



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique



Université Djillali BOUNAAMA de Khemis Miliana  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre  
Département des Sciences de la Terre

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du Diplôme de Master en Géotechnique  
Filière: Géotechnique  
Spécialité: Géotechnique

### Thème

## CARACTERISATION PHYSICO-MECANIQUE ET MINERALOGIQUE DES MARNES PLAISANCIENNES D'ALGER

### Présenté par :

Mlle. CHADOULI Rima.

Mlle. HARIZI Asmaà.

### Devant le jury compose de :

- ✚ Mr. SADOUNE A
- ✚ Mme BELHADJ F/Z
- ✚ Mme KHABIZI W
- ✚ Mme BOUKEMEDJA. S
- ✚ Mme FILALI M
- ✚ Mme CHOUCANE K

- Président.
- Examinatrice.
- Examinatrice.
- Examinatrice.
- Encadreur.
- Co-Encadreur.

Année universitaire : 2017/2018

### ملخص:

قبل إنشاء أي مشروع بناء، من الضروري معرفة سلوك التربة التي يجب أن تدعم العمل أو أن تكون جزءاً منه. و من هذا المنظور, جعلت دراسات التربة الطينية، من موقعين في الساحل السحل ، مكنت من تحديد، من خلال الاختبارات والتحليلات, الخصائص الرئيسية الفيزيائية، الميكانيكية و المعدنية للتركيبة الطينية التي تشكل الأساس الذي تتطور عليه مدينة الجزائر.

تمثل نتائج هذه الدراسة مساهمة متواضعة في قاعدة بيانات جيوتقنية يمكن استخدامها كدليل لحساب الأسس والأعمال الترابية.

### الكلمات المفتاحية:

الطين, الساحل الطيني, الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية، التحليل المعدني.

### RESUME

Avant l'établissement de tout projet de construction, il est primordial de connaître le comportement des sols qui devrait supporter l'ouvrage ou faire partie de celui-ci. C'est dans cette optique, que des études de sols argileux, provenant de deux sites situés dans le sahel marneux, a permis de mettre en évidence, à partir d'essais et d'analyses de laboratoire, les principales caractéristiques physique, mécanique et minéralogique de la formation argileuse des marnes plaisanciennes qui constitue le substratum sur lequel la ville d'Alger se développe.

Les résultats de la présente étude constituent une contribution modeste à une base de données géotechnique pouvant servir de guide pour le calcul des fondations et des ouvrages en terre.

**Les mots clés :** marne, sahel marneux, essais physiques et mécaniques, analyse minéralogique.

### ABSTRACT

Before the establishment of any construction project, it is essential to know the behavior of the soil that should support the work or be part of it. With this in mind, clay soil studies, from two sites in the marly sahel, made it possible to identify, from laboratory tests and analyzes, the main physical, mechanical and mineralogy of the clay formation of marl mares which constitutes the substratum on which the city of Algiers develops.

The results of this study represent a modest contribution to a geotechnical database that can be used as a guide for calculating foundations and earthworks.

**Keywords:** marl, marly Sahel, physical and mechanical tests, mineralogical analysis.

# *Remerciements*

*Avant tout, nous remercions « ALLAH », le tout puissant, de nous avoir donné le courage, la patience et la chance d'étudier et de suivre le chemin de la science, et de nous avoir aidé à réaliser ce travail.*

*Nous tenons particulièrement à remercier nos promotrices mes dames FILALI M et CHOUCANE K pour avoir accepté de diriger ce travail, pour ses encouragements, orientations et ses conseils précieux.*

*Nous remercions tous nos enseignants de la 1<sup>ère</sup> année fondamentale à ce jour pour le savoir qu'ils nous ont*  
*Nos remerciements vont également aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer notre travail et de nous avoir honorés par leur présence.*

*Nous remercions vivement, les ingénieurs du département mécanique de sol de laboratoire LNHC (oued smar) pour leurs aides disponibilité.*

*Nous adressons nos sincères remerciements à toute la famille, les amis et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la mise en œuvre de ce modeste travail, ainsi qu'à tous ceux qui nous ont encouragé et soutenu.*

*Nous aimerons bien de remercier tous les étudiants de nos promotion de géotechnique et hydrogéologie.*

*Dédicace de la part de CHADOULI Rima*

*Je dédie ce modeste travail a' ceux qui sont les plus chères  
A ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son  
soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, reçois à  
travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments  
et de mon éternelle gratitude.*

*A mon père, qui être fier et trouver ici le résultat de longues années  
de sacrifices et privations pour m'aider à avancer dans la vie.  
Puisse dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit, merci pour les  
valeurs nobles, l'éducation et le soutient permanent venu de toi.*

*A mon frère ABDELMONIM*

*A mes sœurs NADJET et FADOUA*

*A HASSANI MOUSSAB qui est toujours près de moi pour  
m'encourager*

*A Ma binette et ma chère amie ASMAA pour sa foi durant toute La  
période de réalisation de ce projet.*

*A mes tantes, oncles, cousins, cousines.*

*Aux étudiants de la promotion 2017-2018 de  
Géotechnique pour les bons moments qu'on a passés. Ensemble.  
À tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce Projet  
soit possible.*

**Dédicace de la part de HARIZI Asmaa**

*Je dédie ce modeste travail à ceux qui sont les plus chères :*

*A ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.*

*A mon père, qui être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et privations pour m'aider à avancer dans la vie.*

*Puisse dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit, merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.*

*A mes frères AYMEN, ILYES, YUCEF, YACINE*

*A Ma binette et ma chère amie RIMA pour sa foi durant toute La période de réalisation de ce projet.*

*A mes tantes, oncles, cousins, cousines.*

*A Monsieur NASRI ABD EL SAMED de l'université de Bechar pour ses précieux conseils et son aide.*

*Aux étudiants de la promotion 2017-2018 de*

*Géotechnique Pour les bons moments qu'on a passés. Ensemble.*

*À tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce Projet soit possible.*

### LISTE DES FIGURES

- Figure 01** : Structure de la kaolinite en vue microscopique au MEB.
- Figure 02** : Structure de l'illite en vue microscopique au MEB.
- Figure 03** : Structure de la montmorillonite en vue microscopique au MEB.
- Figure 04** : Structure minéralogique de la kaolinite, illite, montmorillonite.
- Figure 05** : Représentation conventionnelle d'un volume de sol Poids et volume des différentes phases.
- Figure 06** : Loi de Stokes.
- Figure 07** : mesure de la limite de liquidité.
- Figure 08** : Boîte de Casagrande.
- Figure 09** : Cellule œdométrique, (Léreau, 2006).
- Figure 10** : Situation géographique des sites étudiés.
- Figure 11** : Carte géologique du site étudié (extrait de la carte géologique de Chéraga 1/50000).
- Figure 12** : Variations mensuelles des températures, humidités et précipitations de l'année 2008 dans le site d'Alger (données de l'office nationale météorologique d'el Dar el Beida).
- Figure 13** : Diagramme ombrothermique de l'année 1996-2008.
- Figure 14** : Essai d'analyse granulométrique par tamisage réalisé au niveau de LNHC.
- Figure 15** : Essai d'analyse granulométrique par sédimentométrie réalisé au niveau de LNHC.
- Figure 16** : Détermination de la limite de liquidité en utilisant la coupelle de Casagrande.
- Figure 17** : Détermination de la limite de plasticité.
- Figure 18** : L'appareil de cisaillement utilisé.
- Figure 19** : Préparation de la cellule œdométrique pour l'essai de gonflement libre.



**Figure 20** : Déroulement de l'essai de gonflement libre.

**Figure 21** : L'essai de compression simple à l'œdomètre.

**Figure 22** : Le calcimètre utilisé pour l'essai de la teneur en carbonate de calcium.

**Figure 23** : Déroulement de l'essai VBS.

**Figure 24** : La courbe granulométrique de site A (Dely Brahim).

**Figure 25** : La courbe granulométrique de site B (Ouled Fayet).

**Figure 26** : Les profiles de la densité sèche ( $\gamma_d$ ) pour le site A et le site B.

**Figure 27** : Les profiles de la teneur en eau (W) pour le site A et le site B.

**Figure 28** : Les profiles de l'indice de plasticité ( $I_p$ ) de site A et site B.

**Figure 29** : Les profiles de la limite de liquidité (WL) de site A et site B.

**Figure 30** : Classification des argiles des sites étudiés.

**Figure 31** : Les tâches de VBS des échantillons étudiés.

**Figure 32** : Ordre de grandeur de la VBS

**Figure 33** : Courbe de la compressibilité à l'œdomètre.

**Figure 34** : Profiles de l'indice de compression ( $C_c$ ) de site A et site B.

**Figure 35** : Profiles de l'indice de gonflement ( $C_g$ ) de site A et B.

**Figure 36** : Courbe de gonflement libre.

**Figure 37** : La classification de Williams et Donaldson (1980) pour les sites étudiés.

**Figure 38** : Courbe Contrainte-Déformation de l'échantillon 2.

**Figure 39** : Courbe intrinsèque de l'essai de cisaillement de type UU.

**Figure 40** : Les profils de la cohésion pour le site A et le site B.

**Figure 41** : Model d'un MEB.

### LISTE DES TABLEAUX

**Tableau 01** : La profondeur des échantillons.

**Tableau 02** : Les caractéristiques physiques des sols étudiés.

**Tableau 03** : Les résultats de teneur en  $\text{CaCO}_3$  pour tous les échantillons.

**Tableau 04** : Les valeurs de la VBS des sols étudiés.

**Tableau 05** : Les résultats de la compressibilité à l'œdomètre du deuxième échantillon.

**Tableau 06** : Les résultats du gonflement libre.

**Tableau 07** : Les caractéristiques de la compressibilité des sols étudiés.

**Tableau 08** : Les résultats du cisaillement à la boîte de Casagrande de type UU réalisée sur l'échantillon 2.

**Tableau 09** : Les paramètres de cisaillement pour les deux sites (Dely Brahim et Ouled Fayet.)

## Liste des principales notations et indices

### LISTE DES PRINCIPALES NOTATIONS ET INDICES

Symbole	Définition
W	Poids total du sol
$W_s$	Poids des particules solides
$W_w$	Poids de l'eau
V	Volume total (apparent)
$V_s$	Volume des particules solides
$V_v$	Volume des vides entre les particules
$V_w$	Volume de l'eau
$V_a$	Volume de l'air
W(%)	Teneur en eau pondérale
m	Masse totale
$m_w$	Masse de l'eau
$m_s$	Masse solide
$W_w$	Poids de l'eau
$W_s$	Poids solide
V	Vitesse de décantation
D	Diamètre de la particule
$\gamma_s$	Poids volumique des grains solides
$\gamma_w$	Poids volumique du liquide
$\mu$	Viscosité dynamique du liquide
$d_y$	Diamètre du particule
$W_L$	Limite de liquidité
N	Nombre de coups (limites d'Atterberg)
$W_P$	Limite de plasticité
$I_P$	L'indice de plasticité
N	Effort de compression
T	Effort horizontal de traction

## Liste des principales notations et indices

A	Surface de la boîte de Casagrande
$\sigma$	Contrainte normale
$\tau$	Contrainte de cisaillement
C	Cohésion
$\Phi$	L'angle de frottement
P	Précipitations
T	Température
H	Humidité
P	Perméabilité
$\gamma_d$	Le poids volumique sec
Sr	Degré de saturation.
Pb	Poids de bleu de méthylène
Pe	Poids de l'échantillon
e0	L'indice des vides initial
ef	L'indice de vides finale
$\sigma_c$	La contrainte de préconsolidation
$\sigma_{v_0}$	La contrainte initiale
Cc	L'indice de compression
Cg	L'indice de gonflement
Pg	Pression de gonflement

## Table des matières

ملخص

Résumé

Abstract

Remercîments

Dédicace

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des principales notations et indices

Introduction générale.....1

**Chapitre I : Généralités sur les sols fins.....2**

1. Introduction ..... 2

2. Définition des argiles..... 2

3. Origine des argiles:..... 3

3.1 L'héritage ..... 3

3.2 La transformation ..... 3

3.3 La néoformation ..... 3

4. Structure minéralogique des argiles ..... 4

4.1 Les minéraux argileux..... 4

4.2 Les principales familles des argiles..... 4

4.2.1 La kaolinite..... 4

4.2.2 L'illite..... 5

4.2.3 La montmorillonite..... 6

5. Les méthodes de caractérisation géotechnique..... 7

5.1 Caractérisation physique ..... 7

5.1.1 Teneur en eau (pondérale)  $w$  : *NF P94-050*. ..... 8

5.1.2	Analyse granulométrique.....	8
5.1.2.1	Tamissage : NF P94-056.....	9
5.1.2.2	Sédimentométrie : NF P94-057 .....	10
5.1.3	Limites d'Atterberg : <i>NF P 94-051</i> .....	10
5.1.3.1	Limite de liquidité .....	10
5.1.3.2	Limite de plasticité .....	11
5.1.3.3	L'indice de plasticité.....	11
5.2	Caractérisation mécanique .....	11
5.2.1	Cisaillement direct à la boîte de Casagrande : <i>NF P94-071-1</i> .....	11
5.2.2	L'essai de gonflement à l'œdomètre : XP P 94-090-1 (AFNOR, 1997).....	13
5.2.3	L'essai de compressibilité à l'œdomètre : <i>NF P94-090-1</i> .....	13
5.3	Caractérisation chimique et minéralogique.....	14
5.3.1	La teneur en Carbonate de Calcium CaCO <sub>3</sub> : <i>NF P94-048</i> .....	14
5.3.2	Valeur de bleu de méthylène VBS : <i>NF P 94-068</i> .....	14
5.3.3	Analyse minéralogique.....	15
6.	Conclusion :.....	15
<b>Chapitre II : Présentation du site</b> .....		16
1.	Introduction :.....	16
2.	Géologie régionale : .....	17
2.1	Le primaire .....	17
2.2	Secondaire.....	17
2.3	Le tertiaire .....	17
2.4	Le quaternaire.....	17
3.	Géologie locale.....	17
4.	Climat d'Alger.....	19
5.	Le réseau hydrographique .....	20

6.	Hydrogéologie.....	21
7.	Conclusion.....	21
<b>Chapitre III : Caractérisation physico-mécanique et minéralogique.....</b>		<b>22</b>
1.	Introduction.....	22
2.	Matériels et méthodes.....	22
2.1.1	La teneur en eau pondérale.....	23
2.1.2	Analyse granulométrie .....	23
2.1.3	Limites d'Atterberg.....	26
2.1.4	Cisaillement.....	26
2.1.5	Gonflement libre.....	27
2.1.6	Compressibilité à l'œdomètre.....	28
2.1.7	Teneur en carbonate de calcium.....	29
2.1.8	Essai de bleu de méthylène VBS.....	30
3.	Résultats et discussion.....	31
3.1	Analyse granulométrique .....	31
3.2	Paramètres d'identification.....	32
3.3	Teneur en Carbonate de Calcium.....	37
3.4	Valeur de bleu de méthylène .....	37
3.5	Paramètres mécaniques .....	39
3.5.1	Paramètres de compressibilité.....	39
3.5.2	Gonflement libre.....	42
3.5.3	Les paramètres de résistance au cisaillement.....	44
4.	Caractérisation minéralogique.....	47
4.1	Principe du microscope électronique à balayage.....	47
4.2	Principe de diffractométrie aux rayons X (DRX).....	48
4.3	Principe de l'analyse Raman .....	49

## Table des matières

---

4.4	Résultats et discussion.....	49
4.4.1	Diffraction des rayons X .....	49
4.4.2	L'analyse RAMAN : .....	50
4.4.3	MEB .....	50
	CONCLUSION GENERALE .....	53
	Références bibliographiques	
	Annexes	



### INTRODUCTION GENERALE

Les formations marneuses couvrent une large partie du Nord algérien. Ce sont des dépôts néogène d'origine marine (Bouteldja et al, 1997). Elles contiennent les carbonates de calcium ainsi que des minéraux argileux.

Les propriétés physique et mécanique des marnes sont variables et peuvent être contrôlés par les facteurs suivants (Anagnostopoulos et al, 1991) :

- La minéralogie : type et concentration des minéraux argileux et des carbonates de calcium ;
- La granulométrie ;
- La fissuration et l'altération.

Les marnes plaisanciennes couvrent une large surface au sud-ouest d'Alger, région connue par le Sahel d'Alger, et représentent le substratum sur lequel se développe la ville d'Alger (Derriche et Cheikh-Lounis, 2004).

L'objectif de ce travail est d'améliorer la compréhension du comportement des marnes plaisanciennes et de fournir des éléments utiles à l'engineering. Cette étude tente de mieux comprendre les propriétés physiques, mécaniques et minéralogiques de ces derniers.

Pour atteindre notre but, notre travail est articulé comme suite :

- Une synthèse bibliographique sur les argiles et les minéraux argileux, ainsi que les méthodes de caractérisation géotechnique (physique, mécanique et minéralogique) ;
- présentation et description du site d'étude du point de vue géologique, hydrogéologique et climatologique ;
- Analyse de données géotechniques collectées auprès des laboratoires et entreprise de construction ;
- Collecte d'échantillons (06 échantillons) au niveau de parc Dounia sis à Daly Brahim et exécution d'essais d'identification, mécanique et minéralogique.

Enfin cette étude se termine par une conclusion qui résume les résultats obtenus.

## 1. Introduction

Les sols fins sont des matériaux meubles issus de la dégradation et de la décomposition des roches par des agents atmosphériques et biologiques. Ils se présentent sous forme de feuillets (Mirsal, 2008; Gobat, et al, 2010).

## 2. Définition des argiles

Il existe plusieurs définitions des argiles. Le terme « argile » n'aura pas le même sens en mécanique des roches, en physique du sol, ou en poterie ; il désigne, selon les cas, un ensemble d'espèces minérales, une famille de roches, une catégorie de sols ou encore une classe granulométrique (Gaombalet, 2004). Il apparaît ainsi essentiel de présenter les définitions actuelles admises par la nomenclature internationale, définitions qui seront prises pour références dans cette étude. (Guggenheim, et al, 2006). Le terme « argile » est ainsi défini comme : « matériau naturel qui est composé essentiellement de minéraux finement divisés, plastique après hydratation avec une quantité d'eau appropriée, et qui durcit au séchage ou à la cuisson.

