

REFLEXION SUR LA MESURE DU GONFLEMENT AVEC L'ESSAI HUDER AMBERG

CONSIDERATION ON THE SWELLING MEASUREMENT WITH THE HUDER AMBERG TEST

Vivien SUBASKARAN^{1,2}, Philippe REIFFSTECK²

¹*Polytech Paris-UPMC 4 place Jussieu 75252 Paris, France*

²*IFSTTAR-UPE, 14-20 boulevard Newton, 77447 Marne-la-Vallée, France*

RESUME : Cette communication présente une réflexion sur la mesure du gonflement de l'argile plastique. Dans cette étude, des essais œdométriques de type Huder Amberg, ont été réalisés sur des argiles plastiques de l'ypresien, tout en simulant plusieurs types de remaniement, afin d'en déduire son impact sur la compréhension des phénomènes.

ABSTRACT: This paper present some thought on the swelling measurement of clays. Oedometric tests using Huder-Amberg protocol have been performed on ypresien clays, while simulating different types of remoulding, to determine its impact on the understanding of the phenomena.

1 Introduction

Dans le cadre de la construction d'ouvrages, les concepteurs peuvent être amenés à étudier le gonflement d'un sol. Dans la majorité des cas, le gonflement d'un sol est dû à l'imbibition et l'amplitude du gonflement dépend d'un certain nombre de facteurs tels que la quantité et la nature des minéraux argileux qui le constituent, la nature des cations existants dans les particules solides et de ceux présents dans l'eau interstitielle, la texture et les propriétés macroscopiques définies principalement par la densité sèche et la teneur en eau initiale. Les paramètres de gonflement à prendre en compte dans la définition de la structure du sol, déterminés expérimentalement en laboratoire au moyen d'essais œdométriques, sont la pression de gonflement et la loi de variation du gonflement en fonction de la contrainte appliquée. Pour estimer les paramètres, plusieurs procédures d'essais œdométriques sont envisageables (Serratrice et Soyez, 1996) :

- l'essai avec imbibition à volume constant du sol à partir de la pression effective des terres pour la définition de la pression de gonflement (Sullivan et McClelland, 1969). La pression de gonflement est définie comme la pression maximale qui devrait être appliquée sur le piston de l'œdomètre pour que le volume de l'éprouvette soit maintenu constant lors de son imbibition ;

- l'essai avec gonflement libre à un niveau de contrainte donné. Sous contrainte nulle, l'essai est appelé "essai de gonflement libre" mais il est le plus souvent réalisé sous la pression effective des terres pour la détermination de l'amplitude de gonflement du sol. Cet essai peut comporter un cycle de déchargement-rechargement préliminaire (Huder et Amberg, 1970). Il peut être réalisé sur plusieurs éprouvettes en parallèle avec imbibition sous différentes contraintes (essai de gonflement en parallèle).

