme Wescor, est d'environ -450 kPa.

Une analyse chimique de la composition du lixiviat avant congélation a été effectuée. Les résultats de cette analyse sont donnés au Tableau 1. La composition a également été étudiée après congélation et il s'avère que ce mode de conservation semble bien adapté au produit puisque l'on observe peu modifications.

3.1.2 L'argile

Les limites d'Atterberg de l'argile de Boom préparée avec de l'eau sont les suivantes :

- Limite de liquidité : 67%
- Limite de plasticité : 28%
- Limite de retrait : 19%

L'essai Proctor réalisé avec des moules de type CBR et une faible énergie de compactage donne une valeur de densité sèche

Tableau 1. Analyse chimique du lixiviat.

Elément	Unité	Quantité
Nkjel	(mg N/L)	258
N _{NH4+}	(mg N/L)	248
N _{NO2-}	(mg N/L)	<0.02
N _{NO3-}	(mg N/L)	2.98
N _{org}	(mg N/L)	10
SO ₄ ⁻	(mg/L)	217
Cl ⁻	(mg/L)	273
P ₂ O ₅	(mg/L)	8.13
COT	(mg C/L)	316
Ca	(mg/L)	208
Mg	(mg/L)	131
K	(mg/L)	653
Na	(mg/L)	2000
Fe	(mg/L)	4.73
Mn	(mg/L)	0.459
Pb	(µg/L)	90
Cd	(µg/L)	1.1
Zn	(µg/L)	258
Hg	(µg/L)	0.13
Cu	(µg/L)	48
Ni	(µg/L)	140
Cr	(µg/L)	48

optimum pour un mélange à l'eau égale à 14.2 kN/m³ et une teneur en eau de 28%.

3.2 Effet de la macération et du temps sur la composition minéralogique

Une étude de la composition de l'argile par diffraction aux rayons X sur de l'argile 'macérée' 9 mois dans le lixiviat et sur de l'argile naturelle ne fait apparaître aucune altération de la composition suite au contact du polluant. Toutefois, de nouveaux tests et une interprétation plus poussée doivent encore être effectués.

3.3 Propriétés géomécaniques

Le programme d'essais comporte à la fois des essais triaxiaux et des essais oedométriques. Le principal problème rencontré dans cette étude est l'évolution du lixiviat au contact de l'air ainsi que les dommages qu'il pourrait causer aux appareils de mesure et de contrôle. Des adaptations ont donc dû être faites sur les appareils standards de manière à supprimer ces inconvénients.

Il existe 4 combinaisons possibles pour réaliser les essais selon le liquide que l'on va utiliser pour saturer l'échantillon et le liquide à utiliser en cours d'essai pour passer au travers. Le Tableau 2 synthétise ces différentes possibilités.

Tableau 2. Combinaisons selon le liquide utilisé pour la saturation et en cours d'essais.

Séries	Code	Liquide pour la préparation	Liquide pour l'essai
1	E - E	Eau	Eau
2	E - L	Eau	Lixiviat
3	L - E	Lixiviat	Eau
4	L - L	Lixiviat	Lixiviat

De plus, le symbole L* dans le texte ci-dessous signifie que l'argile n'a pas macéré dans le lixiviat mais qu'elle a été préparée par simple ajout de la quantité de liquide nécessaire pour atteindre la teneur en humidité désirée.

A l'heure actuelle, différents essais oedométriques ont été réalisés ainsi que quelques triaxiaux. Pour ces deux types d'essais, des mesures ont été prises à température ambiante et à 60°. A l'heure actuelle, pour les triaxiaux seule les résultats des essais à température ambiante sont disponibles.

3.3.1 Essais oedométriques

3.3.1.1 Dispositif expérimental

Les premiers essais oedométriques correspondants aux séries L* - E et E - E (se référer au Tableau 2 pour les notations des différentes séries d'essais) ont été réalisées avec des appareils oedométriques standards.

Les tests dans lesquels le lixiviat intervient comme perméant nécessitent un dispositif où le liquide est à l'abri de l'oxygène de l'air. Une cellule combinant le principe du triaxial en matière de confinement des liquides et de l'oedomètre pour le principe de l'essai ont été construites. Ces cellules sont à présent utilisées pour tous les tests, même effectués à l'eau.