L'argile brute contient généralement des particules élémentaires dont le diamètre des grains est inférieur à 2 micromètre ( $<2\mu\text{m}$ ) qui représente les individus cristallins (phase minérale pure), appelés minéraux argileux responsable de ses propriétés tel que : le gonflement, la plasticité et les propriétés d'adsorption, (Chauvel et Monnier, 1969, 1972, 1967).

Dans les sols, ces particules élémentaires sont en général liées entre elles par des ciments de nature très diverse (carbonates, composés organiques, composés minéraux amorphes ou oxydes et hydroxyde de fer et d'aluminium, quartz feldspaths) au sein d'agrégat de tailles beaucoup plus grandes, (Choufa, 2013).

Les argiles sont des roches silicatées en feuillets (phyllo silicates), riches en alumine et plus ou moins hydratées. Elles forment seules ou en association avec d'autres roches, plus de 50 % des roches sédimentaires. Elles sont considérées comme des sols fins, et constituées de particules cristallines qui proviennent de la décomposition chimique des constituants de la roche. Le diamètre équivalent des particules d'argile varie approximativement de 1 nm à 0,002mm, (Robitaille et Tremblay, 1997).

D'une manière générale, un sol contenant plus de 3% de particules argileuses possède déjà des propriétés d'un sol argileux. Lorsque la proportion de particules argileuses dépasse 30%, le sol est considéré comme une argile, (Xiang-Ling LI, 1999).

En Mécanique des Sols, on définit la fraction argileuse d'un sol comme étant la teneur en particules de moins de 2  $\mu\text{m}$  de diamètre. Le matériau est lui-même qualifié d'argile s'il contient plus de 50% de minéraux argileux (et une faible quantité de matières organiques) (Gaombalet, 2004).

### 3. Origine des argiles:

Depuis cinquante ans, l'origine des minéraux argileux des sols a été largement étudiée, notamment par « l'école française » (Millot, 1964; Duchaufour, 1965; Pedro, 1994) et « l'école anglo-saxonne » (Jackson, 1965; Wilson, 1999). Ces travaux issus de la science du sol s'inscrivent tous dans le même schéma conceptuel sur les processus d'altération à l'origine des minéraux argileux : la séquence d'altération. C'est une succession de réactions transformant irréversiblement les phyllosilicates de haute température (micas, chlorite) en interstratifiés puis smectite puis kaolinite puis gibbsite. Cette « chaîne de réactions » décrit les grandes tendances observables à l'échelle des zones climatiques de la planète mais ne permet pas d'aborder les processus d'altération supergène ni les mécanismes de l'évolution des minéraux argileux du sol. Ces mécanismes ne sont abordables qu'en utilisant le concept de microsysteme, (Meunier, et al, 2007).

#### 3.1 L'héritage

Le minéral argileux est directement issu de la roche mère sans modification de ses caractéristiques cristallographiques, (Millot, 1964).

#### 3.2 La transformation

Les conditions de surface entraînent une modification des caractéristiques cristallographiques du minéral argileux, néanmoins sa structure de base originelle reste conservée, (Millot, 1964).

#### 3.3 La néoformation

Les conditions de surface entraînent la dissolution des minéraux primaires contenus dans la roche mère (argileux et/ou non argileux). Les cations et anions issus de cette dissolution passent dans la solution du sol. Si les conditions de nucléation et de croissance d'un minéral argileux sont réunies, un nouveau minéral argileux est formé dans le sol. Le minéral argileux est dans ce cas un minéral argileux secondaire néoformé tel que les kaolinites des sols latéritiques, (Millot, 1964).

## 4. Structure minéralogique des argiles

### 4.1 Les minéraux argileux

Les argiles sont essentiellement composées de minéraux argileux. Les caractéristiques physico-chimiques de ces derniers sont donc des facteurs déterminants pour le comportement mécanique, (Xiang-Ling LI, 1999).

Les particules des minéraux argileux présentent, en effet, deux caractéristiques particulières et importantes :

- Elles sont de très petite taille et associent l'eau à leur structure, ce qui leur confère des propriétés colloïdales intéressantes de point de vue géomécanique ;
- La majorité des minéraux argileux se caractérise par une microstructure lamellaire ou foliaire, organisée selon une intégration multi-échelle. En conséquence, la surface spécifique des minéraux argileux ainsi que la capacité d'échange cationique peuvent être élevées. Ces deux paramètres rendent compte de plusieurs propriétés hydromécaniques importantes. Tels que le phénomène d'adsorption d'eau autour des particules argileuses et au sein de la structure foliaire, la capacité de gonflement chez certaines espèces minérales, l'étendu du domaine de plasticité, etc, (Xiang-Ling LI, 1999).

### 4.2 Les principales familles des argiles

Les trois familles les plus connues de minéraux argileux sont la Kaolinite, la Montmorillonite et l'Illite.

#### 4.2.1 La kaolinite

La kaolinite est formée de couches élémentaires comprenant chacune un feuillet tétraédrique et un feuillet octaédrique qui renferme des atomes d'aluminium (gibbsite), (Figure 01).

Ces minéraux sont relativement inactifs, non gonflants, dont la formule chimique est  $[\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4]$ , riche en alumine.

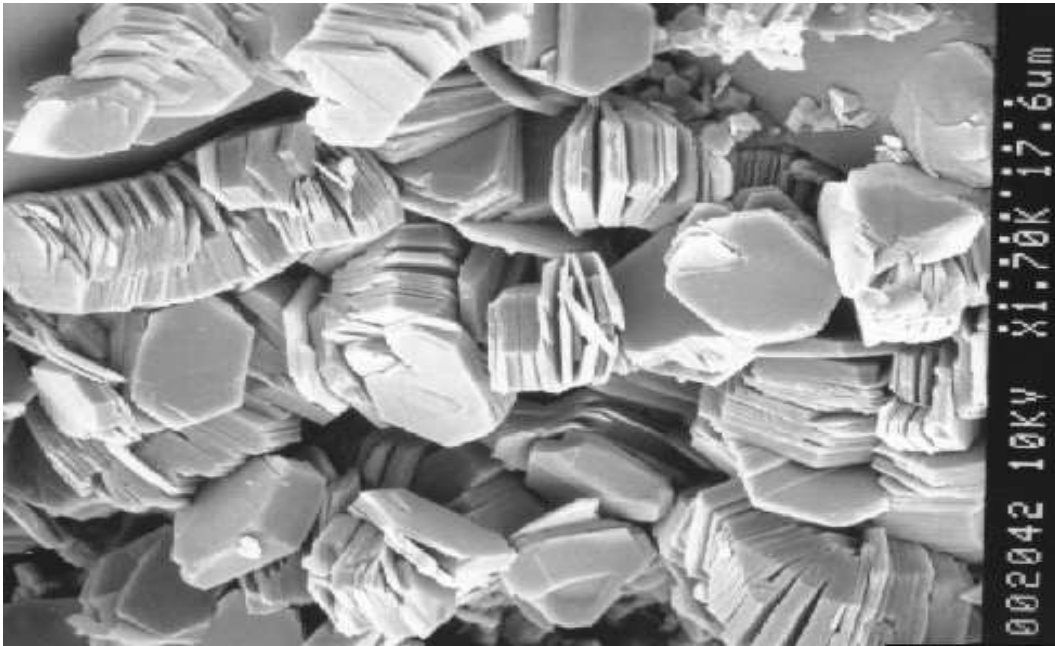


Figure 01 : Structure de la kaolinite en vue microscopique au MEB, (Bougeois, 2015).

#### 4.2.2 L'illite

Découverte pour la première fois à l'université de l'Illinois (USA) par le professeur R.E. Grim, (Figure 02), elles sont parmi les minéraux les plus répandus à la surface de la terre. Leur structure est analogue à celle des micas. La formule chimique de l'illite est:

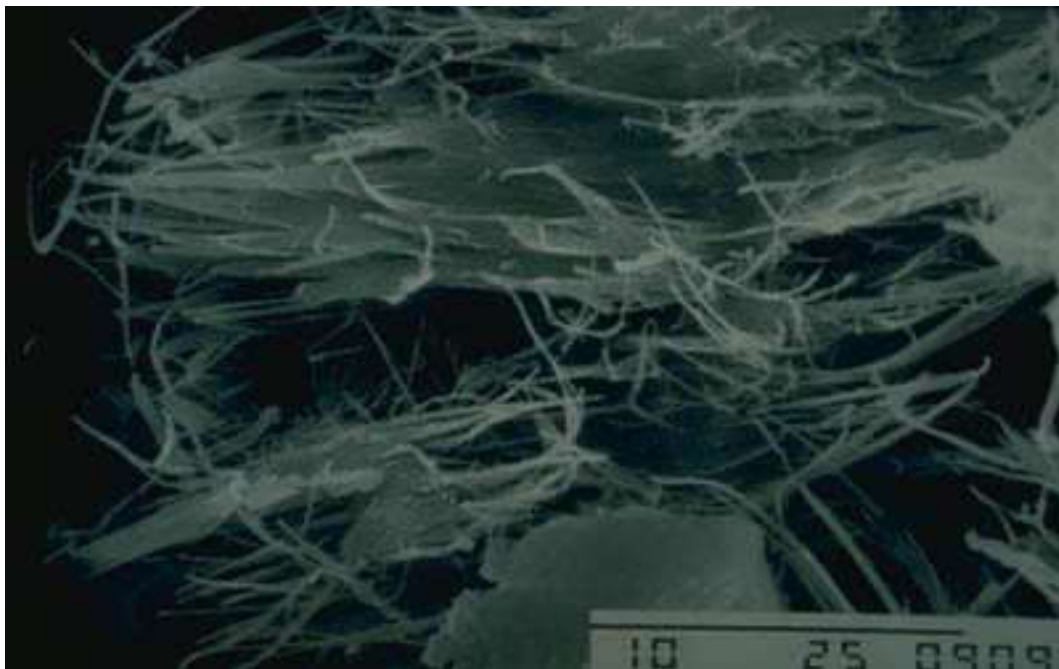


Figure 02 : Structure de l'illite en vue microscopique au MEB, (Bougeois, 2015).

### 4.2.3 La montmorillonite

Découverte à monmorillon en France, elle est constituée de deux feuillets tétraédriques placés de part et d'autre d'un feuillet octaédrique contenant des atomes d'aluminium (gibbsite), elle porte parfois le nom de Smectite, (Figure 03).

La montmorillonite est alors une famille de minéraux argileux actifs dont La formule chimique est :  $[\text{Si}_4\text{Al}(2-x)\text{Mg}_x\text{O}_{10}(\text{OH})_{2x}(\text{cation échangeables})_n\text{H}_2\text{O}]$ .



**Figure 03 :** Structure de la montmorillonite en vue microscopique au MEB, (Bougeois, 2015).

La composition minéralogique des argiles joue un rôle très important dans le comportement des sols. Le phénomène de gonflement présente une des manifestations les plus courantes des sols fins. La présence de montmorillonites (de la famille des smectites) contribue largement à ce phénomène. À noter que l'activité des montmorillonites (définie comme le rapport entre l'indice de plasticité et le pourcentage d'éléments inférieurs à 2 µm) est de l'ordre de 7 contre moins de 1 pour l'illite et la kaolinite, (Gregory, et AL, 2016).



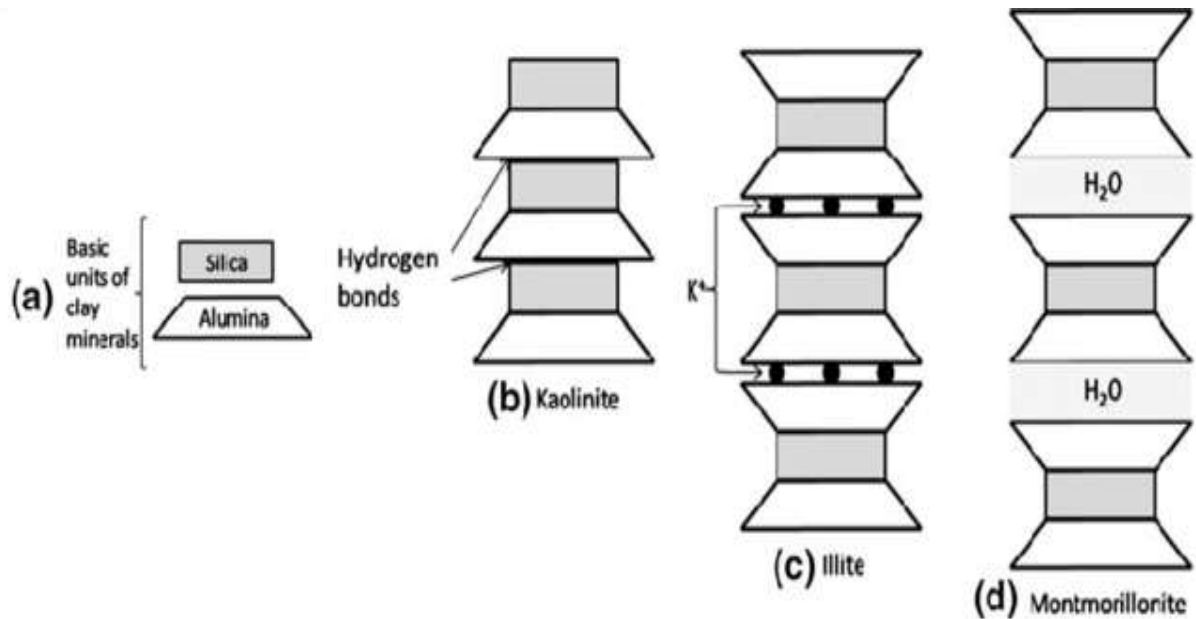


Figure 04 : Structures minéralogiques de la kaolinite, illite, montmorillonite, (DAS, 2008).

## 5. Les méthodes de caractérisation géotechnique

L'argile en particulier a fait l'objet de nombreux travaux de recherche sur sa nature minéralogique et physico-chimique.

La caractérisation des différents types d'argile se fait essentiellement par un certain nombre d'essais en laboratoire ou in situ qui permettent de déterminer les paramètres d'état, la nature du matériau, ainsi que son comportement mécanique et hydraulique.

### 5.1 Caractérisation physique

Avant d'analyser le comportement mécanique des sols, il est nécessaire de définir certains paramètres qui se rapportent aux diverses proportions dans lesquelles se trouvent le squelette solide, l'eau et l'air constituant le sol.

Pour cela considérons la représentation suivante d'un sol dans laquelle les trois phases sont séparées, (Figure 05).

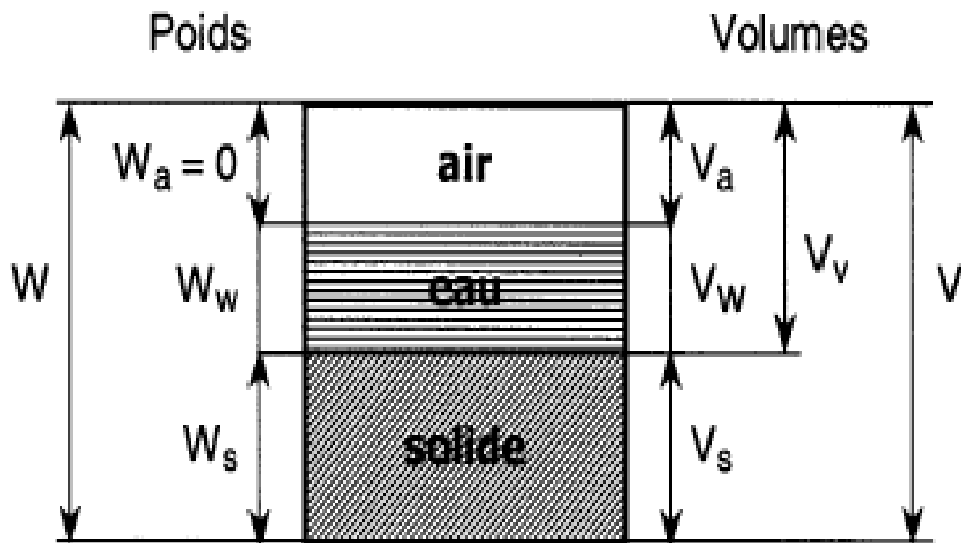


Figure 05 : Représentation conventionnelle d'un volume de sol Poids et volume des différentes phases.

Notations conventionnelles:

$W$  : poids total du sol ;

$W_s$  : poids des particules solides ;

$W_w$  : poids de l'eau ;

$V$  : volume total (apparent) ;

$V_s$  : volume des particules solides ;

$V_v$  : volume des vides entre les particules ;

$V_w$  : volume de l'eau ;

$V_a$  : volume de l'air.

### 5.1.1 Teneur en eau (pondérale) $w$ : NF P94-050.

C'est la caractéristique la plus facile à déterminer.

La teneur en eau se détermine par deux pesées, Une première pesée de l'échantillon à l'état initial donne la masse  $m$  de l'échantillon humide et une deuxième pesée, après passage à l'étuve à 105°C pendant 24 heures (évaporation de l'eau libre et de l'eau capillaire), donne la masse sèche de l'échantillon  $m_s$ , (Léreau, 2006).

$$w = \frac{m_w}{m_s} \cdot 100 = \frac{W_w}{W_s} \cdot 100 \quad \text{Avec : } m_w = m - m_s.$$

### 5.1.2 Analyse granulométrique :

Les grains d'un sol ont des dimensions très variables pouvant aller de la dizaine de centimètres au micromètre. Un essai d'identification important consiste à étudier la



granulométrie du sol, c'est-à-dire la distribution des grains suivant leur dimension en déterminant par pesée l'importance relative des classes de grains de dimensions bien définies, (Costet et Sanglerat, 1975).

### 5.1.2.1 Tamisage : NF P94-056

Lorsque la dimension des particules est supérieure à 80  $\mu$  l'analyse granulométrique serait un simple tamisage.