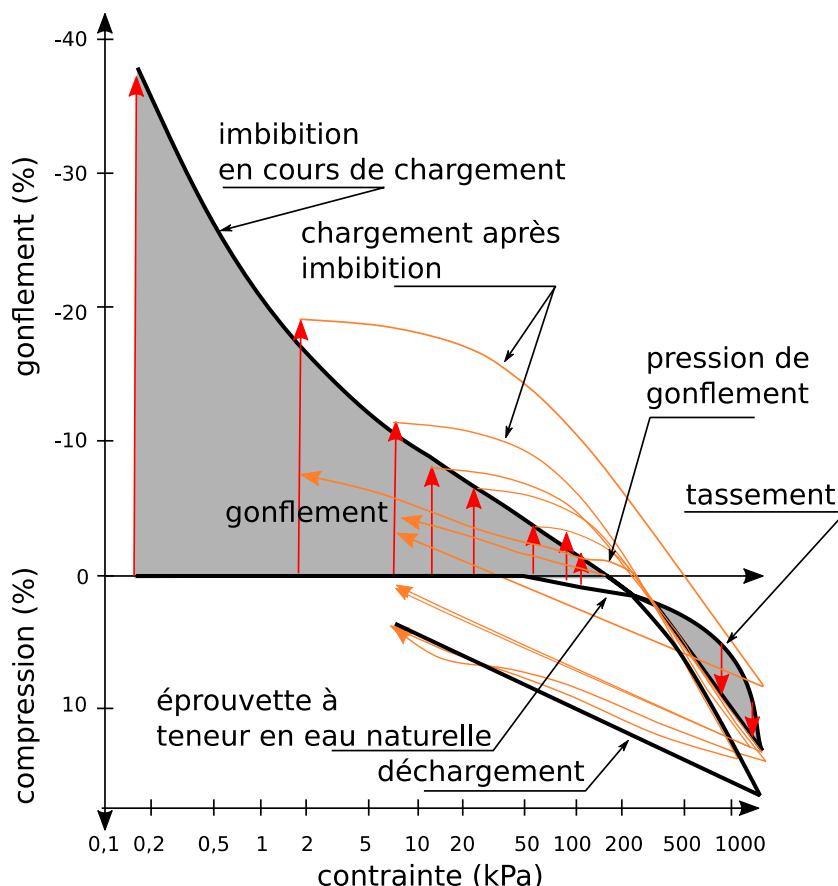


Figure 1 – Essais de compression et d'imbibition sur des échantillons de sol d'El Arahah compacté (d'après Justo et al., 1984 ; $w_L = 55 - 75$, $I_p = 30 - 44\%$)

La Figure 1 synthétise ces différentes procédures et illustre l'influence de la modification de la structure de l'échantillon et du frottement. Pour les faibles niveaux de contraintes, le gonflement croît de manière importante.

Dans les deux procédures principales, l'état de référence du sol au moment de la phase d'imbibition correspond à celui du sol en place. Cependant, les essais de gonflement réalisés à l'œdomètre classique semblent donner des résultats qui ne sont pas toujours représentatifs du comportement des sols en place, car la saturation complète des échantillons ne se produit pas dans la réalité où le sol gonfle du fait d'une variation de la succion du sol sans que pour autant la pression interstitielle atteigne une valeur positive ou nulle (Didier et al., 1987).

1.1 Pathologies communément observées

Dans le cadre de la réalisation, par différentes entreprises, d'essais œdométriques de type Huder-Amberg sur les argiles du bassin Parisien (vertes et plastiques) nécessités par des projets de construction, il a été observé des résultats difficilement interprétables. Des erreurs ont été constatées sur les mesures de tassement et de gonflement (des tassements de recompression pouvant atteindre jusqu'à 50 %, des pressions de gonflement pouvant varier de 300 kPa à 3 MPa). L'objectif est donc de mener une réflexion sur les raisons de ces anomalies, dans le but de mettre en place un protocole de référence pour étudier le mieux possible le gonflement des argiles.