3.3.1.2 Résultats

Les premiers essais sur les séries L* - E et E - E ont donné des résultats très semblables. D'autres tests ont ensuite été réalisés sur de l'argile macérée dans le lixiviat ou préparée à l'eau. Plusieurs séries de test ont été effectuées à température ambiante, et d'autres à environ 60°C, température qui règne en fond de décharge.

L'évolution de l'indice des vides en fonction de la contrainte appliquée est donnée par la Figure 1. Les traits fins correspondent aux essais à environ 20° et les traits gras aux températures élevées. La première charge a toujours été appliquée à tempéra-

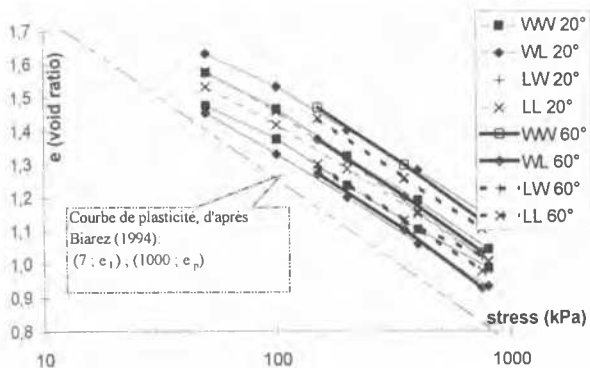


Figure 1. Essai oedométrique.

ture ambiante, le chauffage ne débutant que lorsque que le tassement lié au premier chargement était stabilisé. Ceci explique que les traits gras débutent toujours après le premier chargement. Les échantillons de type L -L et L - E utilisés pour les essais à 60°C avaient macéré pendant 9 mois, ceux utilisés à température ambiante seulement 3.

Compte tenu de la variabilité des résultats, essentiellement liée au mode de préparation des échantillons, il ne semble pas se dégager de différence nette de comportement entre les différents échantillons. Pas de différence entre les échantillons préparés à l'eau ou au lixiviat et pas non plus selon que les essais se déroulent à l'une ou l'autre température. De plus, les valeurs de C_c et λ pour l'ensemble des tests sont très semblables et proches de 0.5, montrant ainsi une certaine cohérence avec les corrélations proposées par Biarez & Hicher (1994).

3.3.2 Essai triaxial

3.3.2.1 Dispositif expérimental

Etant donné que le lixiviat pourrait endommager les appareils de mesure et de contrôle, en particulier au niveau des contrôleurs pression-volume (GDS), un dispositif a été mis en place pour pousser le lixiviat dans l'échantillon. Le système utilisé comporte deux tubes concentriques communiquant entre eux par le haut et reliés en bas chacun à un conduit. L'eau provenant du contrôleur se trouve dans le tube extérieur, le lixiviat à l'intérieur, l'un et l'autre étant séparé par de l'huile qui transmet les pressions de l'un à l'autre sans permettre le mélange des liquides. Le schéma du dispositif est présenté à la Figure 2.

3.3.2.2 Résultats

A l'heure actuelle, des essais triaxiaux ont été réalisés à température ambiante, d'autre sont actuellement en cours à 60°C. A ce stade, seuls les résultats de la première série sont disponibles. Les résultats des premiers tests sur des échantillons préparés à l'eau ou au lixiviat peuvent déjà être comparés. Il s'avère que, comme pour les oedomètres, les éventuelles différences de com-

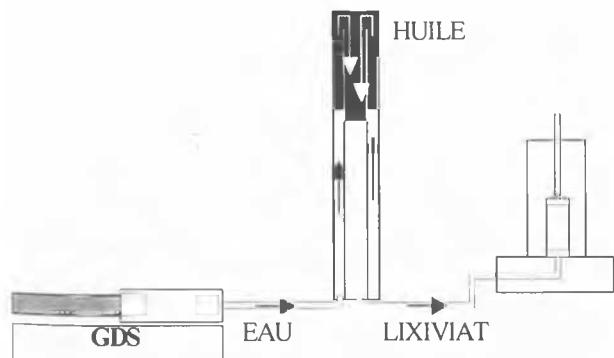


Figure 2. Dispositif utilisé pour les essais triaxiaux.