On utilise habituellement pour ce faire des passoire dont les trous ont un diamètre variant de 100 à 12.5, puis des tamis dont l'ouverture inférieure des mailles varie de 5 mm à 100 $\mu$ . Par définition, le diamètre d'une particule est égal à l'ouverture intérieure des mailles du plus petit tamis la laissant passer, (Costet et Sanglerat, 1975).

### 5.1.2.2 Sédimentométrie : NF P94-057

Lorsque la dimension des particules est inférieure à 80  $\mu$ m le tamisage n'est plus possible. On a alors recours à la sédimentométrie Cette méthode est basée sur la loi de Stokes qui exprime la vitesse limite de chute d'une particule sphérique dans un liquide visqueux en fonction du diamètre de la particule, (Figure 06), (Costet et Sanglerat, 1975).

Cette relation s'écrit: 
$$V = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18 \mu} \cdot D^2$$

**Avec :**

V : vitesse de décantation,

D : diamètre de la particule,

$\gamma_s$  : poids volumique solide.

$\gamma_w$  : poids volumique du liquide utilisé (eau+  
défloculant),

$\mu$  : viscosité dynamique du liquide

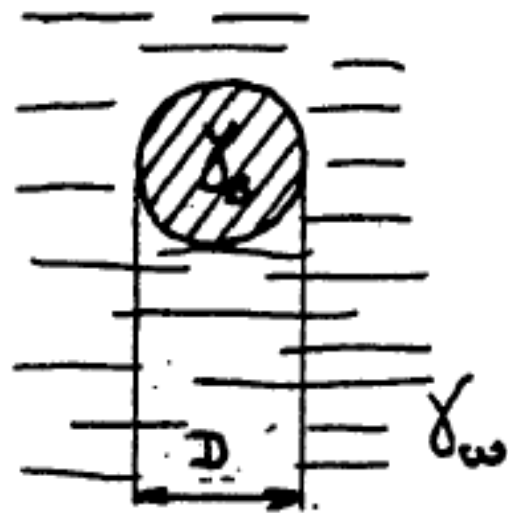


Figure 06 : Loi de Stokes.

La façon la plus courante de présenter les résultats de cette mesure consiste à dresser une courbe granulométrique qui donne pour chaque diamètre  $d_y$  le poids  $y$  des particules de cette taille ou de taille inférieure.

La courbe est dressée en coordonnées semi-logarithmiques afin de permettre une représentation plus précise des fines particules dont l'influence est capitale sur le comportement des sols, (Costet et Sanglerat, 1975).

**5.1.3 Limites d'Atterberg : NF P 94-051**

C'est l'un des essais d'identifications les plus importants.

Ces limites sont mesurées, avec un appareillage normalisé, sur le mortier, c'est-à-dire la fraction de sol qui passe au tamis de 0,40 mm.

**5.1.3.1 Limite de liquidité**

Pour déterminer la limite de liquidité, on étend sur une coupelle une couche d'argile dans laquelle on trace une rainure au moyen d'un instrument en forme de V (Figure 07). On imprime à la coupelle des chocs semblables en comptant le nombre de chocs nécessaires pour fermer la rainure sur 1 cm, on mesure alors la teneur en eau de la pâte, bien entendu, tout l'appareillage est rigoureusement normalisé, (Costet et Sanglerat, 1975).

$$W_L = w \left( \frac{N}{25} \right)^{0.121}$$

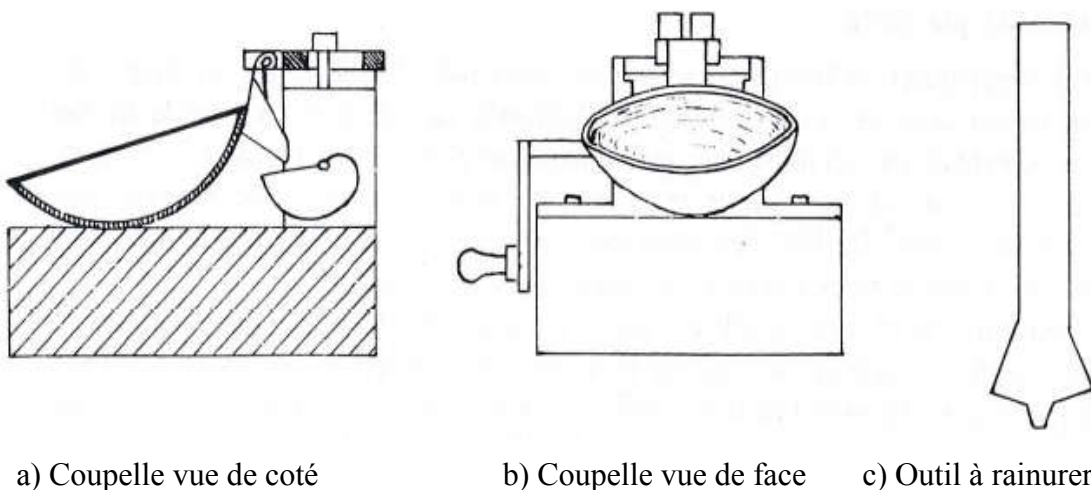


Figure 07 : mesure de la limite de liquidité.

### 5.1.3.2 Limite de plasticité

Pour déterminer la limite de plasticité, on roule l'échantillon en forme de fuseau qu'on amincit progressivement. La limite de plasticité  $w_p$  est la teneur en eau (exprime en %) du fuseau qui se brise en petits tronçons de 1 à 2 cm de long au moment où son diamètre atteint 3 mm. On exécute en général deux essais pour déterminer cette limite, (Costet et Sanglerat, 1975).

### 5.1.3.3 Indice de plasticité

L'indice de plasticité, noté  $I_p$ , est le paramètre le plus couramment utilisé pour caractériser l'argilosité des sols. C'est la différence entre la limite de liquidité et la limite de plasticité, (Costet et Sanglerat, 1975).

Il s'exprime par la relation:  $I_p = w_L - w_p$

## 5.2 Caractérisation mécanique

Le comportement mécanique des matériaux est caractérisé par des paramètres qui permettent d'estimer les tassements, la compressibilité ou la consolidation, et la résistance au cisaillement des sols. Ces paramètres sont obtenus à partir des essais géotechniques en laboratoire.

### 5.2.1 Cisaillement direct à la boîte de Casagrande : *NF P94-071-1*

#### *Principe de l'appareil :*

La boîte de Casagrande ou boîte de cisaillement est destinée aux essais de cisaillement rectiligne, dans lesquels on cherche à obtenir la rupture de l'échantillon suivant un plan imposé (Figure 08).

PLASTICITÉ ET RÉSISTANCE AU CISAILLEMENT

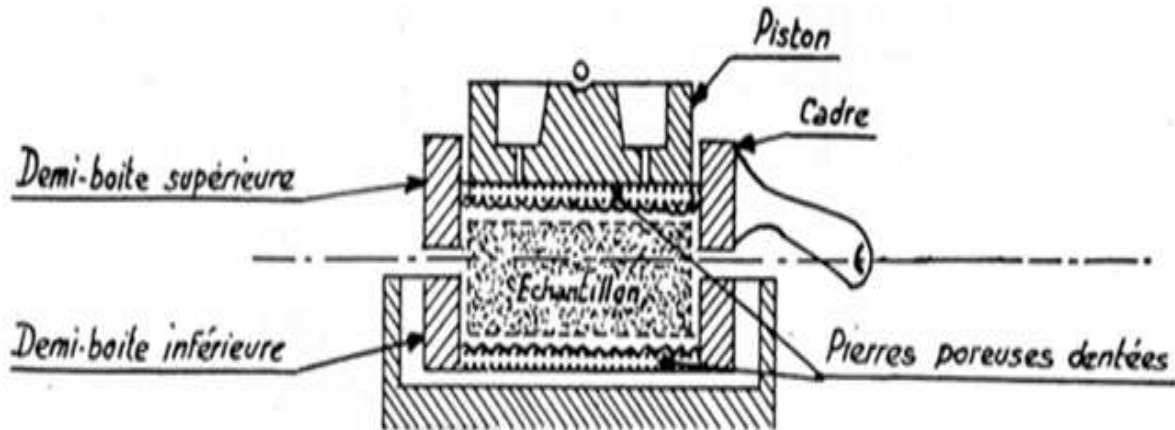


Figure 08 : Boîte de Casagrande

**Principe de l'essai :**

L'échantillon a généralement la forme d'une plaquette carrée. Il est placé entre deux demi-boîtes, mobiles l'une par rapport à l'autre et sans contact (elles sont séparées par l'échantillon). On applique par l'intermédiaire de la demi-boîte supérieure un effort de compression  $N$  et un effort horizontal de traction  $T$ . Le matériau se rompt alors, pour une certaine valeur de  $T$ , suivant le plan de séparation des deux demi-boîtes qui coïncide sensiblement avec le plan horizontal de symétrie de l'échantillon, (Sanglerat, 1975).

La connaissance de  $N$  et  $T$  permet la détermination d'un point de la courbe intrinsèque. En effet, si  $A$  est la surface de la boîte, les composantes de la contrainte critique sont :

$$\sigma = \frac{N}{A} \quad \text{et} \quad \tau = \frac{T}{A}$$

**Bute de l'essai :**

Il a pour objectif de déterminer la résistance au cisaillement du sol ainsi que les caractéristiques mécaniques ( $c$  et  $\phi$ ) pour une contrainte normale donnée ( $\sigma$ ), suivant un plan de cisaillement horizontal imposé, (Costet et Sanglerat, 1975).

D'autre part un piston qui traverse la partie supérieure de la cellule permet de charger verticalement l'échantillon qui est ainsi soumis également à une contrainte longitudinale  $\sigma_1$ . On mesure les deux contraintes principales  $\sigma_1$  et  $\sigma_r$  au moment de la rupture, ce qui permet de tracer le cercle de Mohr correspondant.

### 5.2.2 L'essai de gonflement à l'œdomètre : XP P 94-090-1 (AFNOR, 1997)

L'essai de gonflement libre est issu directement des procédures conventionnelles de l'essai œdométrique. Après montage dans la bague œdométrique, l'éprouvette est soumise à l'imbibition sous le poids du piston. Après stabilisation du gonflement, le chargement s'effectue par paliers selon un taux de chargement approprié jusqu'à stabilisation des déformations sous chaque palier. La pression de gonflement correspond à la charge qu'il est nécessaire d'appliquer pour ramener l'éprouvette à sa hauteur initiale. Dans le cas des sols moyennement à fortement gonflants, cette procédure peut entraîner une modification de leur structure pendant le gonflement avant le retour à une déformation nulle, (Serratrice, et al, 1996).

L'essai de gonflement à l'œdomètre s'effectue sur des matériaux fins mis en présence d'eau. Il permet de déterminer la pression de gonflement d'un matériau ainsi que sa déformation lorsqu'il est soumis, en présence d'eau, à des contraintes verticales inférieures à cette pression de gonflement.

Il est utilisé pour apprécier le comportement d'ouvrage pouvant être affectés par la présence de matériaux gonflants.

### 5.2.3 L'essai de compressibilité à l'œdomètre : NF P94-090-1

L'essai de compressibilité des sols – ou essai œdométrique – est un grand classique des essais géotechniques au même titre que l'essai triaxial et la boîte de Casagrande (norme XP P94-090-1). Il permet de mesurer la compressibilité d'un échantillon de sol fin saturé en fonction du temps et ainsi de tracer une courbe de comportement appelée *courbe œdométrique* ou *courbe de compressibilité*. Elle établit la relation entre les contraintes effectives verticales et les déformations (ou les indices des vides). L'essai est très long et se déroule par tranches de 24 heures.

Il 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, (Léreau, 2006).

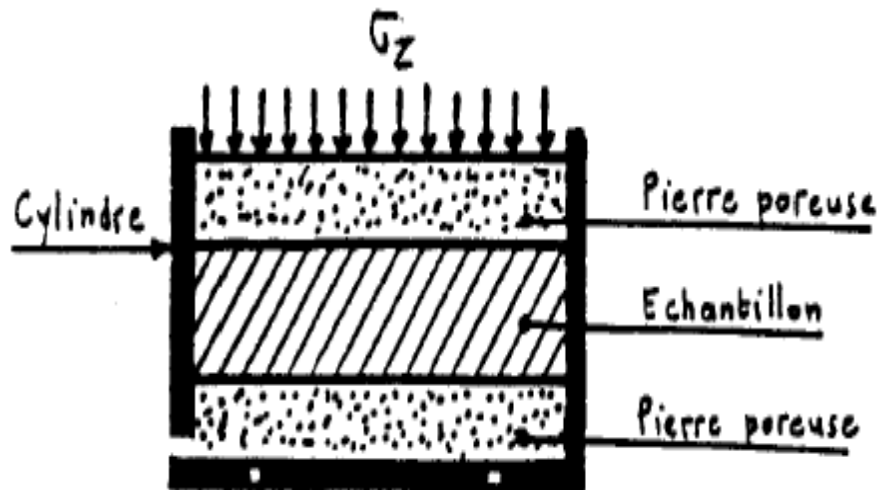


Figure 09 : Cellule œdométrique, (Léreau, 2006).

### 5.3 Caractérisation chimique et minéralogique

#### 5.3.1 La teneur en Carbonate de Calcium $\text{CaCO}_3$ : NF P94-048.

La détermination de la teneur en  $\text{CaCO}_3$  s'effectue au calcimètre Dietrich- Fruling.

L'essai consiste à mesurer à l'aide d'une burette à gaz le volume de  $\text{CO}_2$  dégagé par la réaction du HCl sur le carbonate de calcium contenu dans l'échantillon. L'acide chlorhydrique dilué décompose le carbonate de calcium selon la réaction:



La teneur en  $\text{CaCO}_3$  d'un sol fin est un bon indice de sa résistance mécanique et de sa sensibilité à l'eau. Suivant la valeur de cette teneur, le comportement du sol évolue depuis celui d'une argile jusqu'à celui d'une roche, la valeur de transition étant aux alentours de 60 - 70 %, (Léreau, 2006).

#### 5.3.2 Valeur de bleu de méthylène VBS : NF P 94-068

Il s'agit aussi d'un paramètre permettant de caractériser l'argilosité d'un sol. Son application est récente.

Ce paramètre, noté VBS (valeur de bleu du sol), représente la quantité de bleu de méthylène pouvant s'adsorber sur les surfaces externes et internes des particules argileuses

Contenues dans la fraction du sol considéré; c'est donc une grandeur directement liée à la surface spécifique du sol.

L'essai consiste à introduire progressivement du bleu de méthylène dans une suspension de sol maintenu en agitation. On prélève périodiquement une goutte de la suspension que l'on dépose sur un papier chromatographique. Dès qu'une auréole bleutée se développe autour de

la tache ainsi formée on peut considérer que l'adsorption du bleu de méthylène sur les particules d'argile est terminée. En effet, c'est l'excès de bleu de méthylène qui apparaît dans l'auréole.

La VBS traduit globalement la quantité et la qualité (activité) de la fraction argileuse du sol. Elle s'exprime en grammes de bleu pour 100g de sol, (Léreau, 2006).

### 5.3.3 Analyse minéralogique

L'analyse minéralogique fait appel à l'observation au microscope électronique à l'étude par diffraction des rayons X, à l'analyse chimique.

L'analyse minéralogique d'un sol est généralement un essai qui apporte beaucoup d'informations, car le comportement des sols fins est fonction de leur composition minéralogique. Par exemple une forte teneur en montmorillonite indiquera un sol très sensible à l'eau pouvant donner lieu à des gonflements ou des retraits importants, (Léreau, 2006).

## 6. Conclusion :

L'étude des propriétés physiques et chimiques, et la détermination des caractéristiques mécaniques sont nécessaires pour caractériser et classer le sol, et aussi pour avoir une idée sur leur comportement dans la nature avec le temps.



### 1. Introduction :

Les marnes occupent une grande partie des sols en Algérie du nord, elles sont le siège de nombreux problèmes géotechnique (glissements, gonflement), (Derriche et Cheikh, 2004; Bouteldja et Neggazi et Ourari, 1997).

En effet la genèse de ces marnes réside souvent dans l'altération des roches basiques sous des conditions climatiques alternant saison sèche, saison humide, (Modou, 2002).

L'étude concerne deux sites situés dans le sahel marneux d'Alger (Figure 10) :

- Daly Brahim;
- Ouled Fayet.

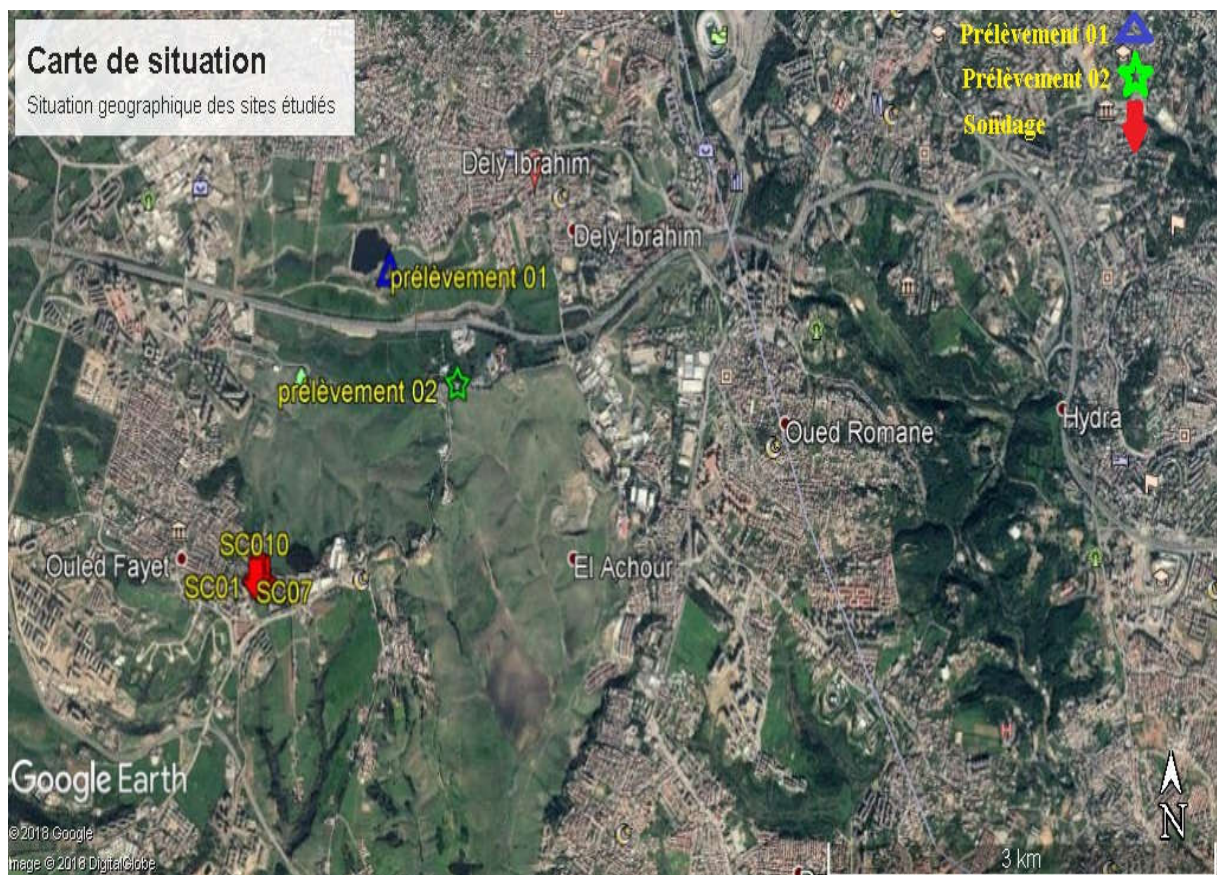


Figure 10 : Situation géographique des sites étudiés, (Google Earth, 2018).