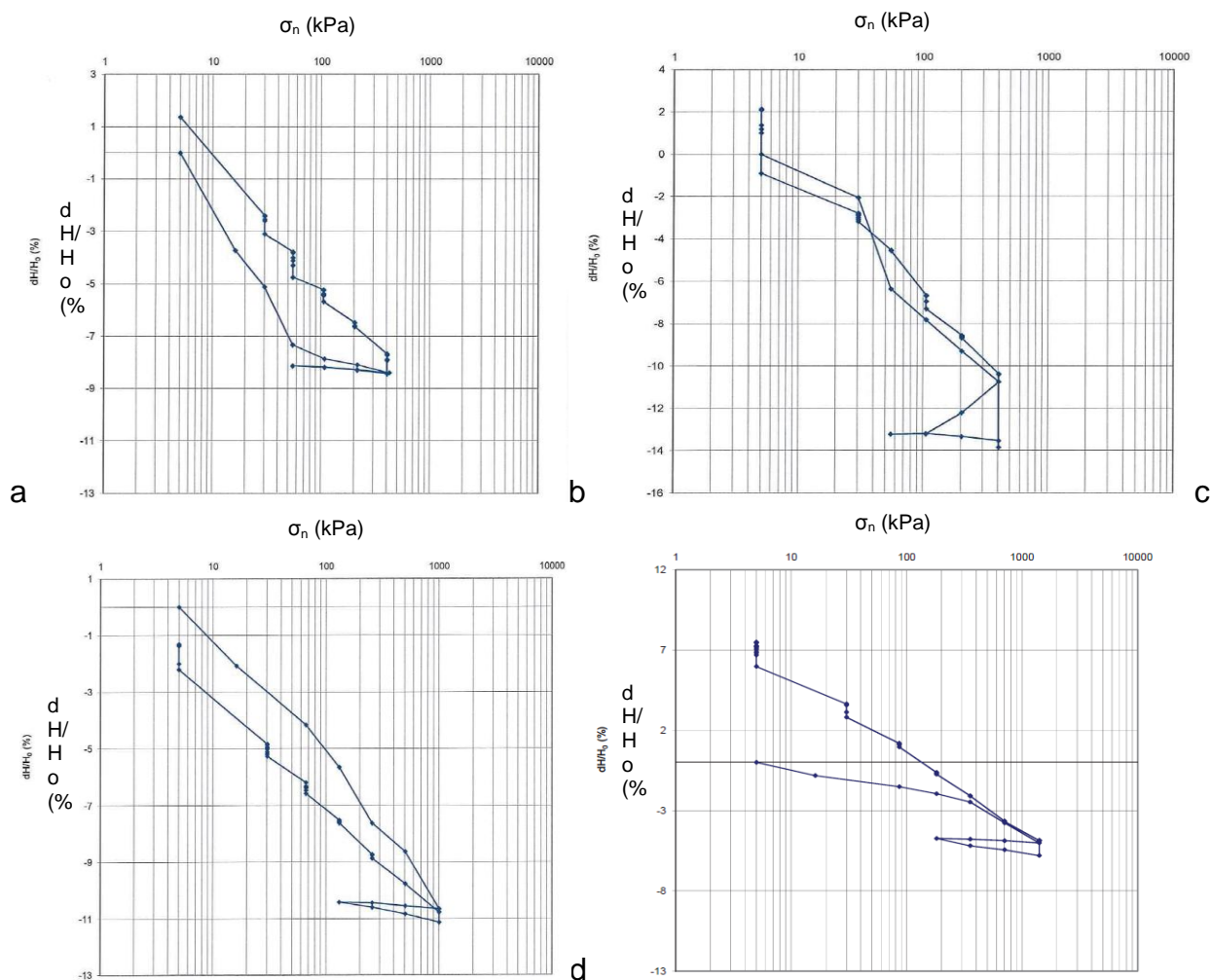


Figure 2 – Exemple d'essais Huder Amberg sur l'argile verte (a : $z = 10$ m, $\sigma'_g = 566$ kPa ; b : $z = 14$ m, $\sigma'_g = 1253$ kPa ; c : $z = 27$ m, $\sigma'_g = 1292$ kPa ; d : $z = 35$ m, $\sigma'_g = 1953$ kPa)

Comme indiqué dans l'introduction, il existe des anomalies sur les mesures des paramètres de tassement et de gonflement. La figure 2 présente quatre cas où la pression de gonflement a été estimée sur des courbes s'écartant de la forme typique classiquement admise pour cet essai (pression de chargement supérieure à la pression de gonflement ou déformation au chargement avant imbibition quasiment égale à celle observée au déchargement).

Après des recherches bibliographiques sur les méthodes d'essais, les procédures utilisées par certains laboratoires peuvent être la raison de ces erreurs. En effet, ces laboratoires peuvent commettre des écarts sur la conservation des éprouvettes ou bien sur le protocole d'essais. Ces écarts peuvent conduire à un remaniement du matériau. Il serait donc utile de pouvoir effectuer des essais Huder-Amberg dans les mêmes conditions que ces laboratoires, afin de pouvoir observer l'influence du remaniement sur le gonflement et le tassement des argiles plastiques.