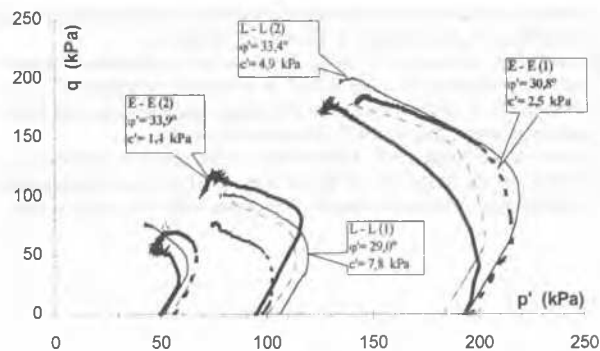


Figure 3. Résultats des essais triaxiaux à 20°C.

portement sont masquées par la variabilité du résultat. On peut observer ceci sur les courbes données en Figures 3. Les traits gras correspondent à deux séries de trois éprouvettes préparées et saturées à l'eau et les traits fins à deux séries préparées et saturées au lixiviat. Une analyse plus poussée des ces premiers résultats est en cours, elle sera de plus étoffée par ceux provenant des essais à température élevée.

4 CONCLUSION

Différents tests ont été menés au laboratoire avec des échantillons préparés au lixiviat ou avec de l'eau, avec ou sans macération. Les essais se sont passés à température ambiante ou à environ 60°C, avec de l'eau ou avec du lixiviat. Jusqu'à présent aucune différence significative de comportement n'a pu être observée entre tous ces types de tests, si elles existent ces différences sont masquées par la variabilité des résultats.

La macération réalisée au laboratoire tente de simuler les conditions présentes en décharge. Cependant il serait plus réaliste que les macérations se produisent à 60°C. De nouvelles préparations d'échantillons vont donc être réalisées à cette température.

Finalement, de nouveaux essais débutent avec une seconde argile qui semble plus réactive que la première en présence de lixiviat.

5 REMERCIEMENTS

Les travaux de recherche décrits dans cet article sont rendus possibles par une bourse octroyée par le Fond National (Belge) de la Recherche Scientifique. Les essais à 60°C ont été réalisés à l'Ecole Centrale de Paris, sous la direction du Pr. J-M. Fleureau, merci à lui et à tout le personnel pour sa collaboration. Que ces deux soutiens soient grandement remerciés.

REFERENCES

- Biarez, J & Hicher P-Y. 1994. Elementary Mechanics of Soil Behaviour. Rotterdam: Balkema.
- De Bruyn, D. 1999. Influence d'une élévation de température sur le comportement physique et mécanique de l'argile de Boom dans le cadre de la problématique de galerie d'enfouissement de déchets radioactifs. Thèse présentée en vue de l'obtention du grade de Docteur en Sciences Appliquées. Université Catholique de Louvain. Belgium
- LCPC, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. 1966. Essais Proctor. Mode opératoire. Paris. pp 34. Dunod.
- Manassero, M. & Pasqualini, E. & Sani, D. 1995. Properties of compacted clay for waste containment barriers. *Proceedings Sardinia 95, Fifth International Landfill symposium*. Cagliari, Italy : CISA
- Ourth, A.-S. 1998. Influence des lixiviat sur les propriétés géomécaniques, en conditions saturée ou non, de l'argile constituant des barrières d'étanchéité pour centre d'enfouissement technique et sites contaminés. Mémoire de fin d'études. Diplôme d'études approfondies en

- sciences agronomiques et ingénierie génétique. Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux. Belgium.
- Ourth, A-S & Verbrugge, J-C. 1999a. Influence of Leachates on Geomechanical properties of Clay Used as Confining Barriers. In XIth Panamerican Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Iguassu, August 1999. Rotterdam. Balkema.
- Ourth, A-S & Verbrugge, J-C. 1999b. First results about the influence of leachate on the properties of Boom clay. In IInd Geoenvironmental Engineering Conference. London. September 1999. Thomas Telford.