### 2. Géologie régionale :

La région d'Alger présente une structure géologique assez complexe (Figure 11) peut être présentée comme un dôme métamorphique primaire bordé par des terrains sédimentaires tertiaires et quaternaires, (Derriche et Cheikh, 2004).

#### 2.1 Le primaire

Il représenté par un socle métamorphique constitue de roche cristallophylliennes très tectonisées. Ces roches affleurent entre Ain banian, bouzaréah et le port d'Alger et réapparaissent à l'ouest de sidi Fredj et à l'est de bordj el bahri.

#### 2.2 Secondaire

- Crétacé : il est remarqué par la présence par des craies, cette roche étant répondeue dans les formations de cette période.

#### 2.3 Le tertiaire

Il est marqué par une lacune de l'éocène et de l'oligocène, il recouvre en discordance le socle métamorphique. On y retrouve les étages suivants :

- Le miocène inférieure : formé de grés et de poudingues, Il est particulièrement tectonisé et possède des aires d'affleurement réduites.
- Le pliocène inférieure : il est argilo-marneux. Il affleure dans le sahel, son épaisseur dépasse 200 mètres. Il est recouvert par des sédiments astiens ou par des formations plus récentes.
- Le pliocène supérieure : il est argilo-sableux, gréseux ou argilo-gréseux et calcaire.

#### 2.4 Le quaternaire

Il englobe de nombreux termes lithologiques : sable, grés, dunaires, limons, éboulis et formation de pente. Le sahel est argileux, marneux et grésocalcaire, (Derriche et Cheikh-Lounis, 2004).

### 3. Géologie locale

Le sahel d'Alger est formé essentiellement de terrain marneux d'âge plaisancien, parfois altérés en surface et compacte en profondeur, épais, à couverture grésosableuse astienne très érodé formant le faciès de transition entre le plaisancien marneux et l'astien molassique. Ces marnes ayant des caractéristiques géotechniques médiocres qui les rendent

très sensibles à l'eau et favorisant l'apparition d'instabilité, (Derriche et Cheikh-Lounis, 2004), (Bougdel, 2007).

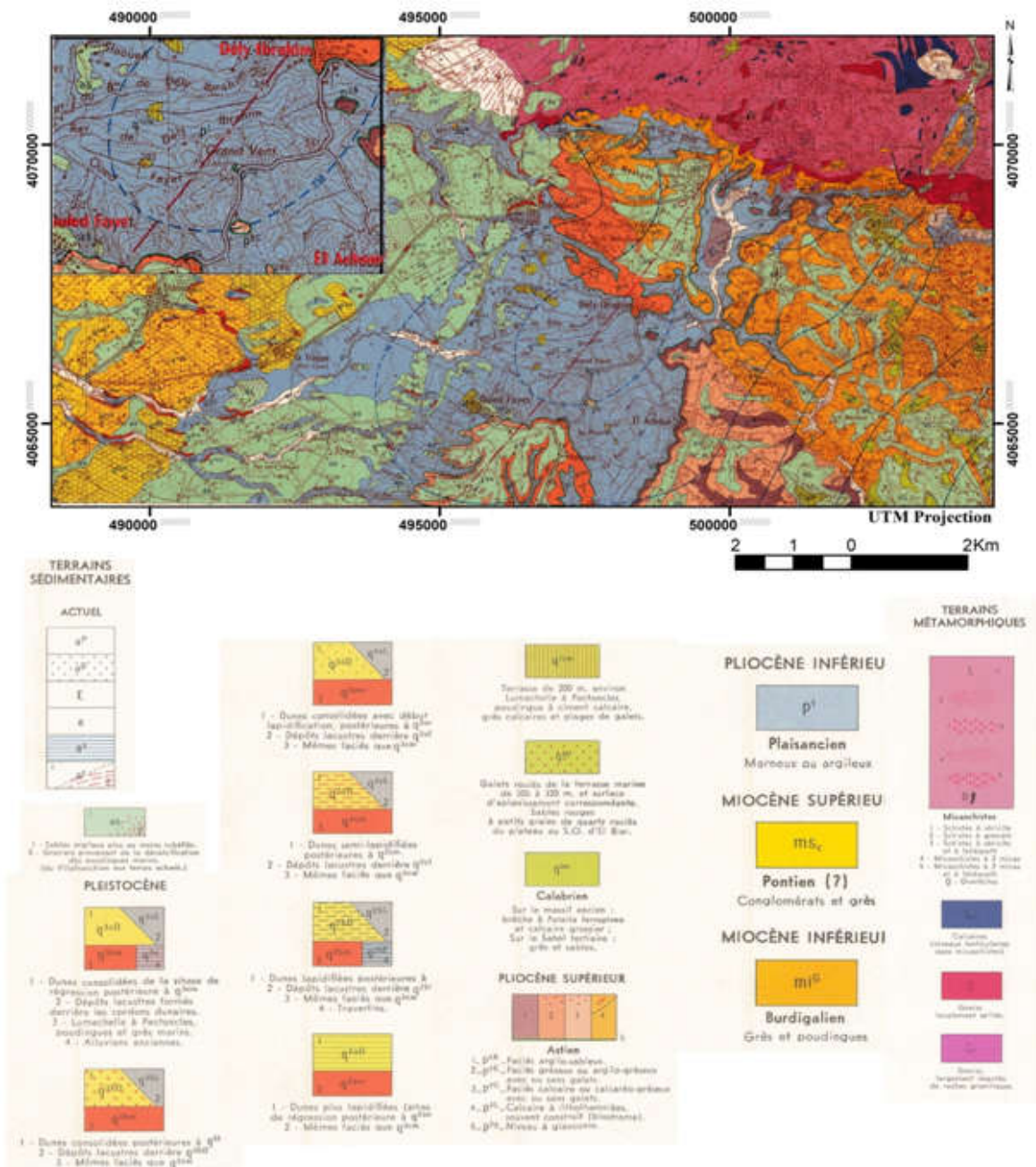


Figure 11 : Carte géologique du site étudié (extrait de la carte géologique de Chéraga 1/50000), (Royer, 1961).

#### 4. Climat d'Alger

Alger possède un climat méditerranéen tempéré marqué par une période pluvieuse relativement longue qui s'étend entre les mois d'octobre à mai et une période sèche qui s'étend de mai à septembre, (Figure 12), (Graph P-T-H).

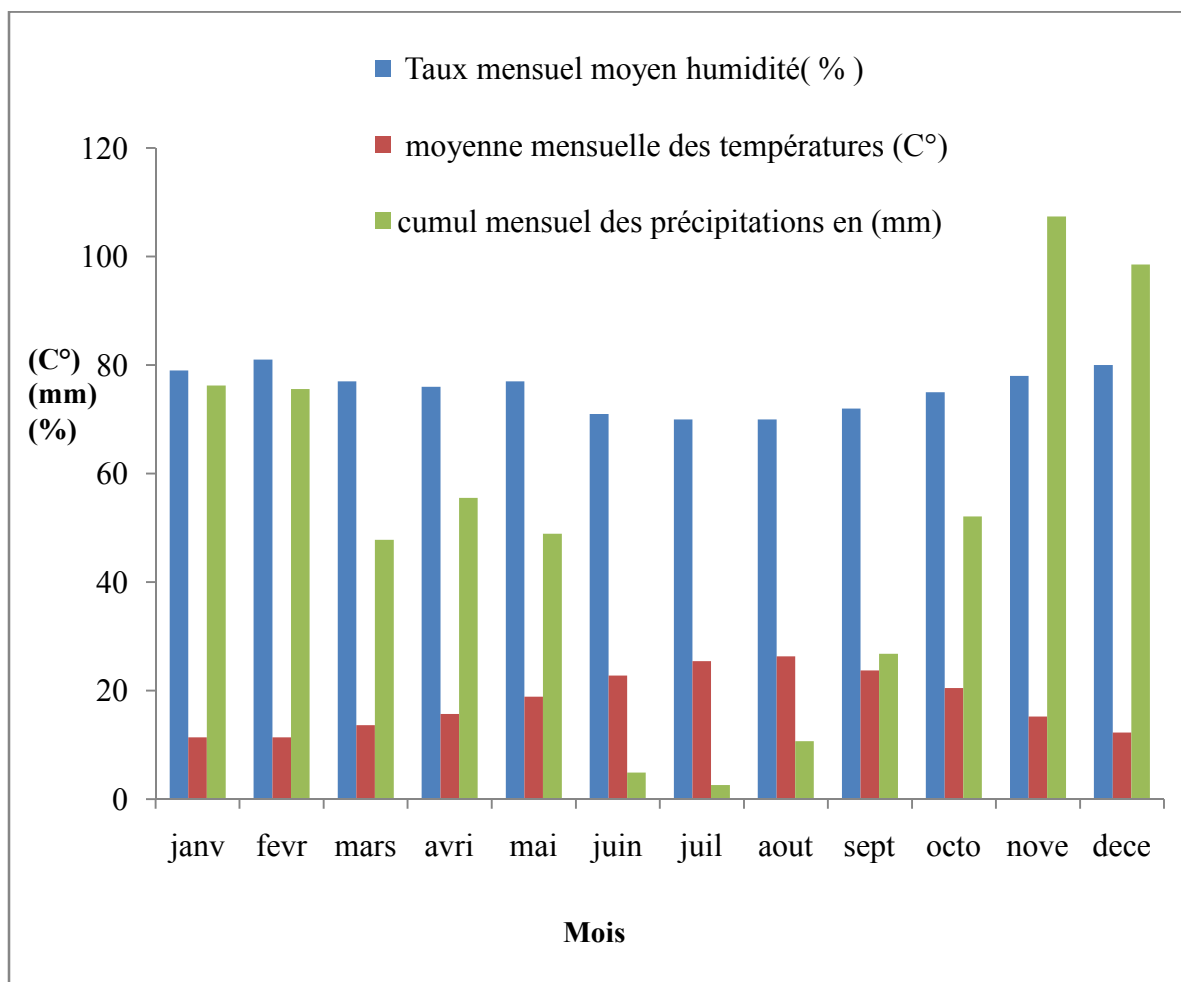


Figure 12 : Variations mensuelles des températures, humidités et précipitations de l'année 2008 dans le site d'Alger (données de l'office nationale météorologique d'el Dar el Beida).

Dans la saison hivernale la pluviométrie est relativement élevée, les précipitations ont une valeur annuelle qui peut atteindre ou dépasser les 800 mm (803.1 mm enregistrés en 2008), mais leur répartition est irrégulière à Alger les pluies sont accompagnées d'orage courte et violent. L'humidité relative varie d'une moyenne de 77.87% en hiver et 72% en été, la température moyenne varie entre 11.4 C° enregistré en janvier et 26.3 C° en aout.

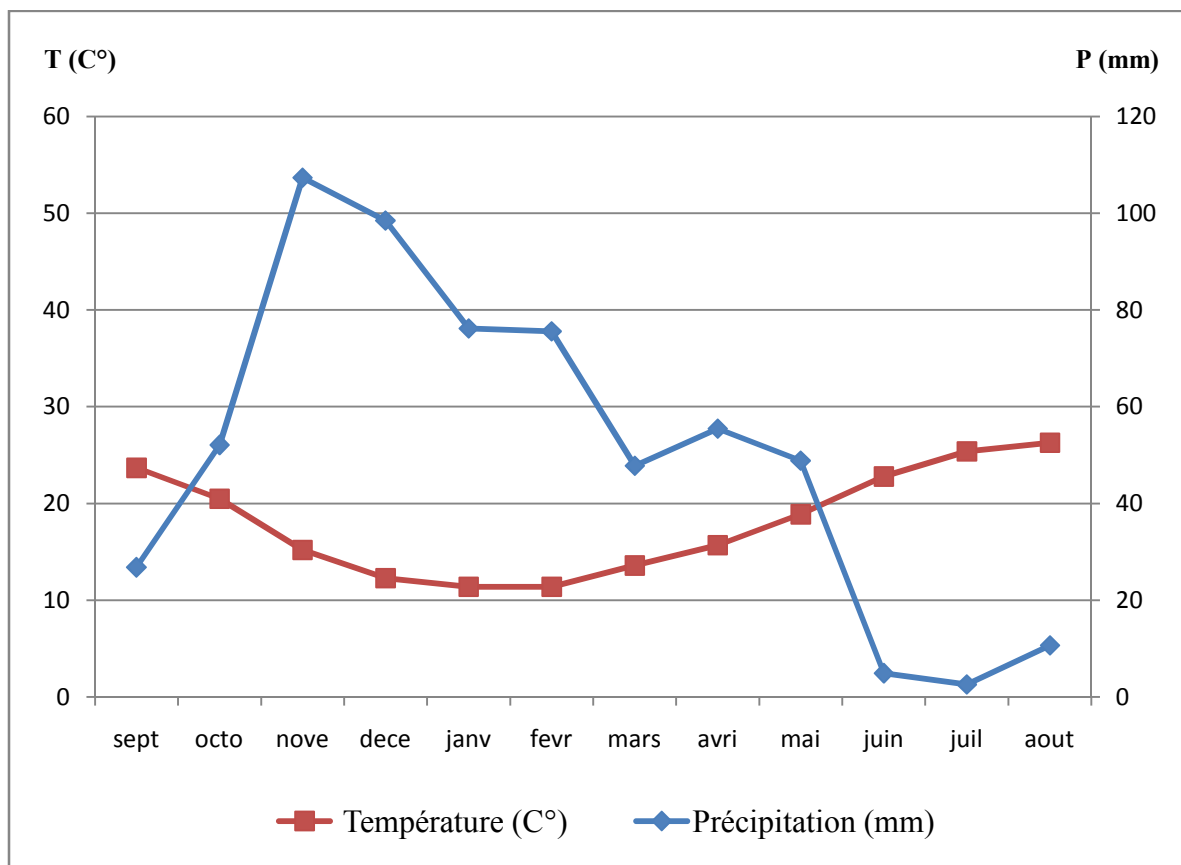


Figure 13 : Diagramme ombrothermique de l'année 1996-2008.

Le diagramme ombrothermique d'Alger (Figure 13) montre que la période sèche s'étale de mi-mai à septembre avec quelque averse au mois d'aout, ce diagramme fait apparaitre un grand écart entre la T (C°) moyennes de l'été et celle de l'hiver et une alternance marquée des périodes sèches et humides. Cependant le taux d'humidité ne varie pas beaucoup au cours de l'année et il tourne autour de 77%, l'air est donc humide tout le long d'année. Ces caractéristiques ont une répercussion importante sur le comportement des sols argileux, elles provoquent de grandes variations dans les teneurs en eau, ce qui peut se traduire par d'importantes variations volumes et par conséquent des instabilités peuvent être engendrées causant différents dommages sur les structures.

### 5. Le réseau hydrographique

Le sahel d'Alger est bordé à l'est par l'oued el Harrach et à l'ouest par l'oued mazafran et est traversé par de nombreux cours d'eau. Les données montrent que le réseau hydrographique est plus dense au niveau des marnes.

Les cours d'eau sont caractérisés par un régime hydrographique propre au climat méditerranéen à deux saisons distinctes durant lesquelles les apports d'eau sont variables. Durant l'été les lits sont secs tandis qu'en hiver il s'y produit des crues violentes.

### 6. Hydrogéologie

La marne d'Alger est quasiment imperméable ( $K = 10^{-11}$  m/s). Elle constitue le mur de plusieurs aquifères comme la molasse astienne. Toutes fois les sondages ont mis en évidence la présence d'eau dans les niveaux altérés, cette eau constitue une nappe d'eau superficielle temporaire formée pendant la saison pluvieuse par infiltration dans les fissures (Derriche et cheikh-lounis, 2004).

### 7. Conclusion

Les sites étudiés sont composés d'une formation géologique formée essentiellement de marne et l'argile.

Dans le plan climatique, les sites se situent au nord de l'Algérie, ils sont soumis à un climat méditerranéen à deux saisons distinctes (sèche et humide).

L'alternance des saisons sèches et humides provoque des cycles de sécheresse humidification qui se traduisent par une dégradation continue de la stabilité du sol. Ces conditions hydrographiques et géomorphologiques et climatiques se conjuguent pour faire des marnes plaisanciennes d'Alger une formation à stabilité très précaire.

## 1. Introduction

Les données utilisées dans cette étude ont été collectées au niveau des laboratoires d'études de sols et entreprises (LNHC et LCTP).