1.2 Le matériau étudié

L'argile plastique yprésienne, étudiée est un matériau prélevé dans la région parisienne (13^{ème} arrondissement de Paris) (Filliat, 1981). L'argile plastique a été extraite entre 24 et 25 m de profondeur et elle a une teneur en eau naturelle de 20,8 % environ.

2 Programmes expérimentaux

À l'aide de la norme XP P94-091, un programme de chargement variant d'une contrainte inférieure à 10 kPa à σ'_{vo} a pu être établi. À l'instar du laboratoire qui ne dispose pas toujours des niveaux de nappes, la détermination de σ'_{vo} a été réalisée à partir de la profondeur de prélèvement 24-25 m et le poids volumique de l'argile, qui vaut environ 19-20 kN/m³. La contrainte effective verticale varie donc entre 456 et 500 kPa. La méconnaissance du niveau de la nappe ne permet pas une meilleure détermination de la contrainte effective. Les différents protocoles que nous avons mis en œuvre sont listés dans le tableau 1.

Tableau 1 : Protocoles mis en œuvre

Etat	N°essai	Protocole	Temps	e_i	w en %
Intact	1	volume constant		0,538	20,86%
	2	Huder-Amberg		0,496	20,86%
Remaniement 1	3	air ambiant	24h	0,481	12%
	4	100°C	2h	0,515	5%
	5	50° C	24h	0,475	2%
Remaniement 2	6	immergée dans l'eau	1 h	0,587	21,32%
	7	emballée dans du papier mouillé	1 h	0,56	21,2%
Remaniement 3	8	empilement de "lamelles" sans séchage ou imbibition	-	0,578	20,86%

e_i : indice des vides initiaux et w : teneur en eau initiale



Figure 3 – De gauche à droite, les argiles des essais 3, 7 et 8

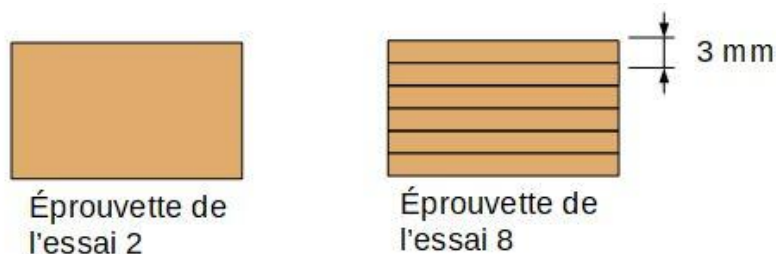


Figure 4 – Éprouvettes des essais 2 et 8

Les niveaux de séchage ou d'humidification ont pour objectif de simuler la mise en présence d'eau lors du carottage ou le stockage dans un local trop sec ou au soleil sur palette. Le cas 8 est un essai pour représenter la rupture en extension conséquence du déchargement libre du sol.

3 Interprétation des résultats

3.1 Essai de référence

La série d'essais œdométriques a comporté un essai à volume constant selon le paragraphe 6.3.1.2 de la norme NFP94-090-1:1997. Cet essai sera utilisé comme référence.

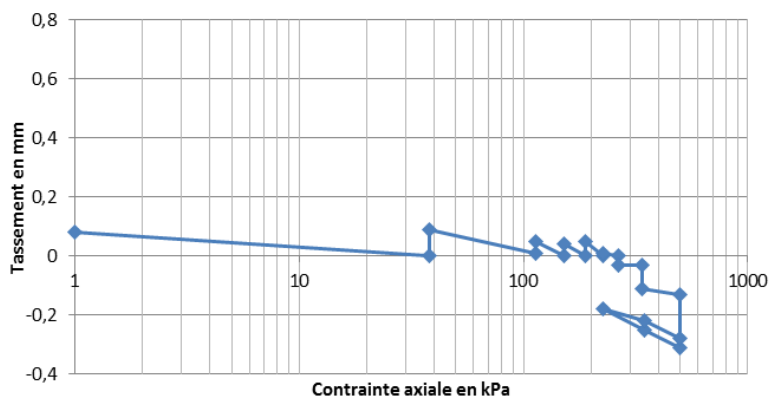


Figure 5 – Contrainte en fonction du tassement pour la méthode en volume constant