## 2. Matériels et méthodes

Cette étude consiste à analyser les données issues de campagnes géotechniques antérieures réalisées dans le cadre des projets de construction des bâtiments et divers ouvrages. Notre travail se divise en trois parties :

- 1) La première partie consiste à collecter les données géotechniques des différents rapports géotechniques issus des deux sites, où 06 rapports ont été consultés ; à partir desquels 179 résultats des essais de laboratoire ont été analysés répartie comme suite :

*Pour le site A (Daly Brahim) :* 121 essais ont été analysés dont :

- 41 essais d'analyse granulométrique ;
- 28 essais de cisaillement ;
- 33 essais de consolidation ;
- 07 essais de gonflement libre ;
- 12 essais de compressibilité à l'œdomètre ;

*Pour le site B (Ouled Fayet) :* 58 essais ont été analysés dont :

- 16 essais d'analyse granulométrique ;
- 07 essais de cisaillement ;
- 02 essais de gonflement libre ;
- 33 essais de compressibilité à l'œdomètre ;

- 2) La deuxième partie consiste en une analyse et une interprétation de différents paramètres géotechniques à savoir la densité sèche, l'analyse granulométrique, les limites d'Atterberg, la teneur en eau, la compressibilité à l'œdomètre, le cisaillement à la boîte de Casagrande et le gonflement libre.
- 3) La troisième partie de ce travail a pour but d'enrichir les données collectés et ce par le prélèvement de six échantillons à différentes profondeurs au niveau du parc Dounia sis à Daly Brahim (Tableau 01), et qui ont fait l'objet d'analyse au laboratoire sol du LNHC.

**Tableau 01** : La profondeur des échantillons.

<b>Echantillons</b>	<b>Ech 01</b>	<b>Ech 02</b>	<b>Ech 03</b>	<b>Ech 04</b>	<b>Ech 05</b>	<b>Ech 06</b>
<b>Profondeur (m)</b>	00 - 0.30	11 - 12	00 - 0.30	0.30 - 0.60	0.60 - 0.70	00 - 01

L'ensemble des échantillons collectés ont fait l'objet des essais suivants :

### **2.1.1 La teneur en eau pondérale**

La teneur en eau des différents échantillons collectés a été réalisée suivant la norme NF P94-050.

### **2.1.2 Analyse granulométrie**

L'analyse granulométrique a été réalisée par tamisage par voie humide pour la fraction supérieure à 80  $\mu\text{m}$  suivant la norme NF P94-056 (Figure 14).



**Figure 14** : Essai d'analyse granulométrique par tamisage réalisé au niveau de LNHC.

Et pour les sols dont les dimensions sont inférieures à  $80\mu\text{m}$ , la granulométrie a été déterminée par sédimentation suivant la norme NF P94-057 (Figure 15) au niveau du laboratoire national d'habitat et de construction (LNHC).



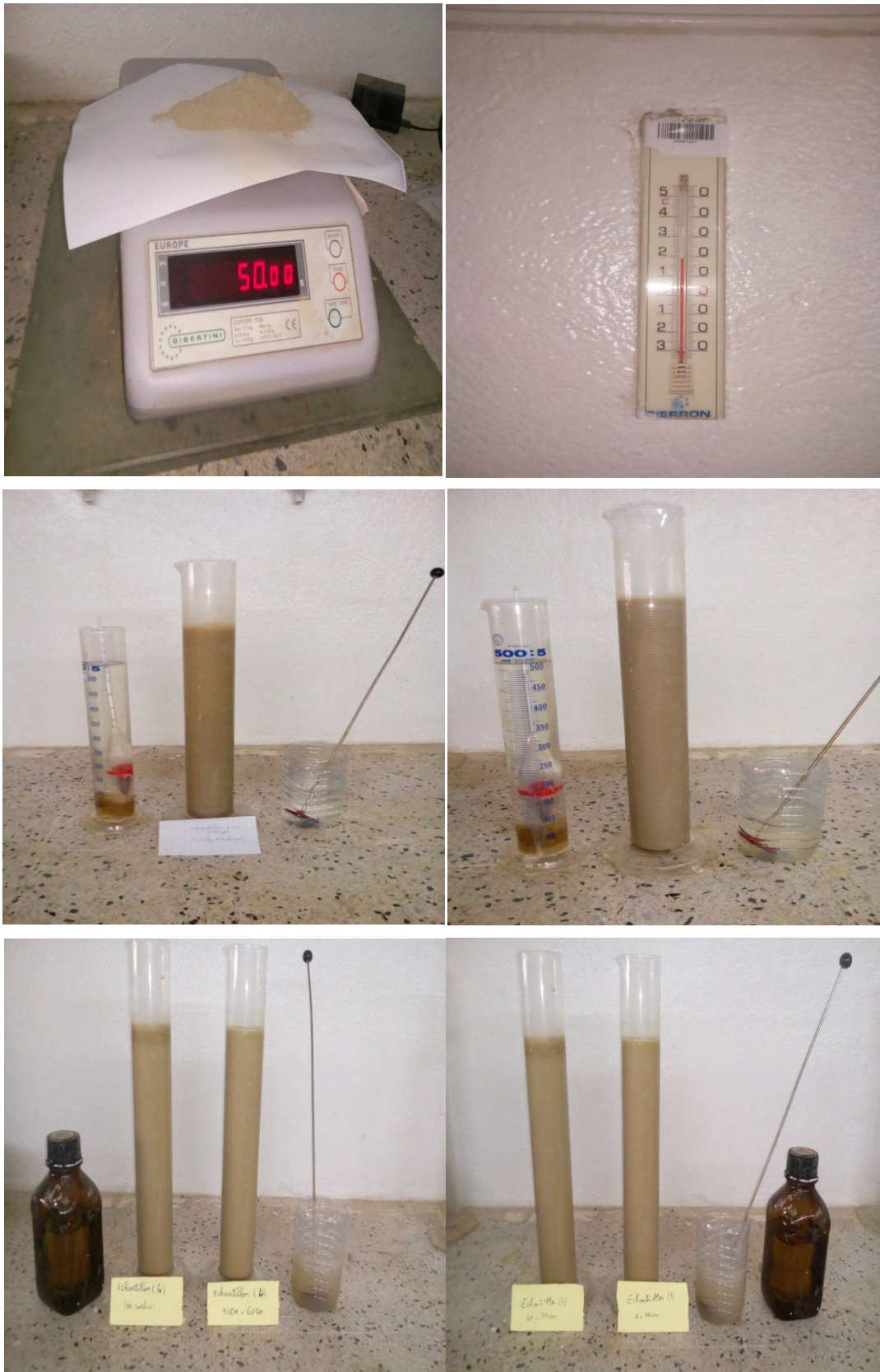


Figure 15 : Essai d'analyse granulométrique par sédimentométrie réalisé au niveau de LNHC.

**2.1.3 Limites d'Atterberg**

Les limites d'Atterberg ont été déterminées selon la norme NF P94-051 (Figure 16) et (Figure 17).



**Figure 16 :** Détermination de la limite de liquidité en utilisant la coupelle de Casagrande.



**Figure 17 :** Détermination de la limite de plasticité.

**2.1.4 Cisaillement**

Afin de déterminer la résistance au cisaillement du sol ( $c$  et  $\phi$ ), on a soumis l'échantillon 02 à un cisaillement direct, rectiligne, suivant un plan imposé, de type UU, où les pressions interstitielles ne dissipent pas.

L'essai s'effectue, sans consolidation préalable, drainages fermés, sous une vitesse de cisaillement rapide (de l'ordre de 1 mm/min) selon la norme NF P94-071-1, (Figure 18), L'essai correspond au comportement à court terme d'un sol fin non saturé.



**Figure 18 :** L'appareil de cisaillement utilisé.

### **2.1.5 Gonflement libre**

L'essai de gonflement libre a été réalisé sur l'échantillon 02 suivant la norme XP P 94-090-1 (AFNOR, 1997), (Figure 19) et (Figure 20).





Figure 19 : Préparation de la cellule œdométrique pour l'essai de gonflement libre.



Figure 20 : Déroulement de l'essai de gonflement libre.

**2.1.6 Compressibilité à l'œdomètre**

L'essai de compressibilité à l'œdomètre a été réalisé sur l'échantillon 02 suivant la norme NF P94-090-1, (Figure 21).



**Figure 21** : L'essai de compression simple à l'œdomètre.

**2.1.7 Teneur en carbonate de calcium**

La détermination de la teneur en  $\text{CaCO}_3$  s'effectue au calcimètre Dietrich- FrÜling (Figure 22), suivant la norme NF P94-048.



Figure 22 : Le calcimètre utilisé pour l'essai de la teneur en carbonate de calcium.

### 2.1.8 Essai de bleu de méthylène VBS

A été réalisé suivant la norme (NF P 94-068) sur les six échantillons (Figure 23).



Figure 23 : Déroulement de l'essai VBS.

### 3. Résultats et discussion

#### 3.1 Analyse granulométrique

Les courbes granulométriques des deux sites sont représentés dans les Figures 24 et Figure 25. Le pourcentage des particules inférieure à 80 µm varie entre 95% - 100% pour le site A et entre 92% - 100% et pour le site B. Les sols constituant les deux sites sont des sols fins. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Derriche et Cheikh-Lounis (2004) où le fuseau granulométrique des marnes saines paraît légèrement plus étroit et s’inscrit dans celui des marnes altérées. Cette différence dans la distribution granulométrique peut s’expliquer par des fissures de dessiccation qui peuvent se remplir par les dépôts grenus apportés par les eaux d’infiltration pendant la saison hivernale. La présence d’une grande concentration en fines peut avoir une étroite implication dans les problèmes d’instabilités.

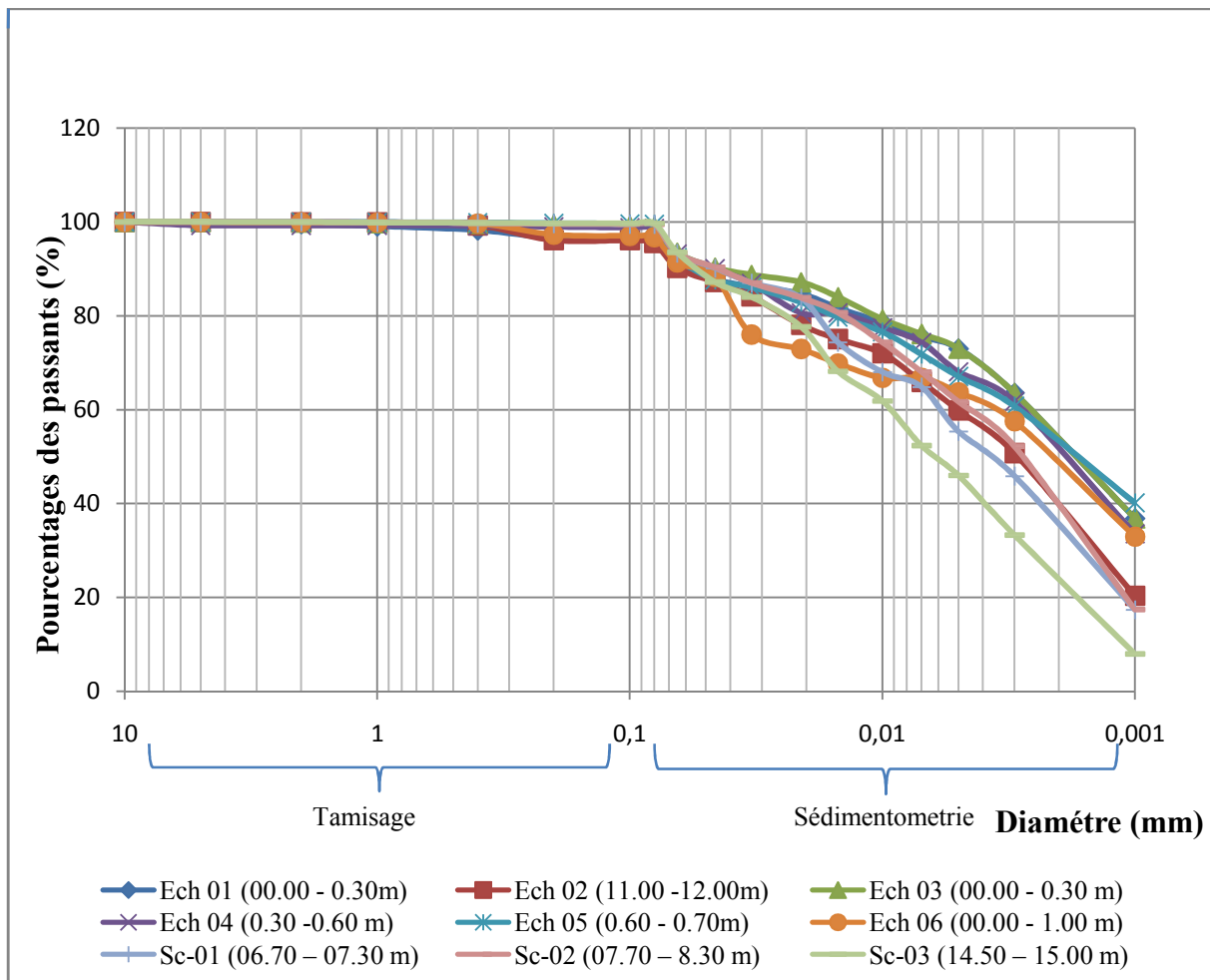


Figure 24 : La courbe granulométrique de site A (Dely Brahim).

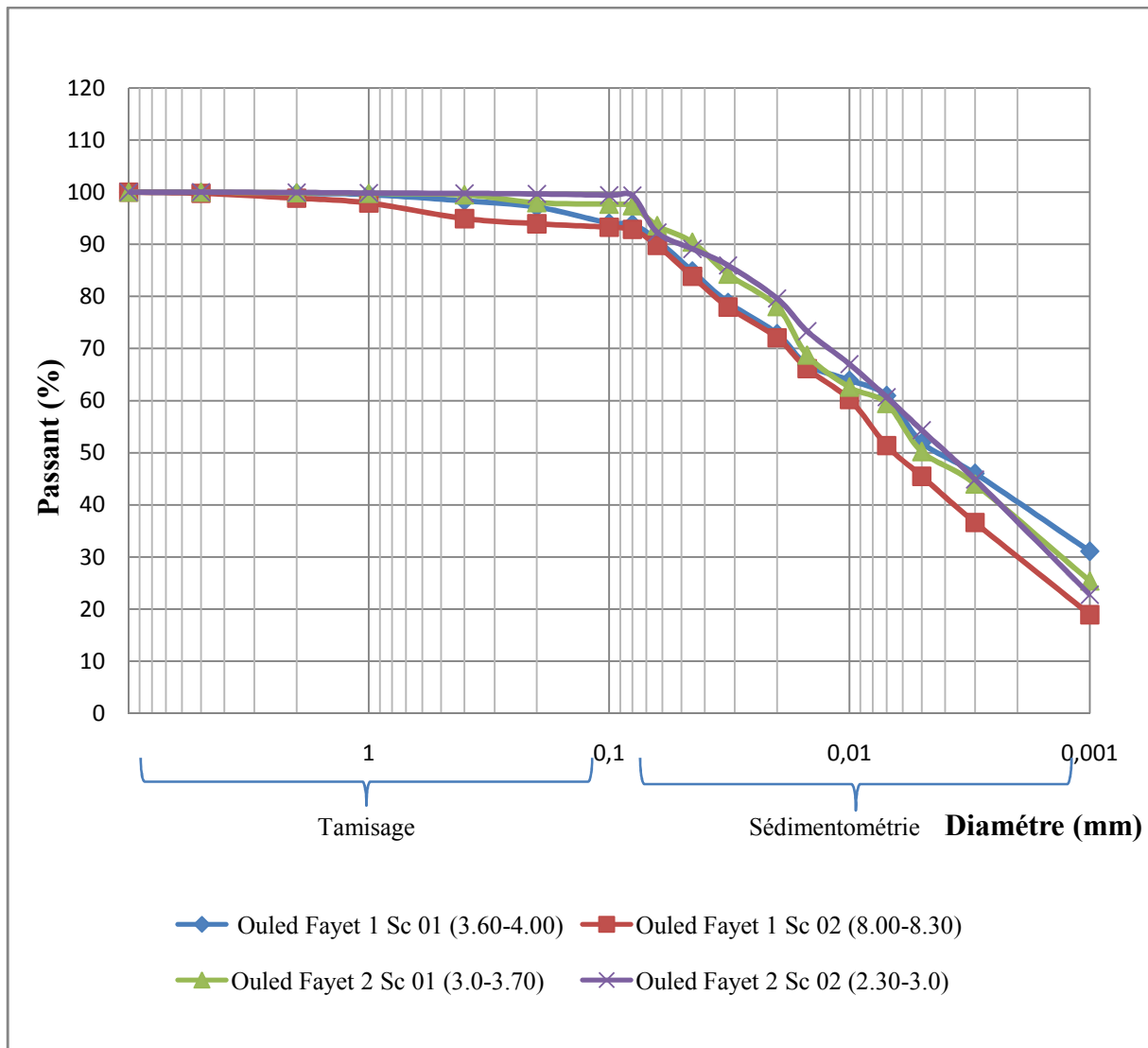
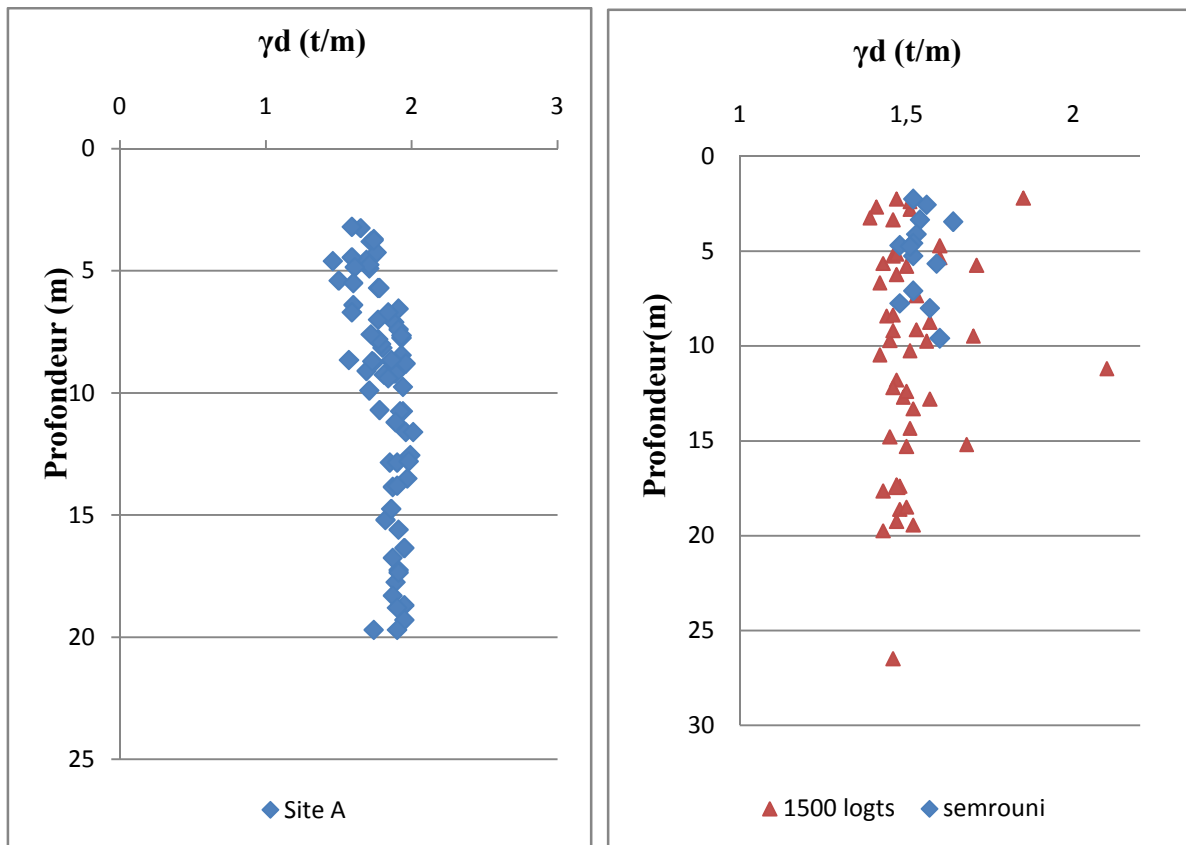


Figure 25 : La courbe granulométrique de site B (Ouled Fayet).

### 3.2 Paramètres d'identification

Le poids volumique sec pour le site A varie de 14.46 à 20.1 KN/m<sup>3</sup> et pour le site B de 13.9 KN/m<sup>3</sup> à 21 KN/m<sup>3</sup> (Figure 26). On remarque que la densité sèche augmente avec la profondeur pour le site A, alors qu'elle est pratiquement peu variable pour le site B. L'analyse des différents sondages montre que les couches marneuses constituant ce site présentent des fissurations qui s'étalent jusqu'en profondeur.





**Figure 26 :** Les profiles de la densité sèche ( $\gamma_d$ ) pour le site A et le site B.

Les teneurs en eau varient de 12% à 33% pour les deux sites et tendent à diminuer avec la profondeur (Figure 27), Ce qui indique que ces argiles sont partiellement saturées à saturées selon Chikhi et Houari, 2004.

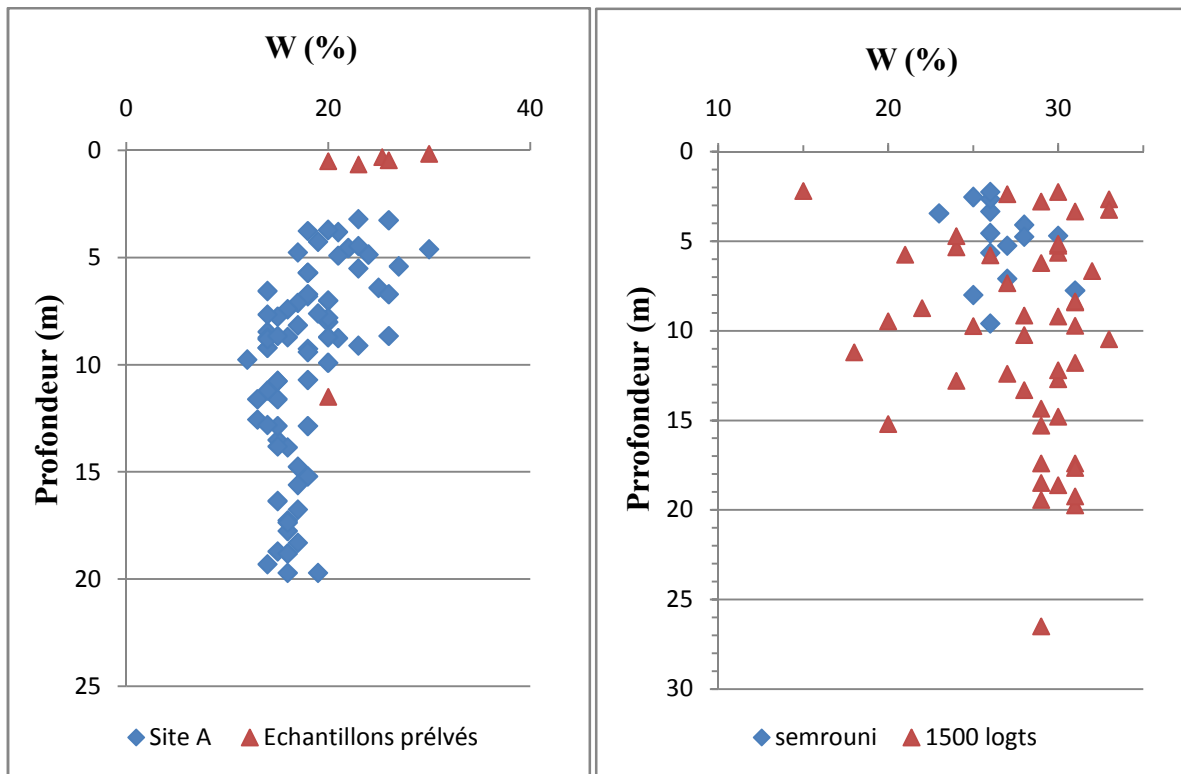


Figure 27 : Les profils de la teneur en eau (W) pour le site A et le site B.

Les indices de plasticité pour le site de Dely Brahim (site A) varient de 20 à 29% et de 18 à 39 % pour le site de Ouled Fayet (Figure 28). La limite de liquidité varie peu avec la profondeur pour les deux sites (Figure 29), ce qui explique la tendance au gonflement des sites étudiés selon Chikhi et Houari, 2004. Cela conduit à considérer  $I_p$  comme l'un des paramètres importants dans les propriétés de rétention d'eau du terrain et donc de gonflement. C'est la raison pour laquelle un certain nombre de corrélations ont été rapidement recherchées entre les limites d'Atterberg et les propriétés de gonflement des sols.

Le positionnement des points représentatifs de ces paramètres sur l'abaque de Casagrande (Figure 30), indique que la plupart des échantillons étudiés, correspondant aux argiles des différents sites, sont de moyenne à forte plasticité.

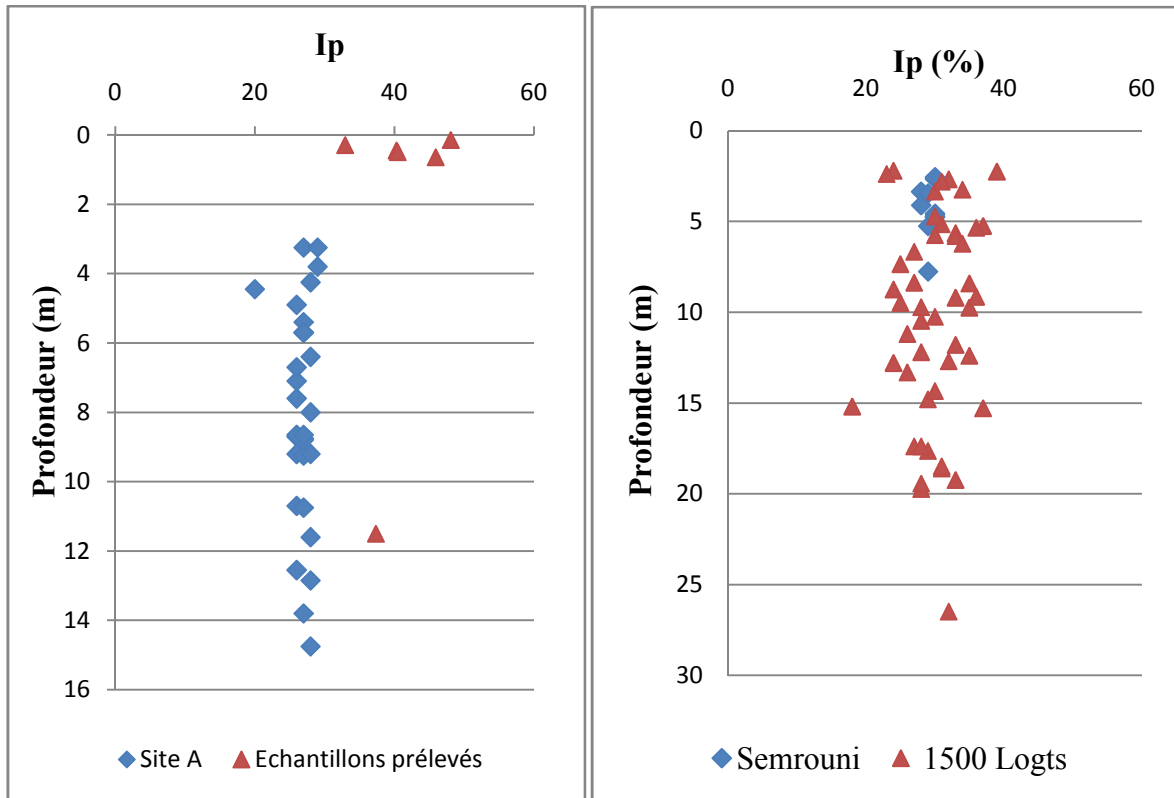


Figure 28 : Les profils de l'indice de plasticité (Ip) de site A et site B.

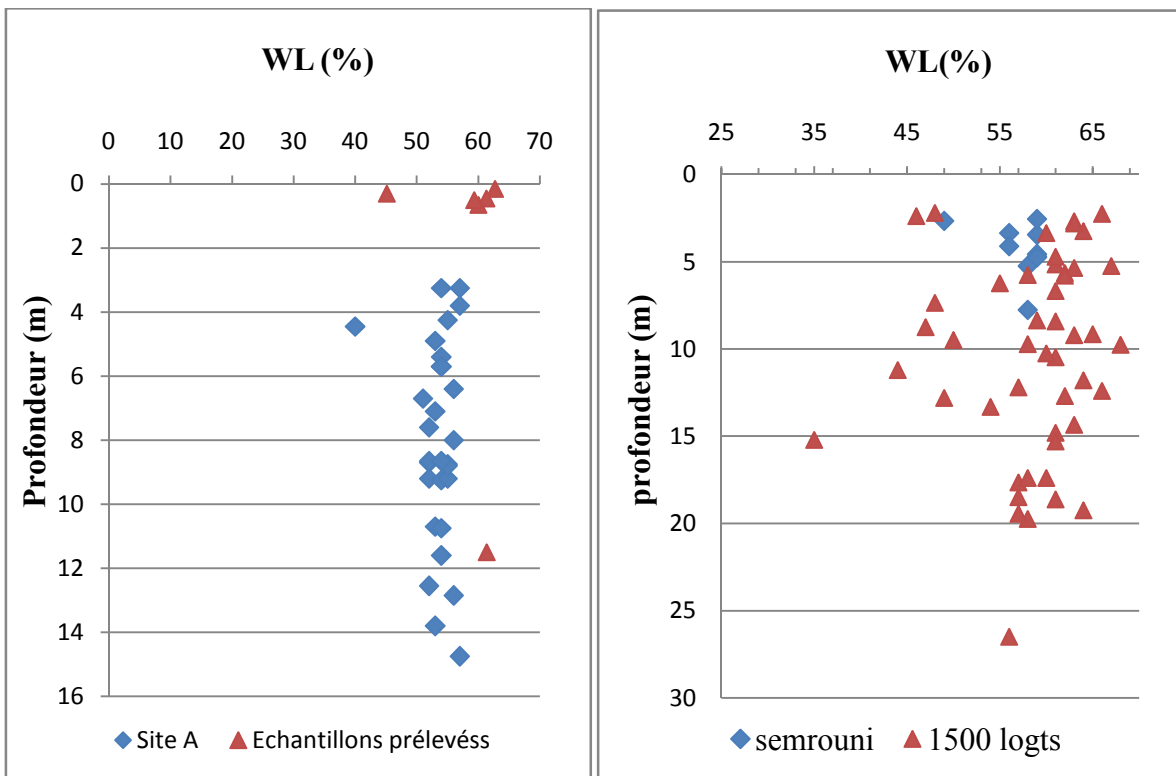


Figure 29 : Les profils de la limite de liquidité (WL) de site A et site B.

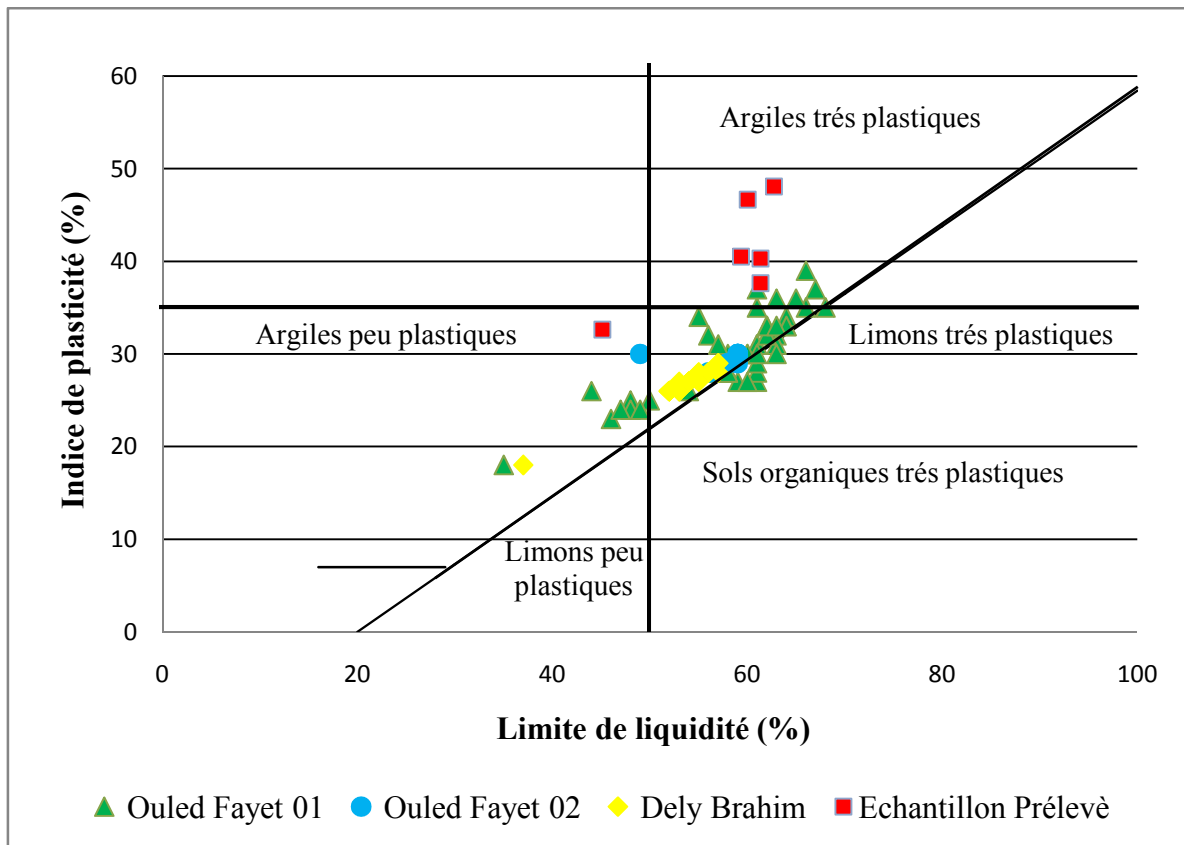


Figure 30 : Classification des argiles des sites étudiés.

Tableau 02 : Les caractéristiques physiques des sols étudiés.

		$\gamma_d$ (t/m)	W (%)	WL (%)	IP (%)	Sr (%)
<b>Dely Brahim</b>	<b>Min</b>	01.46	12.00	40.00	20.00	74.00
	<b>Max</b>	02.01	30.00	57.00	29.00	100.00
	<b>Moy</b>	01.81	17,96	53.59	26,83	95,89
	<b>Ecartype</b>	0.13	03.84	03.09	01.61	05,19
<b>Ouled Fayet 01: Semrouni</b>	<b>Min</b>	01.48	23.00	49.00	28.00	87.00
	<b>Max</b>	01.64	31.00	59.00	30.00	100.00
	<b>Moy</b>	01.54	26.66	57.2	29.30	95.33
	<b>Ecartype</b>	0.04	01.98	03.11	0.88	04.30
<b>Ouled Fayet 02: 1500 logements</b>	<b>Min</b>	01.39	15.00	35.00	18.00	07.80
	<b>Max</b>	02.10	33.00	68.00	39.30	100.00
	<b>Moy</b>	01.51	28.00	58.38	30.10	95.93
	<b>Ecartype</b>	0.12	04.07	06.73	04.30	03.20

### 3.3 Teneur en Carbonate de Calcium

La teneur en  $\text{CaCO}_3$  d'un sol fin est un bon indice de sa résistance mécanique et de sa sensibilité à l'eau.

**Tableau 03** : Les résultats de teneur en  $\text{CaCO}_3$  pour tous les échantillons.

Echantillon	Ech 01	Ech 02	Ech 03	Ech 04	Ech 05	Ech 06
La teneur en $\text{CaCO}_3$ (%)	17.71	20.43	17.03	19.29	18.16	45.4

Tous les échantillons étudiés ont un teneur en  $\text{CaCO}_3$  varie entre 10 à 30 %, ce qui indique que nos échantillons sont des argiles marneuses, sauf le dernier échantillon qui à un teneur en  $\text{CaCO}_3$  égale à 45.4 %, ceci indique que ce dernier s'agit d'une marne.