Lors de l'application d'une contrainte axiale nulle, l'argile a gonflé jusqu'à 0,08 mm. Au fur et à mesure, des charges sont appliquées afin de déterminer à partir de quelle valeur de contrainte, la déformation axiale ne varie plus et n'évolue plus au cours du temps, cette valeur de contrainte correspond à la pression de gonflement. Dans notre cas de figure, elle vaut 267 kPa via la méthode à volume constant.

3.2 Phases sans imbibition des éprouvettes

Pour les essais de 2 à 8, les éprouvettes ont été chargées jusqu'à σ'_{vo} puis déchargées jusqu'à 150 kPa et rechargées. Cette phase se fait à la teneur en eau naturelle sans imbibition.

Au cours de la phase sans imbibition, les argiles des essais 6 à 8 subissent un tassement pouvant atteindre 2 mm pour une contrainte axiale de 456 kPa. Pour les argiles préalablement séchées, leur tassement est relativement faible, atteignant jusqu'à 0.8 mm pour une contrainte de 456 kPa. L'argile intacte, quant à lui, subit un tassement de 1,3 mm à $\sigma'_{vo}=500$ kPa.

Les remaniements 2 et 3 accentuent les tassements, les raisons peuvent être multiples, dans le cas des argiles imbibées, l'eau a tendance à rendre le matériau plus plastique, facilitant donc les déformations.

Tableau 2 : Paramètres des éprouvettes avant imbibition

Essais	2	3	4	5	6	7	8
Tassement avant imbibition (mm)	-1,41	-0,9	-0,42	-0,38	-1,61	-1,64	-1,99
Tassement relatif (%)	-7,23	-5,09	-2,18	-1,97	-10	-8,45	-10,15
Indice des Vides à σ'_{vo} avant imbibition	0,389	0,405	0,481	0,446	0,4548	0,4159	0,4179

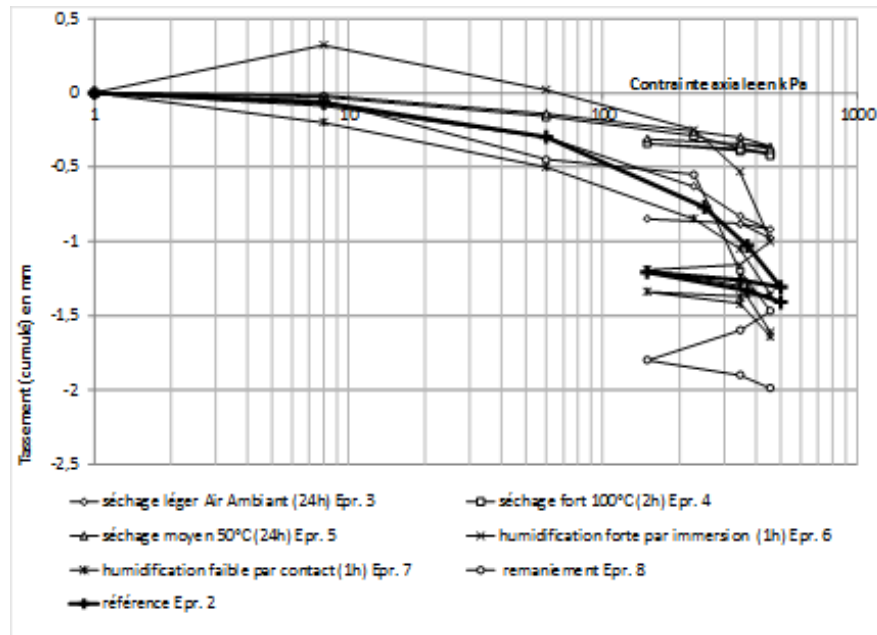


Figure 6 – Tassement des éprouvettes avant imbibition

Le remaniement 1 limite les déformations à cause d'une forte rigidité de la structure, empêchant au maximum les éventuels tassements.

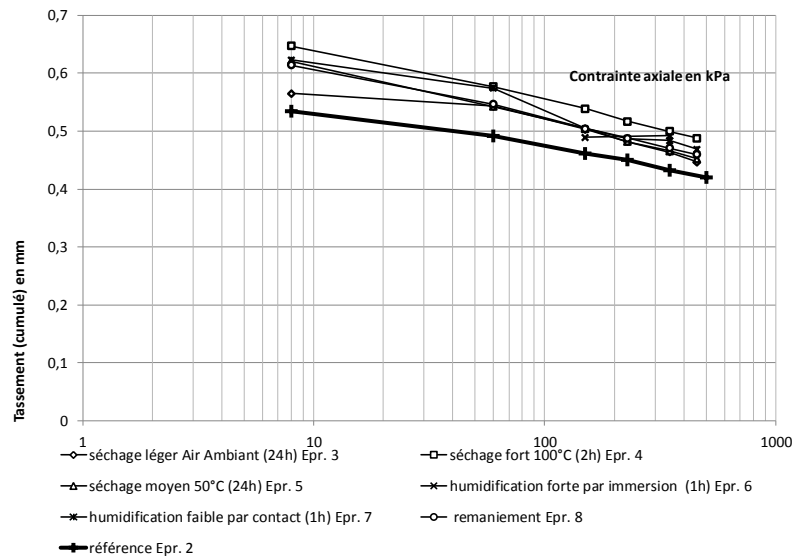


Figure 7 – Phase de déchargement

À noter que l'argile de l'essai 5, est le seul matériau à subir un gonflement lors de l'application d'une contrainte de 8 kPa (infiltration d'eau au niveau des particules).

3.3 Phase avec imbibition initiale des éprouvettes

Cette dernière phase correspond au gonflement sous charge constante puis au déchargement.

La Figure 7 permet d'observer l'influence du type de remaniement qui modifie plus la courbe de chargement avec le palier que la courbe de déchargement. Le séchage fait chuter la pression de gonflement dans une moindre mesure que l'humidification préalable. Le remaniement simulé ici par découpage a pour effet de le faire croître.

Tableau 3 : Paramètres des essais de gonflement selon les différents protocoles

Essais	2	3	4	5	6	7	8
σ_g en kPa	2500	1700	570	650	200	250	7500
C_s	-0,0782	-0,109	-0,0906	-0,096	-0,098	-0,0877	-0,0879
ε_g en %	9,74	13,58	10,93	11,84	13,63	12,42	12,4

3.4 Pression de Gonflement

Conventionnellement la pression de gonflement est estimée à l'intersection des tangentes au dernier palier de chargement de la phase 1 et au premier palier de déchargement de la phase 2.

Cette expérimentation montre l'impact du remaniement des argiles plastiques sur la pression de gonflement. Une argile préalablement séchée a une pression de gonflement variant entre 570 et 1700 kPa. Une argile imbibée a une pression de gonflement variant entre 200 et 250 kPa et pour argile ayant subi le remaniement en "lamelles", ce paramètre vaut 7500 kPa. Une argile conservée à basse température a, quant à lui, une pression de gonflement de 2,5 MPa (méthode Huder-Amberg).

Effectuer un essai œdométrique sur une argile préalablement séchée réduit ainsi la pression de gonflement de 30 à 78% environ (par rapport à l'argile intacte). Par exemple, conserver une argile plastique dans un environnement dont la température est de 20°C peut engendrer une baisse de 800 kPa. Cette baisse peut être encore plus importante dans des conditions encore plus défavorables, comme une conservation de l'éprouvette à forte température (30°C voir plus avec l'effet de l'ensoleillement).

L'imbibition d'une argile conduit une réduction de la pression de gonflement de 90 à 93%, par exemple, une carotte qui a été imbibée (comme l'échantillon 5), peut subir une forte baisse de la pression de gonflement, elle est susceptible de passer de 2500 à 250 kPa soit une diminution de plus de 90%.