### 3.4 Valeur de bleu de méthylène

La valeur de bleu de méthylène VBS exprimée en gramme de bleu pour 100 g de fines est donnée par la formule :

$$\text{VBS} = \frac{\text{Pb}}{\text{Pe}} \cdot (\text{Fraction } 0/5 \text{ mm}).$$

Pb : poids de bleu de méthylène.

Pe : poids de l'échantillon.



Figure 31 : Les tâches de VBS des échantillons étudiés.

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 04 : Les valeurs de la VBS des sols étudiés.

Echantillons	Ech 01	Ech 02	Ech 03	Ech 04	Ech 05	Ech 06
VBS (g/100g)	10.11	11.25	11.45	12.41	12.5	6.25

Le VBS est une grandeur qui s'exprime globalement la quantité et l'activité de l'argile contenue dans le sol étudié.

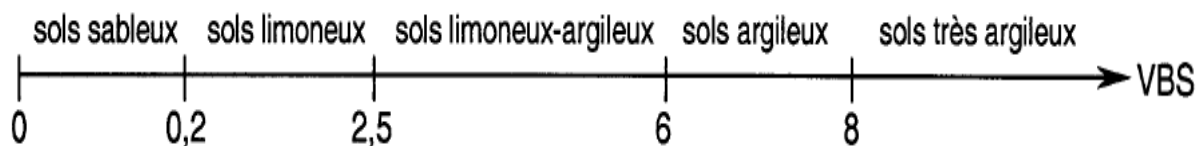


Figure 32 : Ordre de grandeur de la VBS, Lérau (2004).

Selon cette classification, les échantillons étudiés sont des sols très argileux, sauf le dernier échantillon qui se classe dans la catégorie des sols argileux.

### 3.5 Paramètres mécaniques

#### 3.5.1 Paramètres de compressibilité

Pour évaluer le tassement du sol au cours du temps, et également le classer vis-à-vis de leur compressibilité, nous avons soumis l'échantillon 02 à des charges appliquées et approchées par l'essai de compressibilité à la cellule œdométrique.

La courbe de compressibilité à l'œdomètre illustrée dans la figure 33.

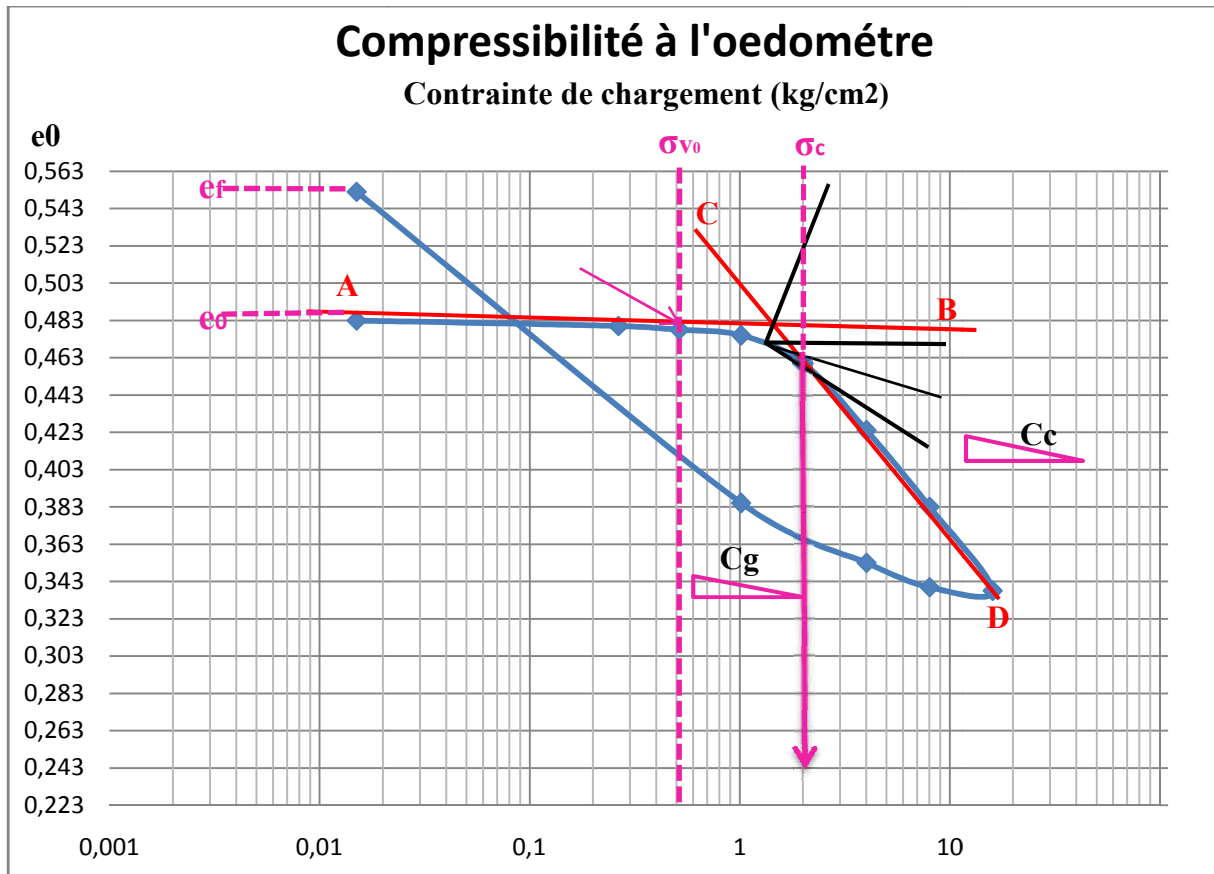


Figure 33 : Courbe de la compressibilité à l'œdomètre.

La courbe de compressibilité permet de déterminer quatre caractéristiques du sol étudié :

- La contrainte de préconsolidation ( $\sigma_c$ ) ;
- La contrainte initiale  $\sigma_{v0}$  ;
- L'indice de compression ( $C_c$ ) ;
- L'indice de gonflement ( $C_g$ ).

Les résultats obtenus à partir de cet essai sont reportés sur le tableau suivant :

**Tableau 05** : Les résultats de la compressibilité à l'œdomètre du deuxième échantillon.

Echantillon	Profondeur	$\sigma_c$ (KPa)	Cc (%)	Cg (%)	$\sigma_{v0}$ (KPa)
Ech 02	11m – 12m	242	14.97	9.12	60

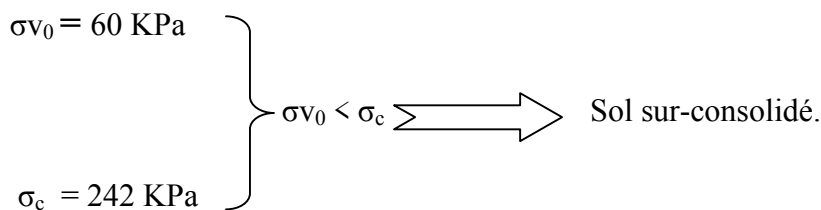
Pour le deuxième échantillon : l'indice de compressibilité Cc est de 14.97%, attribuant au sol, selon Terzaghi, un caractère moyennement compressible.

Et la valeur de l'indice de gonflement est de 9.12%, témoignant de l'état gonflant de cette formation selon Sanglerat.

Les valeurs de l'indice de compressibilité (Cc) varient entre 08% et 24% pour le site A et de 08% à 31% pour le site B, (Figure 34).

L'indice de gonflement (Cg) varie de 01% à 11% pour les sites A et B, (Figure 35).

Ces valeurs indiquent que les argiles sont raides, sur-consolidées et gonflantes.





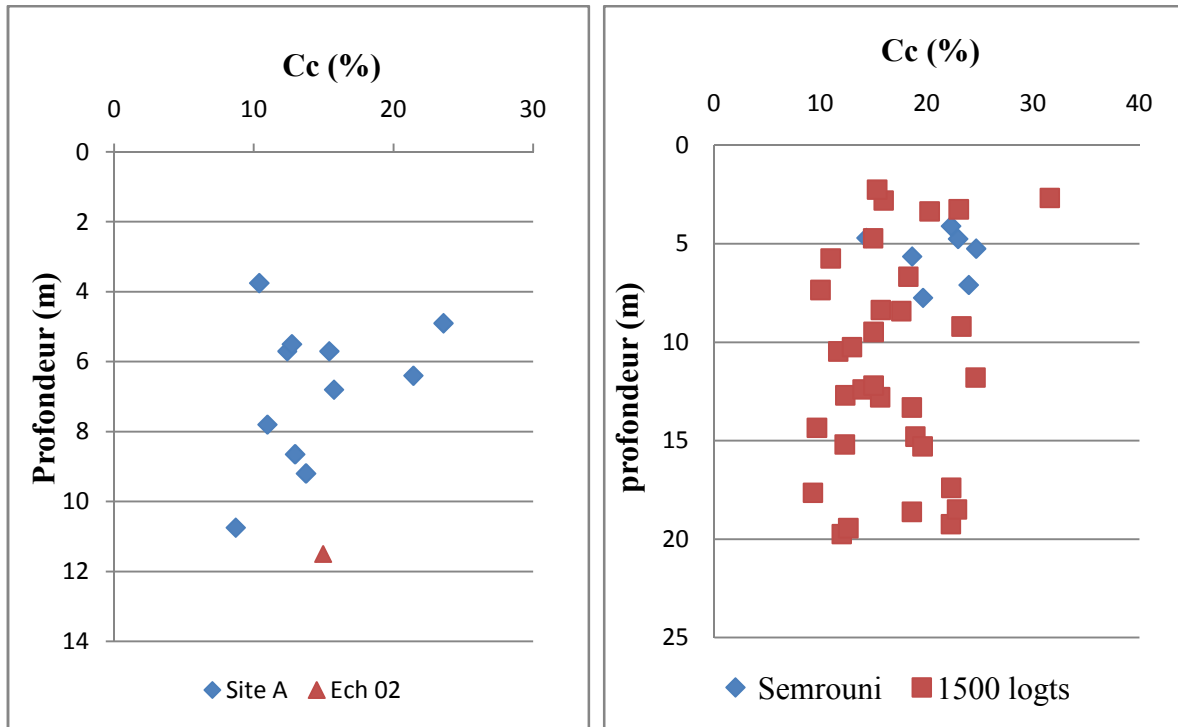


Figure 34 : Profiles de l'indice de compression (Cc) de site A et site B.

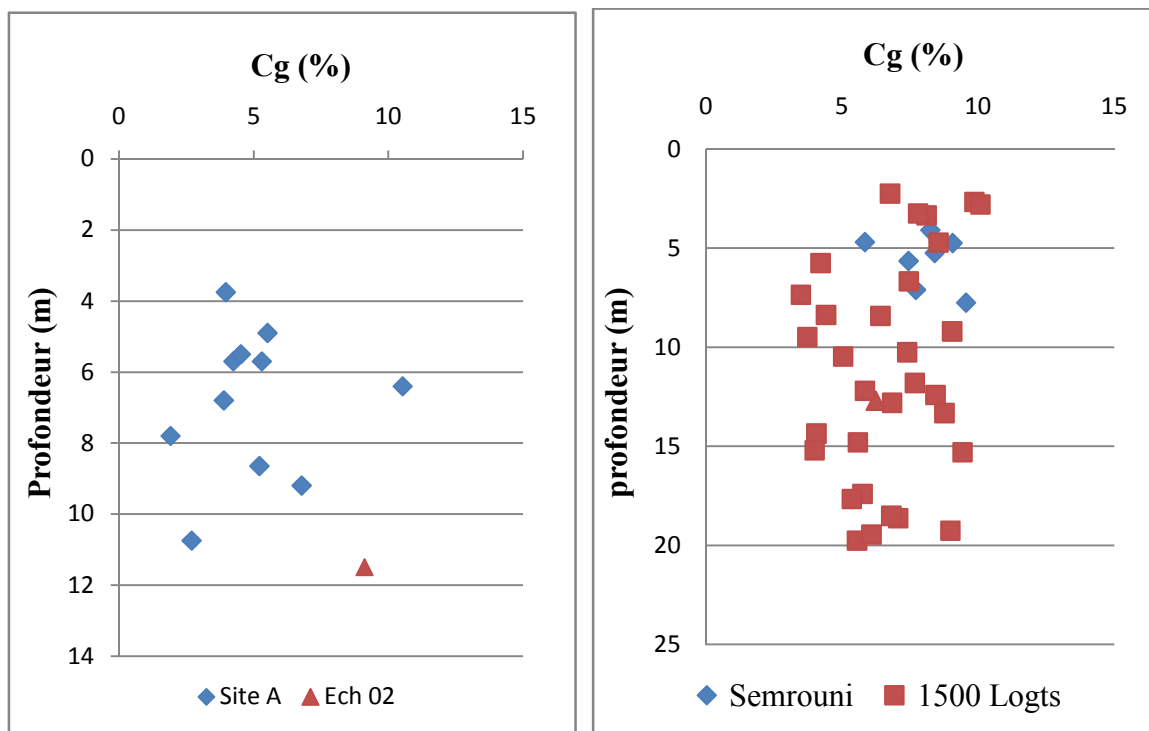


Figure 35 : Profiles de l'indice de gonflement (Cg) de site A et B.

**Tableau 06 :** Les caractéristiques de la compressibilité des sols étudiés.

		<b>Cc (%)</b>	<b>Cg (%)</b>
<b>Dely Brahim</b>	<b>Min</b>	08,71	01,91
	<b>Max</b>	23,59	10,53
	<b>Moy</b>	14,37	04,96
	<b>Ecartype</b>	04,54	02,28
<b>Ouled Fayet01: Semrouni</b>	<b>Min</b>	14.32	05.85
	<b>Max</b>	24.65	09.56
	<b>Moy</b>	20.92	08.04
	<b>Ecartype</b>	03.64	01.21
<b>Ouled Fayet 02: 1500 logements</b>	<b>Min</b>	09.30	03.50
	<b>Max</b>	31.56	10.09
	<b>Moy</b>	16.77	06.71
	<b>Ecartype</b>	05.14	01.88

**3.5.2 Gonflement libre**

Les résultats du gonflement libre sur le deuxième échantillon sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau 07 :** Les résultats du gonflement libre.

<b>Echantillon</b>	<b>Profondeur (m)</b>	<b>Pg (bars)</b>	<b>eo</b>	<b>ef</b>
<b>Ech 02</b>	11.00 -12.00	3.30	0.896	1.080

$P_g > 01 \text{ bar}$   $\implies$  le sol est dit gonflant.

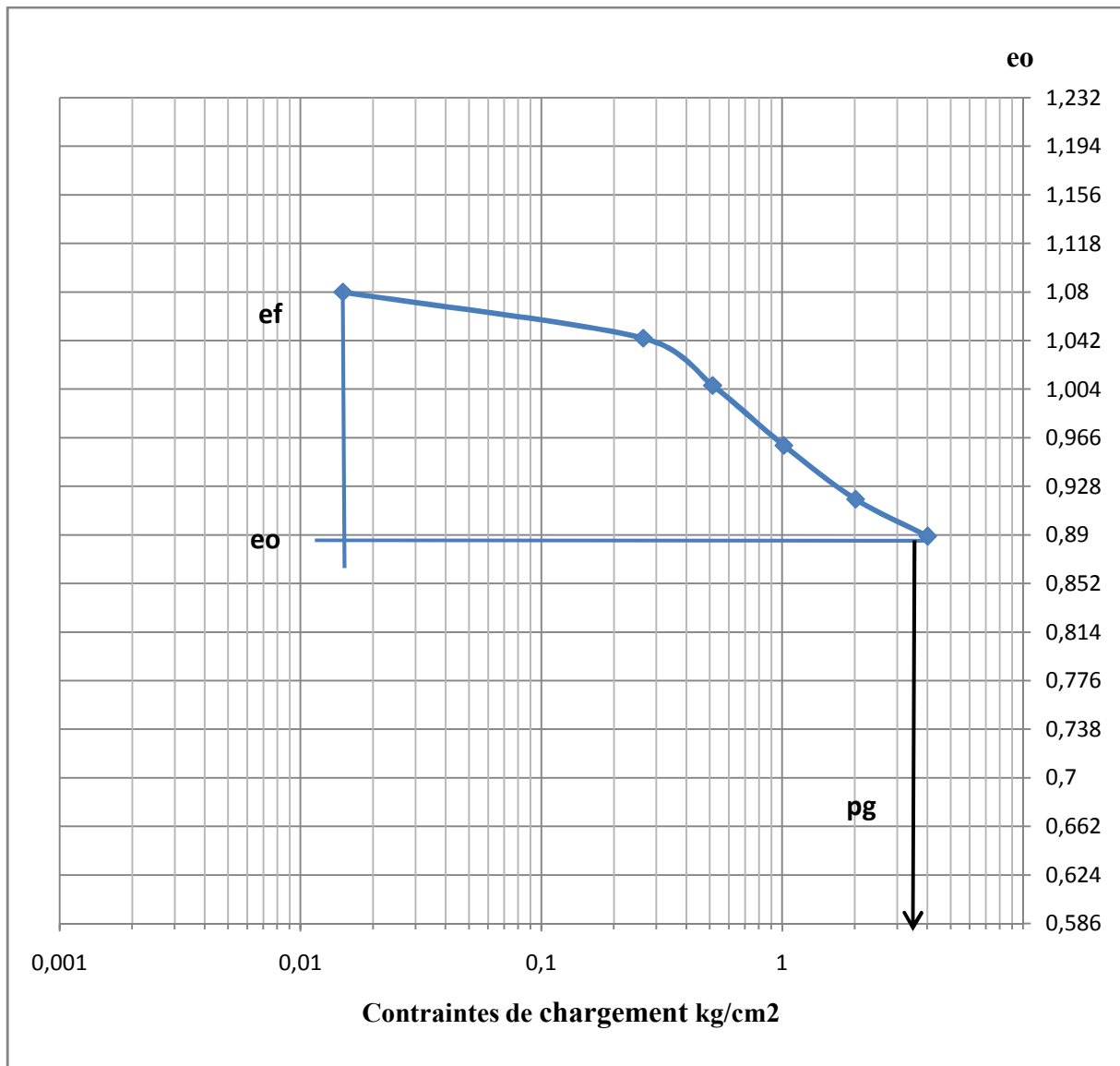


Figure 36 : Courbe de gonflement libre.