Le remaniement 3 a également une incidence sur la valeur finale de la pression de gonflement, en effet, au cours de l'expérimentation Huder-Amberg de l'argile de l'essai 8, la pression de gonflement obtenue pour cette éprouvette est de 7500 kPa soit une différence 5 MPa avec la pression de gonflement de l'argile intacte.

3.5 Gonflement libre et Indice de Gonflement

Le gonflement libre se caractérise par une déformation maximale durant la phase d'imbibition. Les argiles des essais 3 et 6 sont les argiles qui subissent les déformations les plus importantes avec 13,58 et 13,63%, alors que l'argile intacte est celle qui subit les déformations les plus faibles avec 9,74%.

Durant la phase d'imbibition, les 7 échantillons ont un indice de gonflement variant entre -0,0782 et -0,109. Ils ont tous subi un gonflement durant le cycle de déchargement. Néanmoins, l'intensité n'est pas identique pour les différentes éprouvettes. L'argile préalablement séchée à l'air libre donne l'indice de gonflement le plus élevé (négativement) avec -0,109 et l'argile intacte a l'indice de gonflement le plus faible avec -0,0782.

Dans le cas du gonflement libre et de l'indice de gonflement, cette comparaison, montre concrètement que les différents types de remaniement ont une influence sur ces

paramètres. Une argile préalablement séchée à l'air libre durant 24h engendre une augmentation de plus de 40% (par rapport à l'argile intacte) du gonflement libre et de l'indice de gonflement. Une argile imbibée conduit à une hausse de 12% de l'indice de gonflement et de 27% du gonflement libre.

4 Conclusion

Les remaniements ont eu pour conséquence une modification du comportement des éprouvettes d'argiles plastiques testées. Au niveau des tassements, les argiles des essais 6 à 8 ont des déformations largement supérieures à la moyenne, elle peut atteindre jusqu'à 10% contre 6,7% pour une argile (plus) intacte. Concernant la pression de gonflement, les remaniements 1 et 2 entraînent une forte diminution de 30 à 93% de cette valeur ! Le remaniement 3, quant à lui, conduit à une multiplication par 3 de ce paramètre.

Les causes de ces anomalies peuvent être multiples, pour les argiles préalablement séchées, la teneur en eau initiale en serait responsable, en effet, il a été observé que plus la teneur en eau initiale diminuait, plus la pression de gonflement diminuait à son tour.

Cette expérimentation nous mène à conclure que le remaniement est un des facteurs responsables des écarts observés. Le remaniement a donc tendance à fausser les mesures de manière importantes et nuit ainsi à une interprétation de ces essais. Il faut donc insister sur le fait d'éviter au maximum les remaniements des argiles lors des prélèvements (purger les parties basses et hautes des étuis avant fermeture, par exemple) et à conserver les carottes d'argile à basse température et sans contact avec l'eau.

5 Références Bibliographiques

- Didier G., Soyez B., Héritier B., Parez L. (1987), Etude à l'odomètre du gonflement des sols, Proc.IX ECSMFE Groundwater effects in geotechnical engineering , Vol 5, pp. 549-552 ,
- Filliat G. (1981) La pratique des sols et fondations, Éditions du Moniteur, 1392 pages
- Huder, J. & Amberg,G.(1970) Quellung in Mergel, Opalinuston und Anhydrit. Schweizerische Bauzeitung , 88 (43):975-980
- Justo J. L., Delgado, A., Ruiz, J, (1984) the influence of stress- path in the collapse-swelling of soils at the laboratory, Proceedings of the Fifth International Conference on Expansive Soils, Adelaide, South Australia, 67-71
- Serratrice J. F. Soyez B., (1996) : Les essais de gonflement, Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées, N°204, pp. 65-85
- Sullivan R.A., McClelland B. (1969) Predicting heave of buildings on unsaturated clay. Proceedings of the 2nd International Research Engineering Conference Expansive Soils. Texas A & M Univ. Press, College Station, TX, 404-420