La classification de Williams et Donaldson (1980) qui se base sur le pourcentage de la fraction argileuse et l'indice de plasticité, permet d'obtenir l'activité des argiles et le potentiel de gonflement.

On positionne les données de la granulométrie et celles de la plasticité sur l'abaque de Williams and Donaldson (1980), (Figure 37). On observe que les points représentatifs du Site A (Dely Brahim) se situent en grande majorité entre la droite  $A = 0.5$  et la droite  $A = 2$  ce qui indique que l'activité des argiles varie entre 0.5 et 2, il indique aussi que le potentiel de gonflement de ces argiles est faible à moyen.

Pour le site B (Ouled Fayet), l'activité des argiles vraie entre 1 et 2 et le potentiel de gonflement est de moyen é fort.

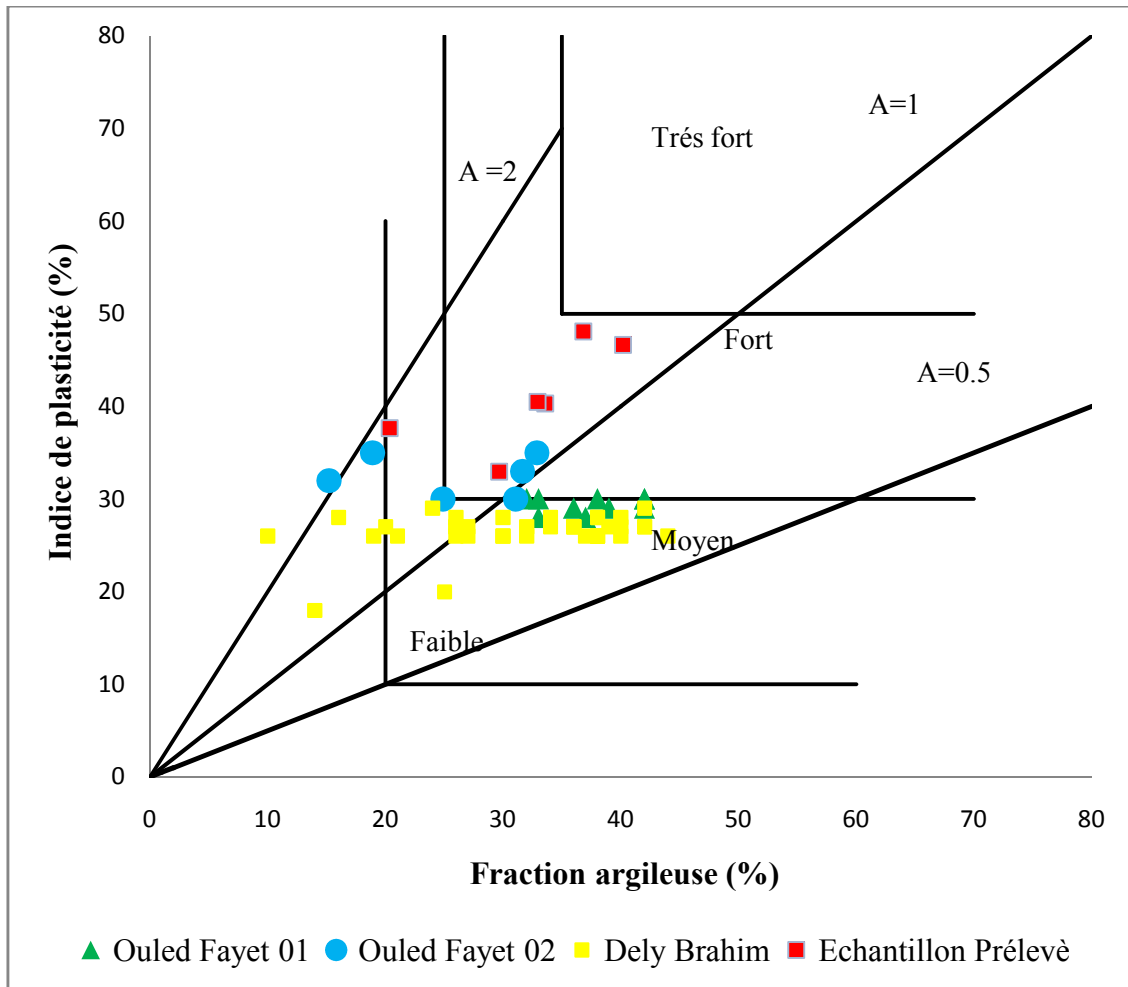


Figure 37 : La classification de Williams et Donaldson (1980) pour les sites étudiés.

### 3.5.3 Les paramètres de résistance au cisaillement

Tableau 08 : Les résultats du cisaillement à la boîte de Casagrande de type UU réalisée sur l'échantillon 2.

	Profondeur (m)	Les contraintes normales $\sigma$ (bars)	Contraintes de cisaillement $\tau$ (bars)
Ech 02	11 -12 m	1	1.69
		2	1.69
		3	1.89

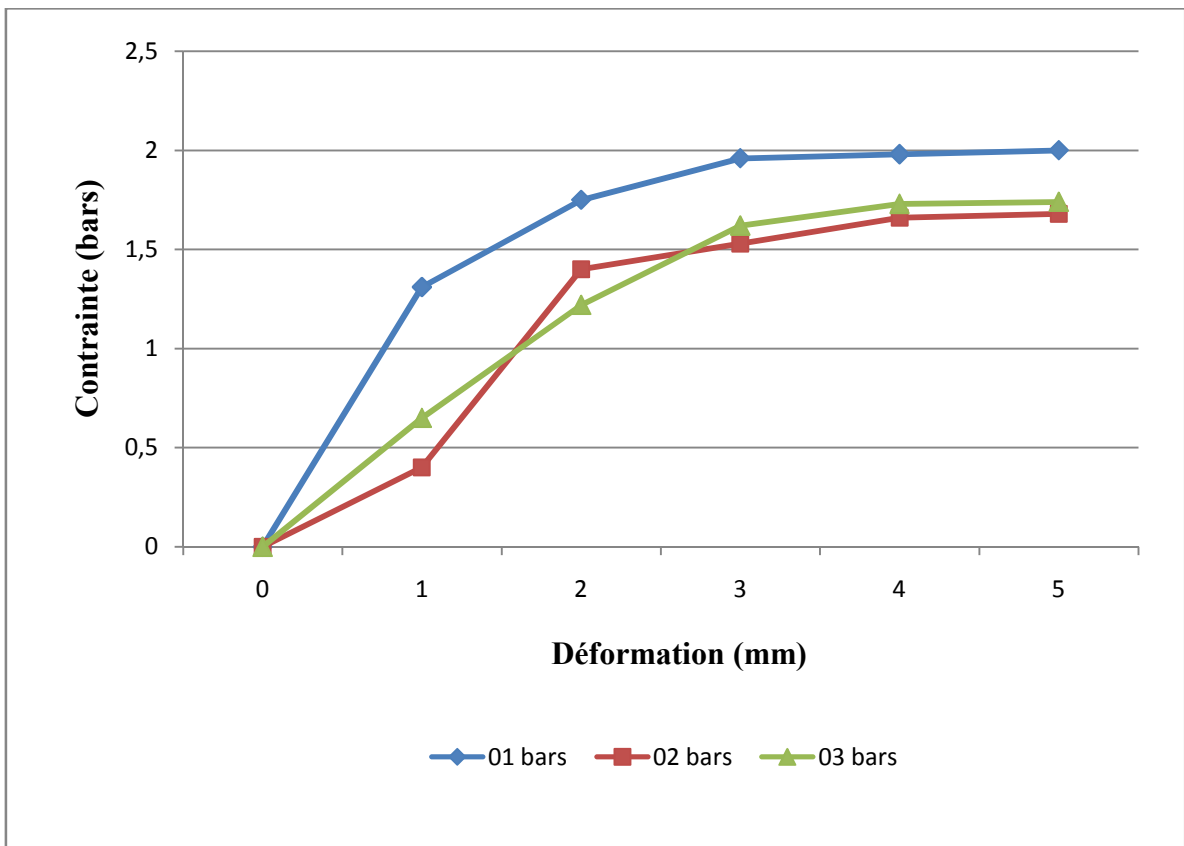


Figure 38 : Courbe Contrainte-Déformation de l'échantillon 2.

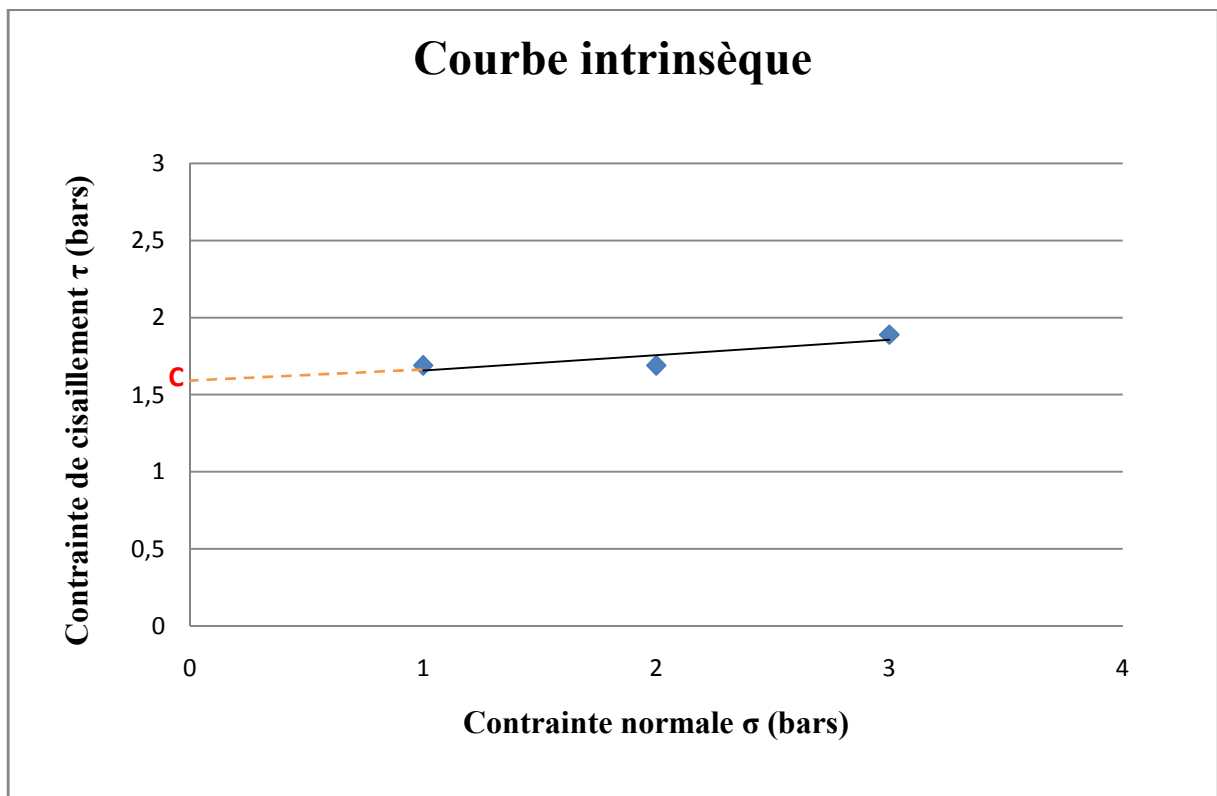


Figure 39 : Courbe intrinsèque de l'essai de cisaillement de type UU.

La courbe intrinsèque obtenue est une droite parallèle à l'axe des contraintes normale (Figure 38). Elle est caractérisée par son ordonnée à l'origine  $C_u$  et par l'angle de frottement  $\phi_u$ .

La valeur de la cohésion est calculée à partir de l'intersection du courbe avec l'horizontal :

$$C = 1.56 \text{ bars.}$$

L'angle de frottement est calculé par la relation suivante :

$$\Phi = \text{arc tng} \frac{\tau_1 - \tau_2}{\sigma_1 - \sigma_2} = \text{arc tng} \frac{1.89 - 1.69}{3 - 1}$$

$$\Phi = 5.71^\circ$$

Les valeurs de la cohésion et l'angle de frottement interne obtenus à partir des essais de cisaillement rectiligne de type UU à la boîte de Casagrande classent ce sol dans la catégorie des argiles raide à très raide, (Philipponnat, édition 2003).

Les valeurs de la cohésion ( $C$ ) varient entre 0.27 et 1.18 bars pour le site A et entre 0.20 et 1.68 bars pour le site B. Ces valeurs diminuent en fonction de profondeur et paraissent aussi homogènes d'un site à un autre. (Figure 40).

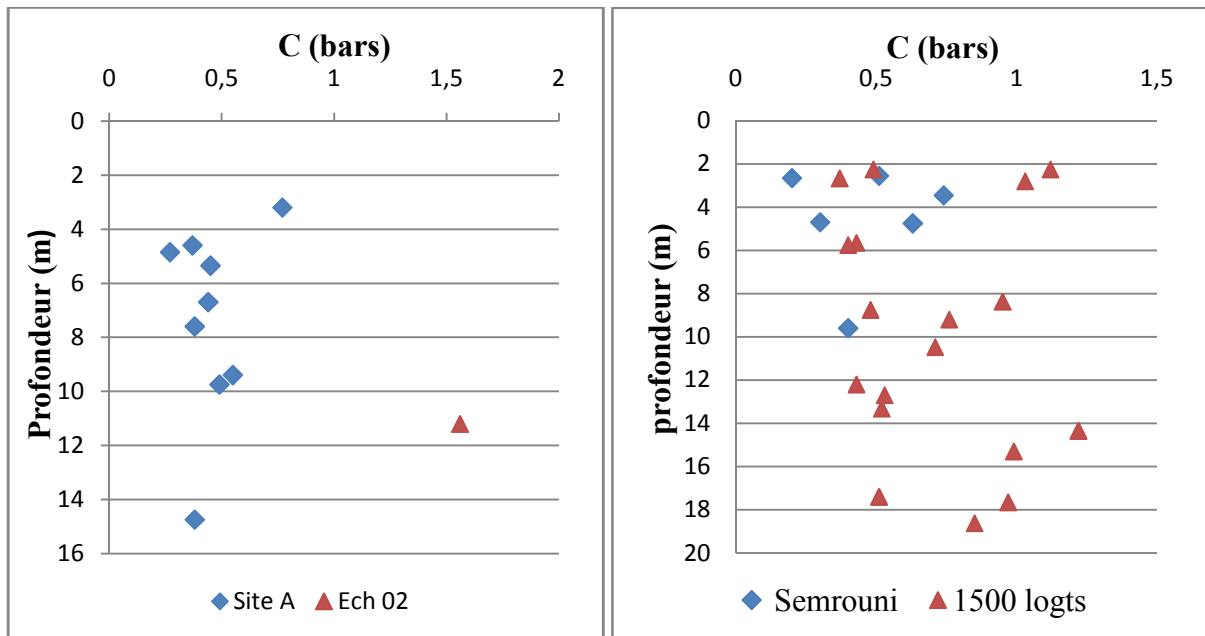


Figure 40 : Les profils de la cohésion pour le site A et le site B.

**Tableau 09** : Les paramètres de cisaillement pour les deux sites (Dely Brahim et Ouled Fayet.)

		<b>Angle de frottement</b> <b><math>\Phi</math> (°)</b>	<b>Cohésion</b> <b>C (bars)</b>
<b>Dely Brahim</b>	<b>Min</b>	13.00	0.27
	<b>Max</b>	19.00	0.77
	<b>Moy</b>	15.22	0.45
	<b>Ecartype</b>	01.64	0.14
<b>Ouled Fayet01: Semrouni</b>	<b>Min</b>	9.00	0.20
	<b>Max</b>	13.00	0.74
	<b>Moy</b>	11.28	0.46
	<b>Ecartype</b>	01.79	0.20
<b>Ouled Fayet 02: 1500 logements</b>	<b>Min</b>	03.09	0.37
	<b>Max</b>	11.89	1.68
	<b>Moy</b>	07.51	0.76
	<b>Ecartype</b>	02.28	0.35

#### **4. Caractérisation minéralogique**

Cette étude consiste à déterminer les différents minéraux qui constituent les marnes plaisanciennes. Cette analyse a été faite à l'aide d'un diffractomètre au rayon X (DRX). Des images au microscope électronique à balayage (MEB) ont été également réalisées à différentes échelles.

##### **4.1 Principe du microscope électronique à balayage (MEB)**

Le microscope électronique à balayage permet d'obtenir des images de la surface de la plupart des matériaux solides, à des échelles allant de celle de la loupe (x10) à celle du microscope électronique en transmission (500.000 ou plus). Ces images frappent en premier par le rendu très parlant du relief et la grande profondeur de champ.

La particularité du MEB est d'avoir un système de pompage différentiel qui sépare la chambre de la colonne; ainsi la colonne est soumise à vide élevé (10-5torr)\*, alors que dans la chambre règne une pression de quelques Torr (0,1-20 torr), (Figure 41). La pression dans le MEB est contrôlée par un flux de gaz au niveau des différents diaphragmes du système (Donald, 2000 ; Electro-Scan Corporation (notice), 1999 cité par Maison 2010). Ce gaz est en général inerte, mais on peut introduire un gaz réactif dans la chambre du MEB. En fait, le

choix du gaz est limité par ses propriétés, telles que la toxicité, l'inflammabilité et la réactivité chimique avec les composés de la chambre (Electro-Scan Corporation (notice) 1999). Dans le cadre des travaux présentés ici, le gaz utilisé est la vapeur d'eau qui a, à la fois, le rôle de gaz d'ionisation pour la formation de l'image, et de fluide d'hydratation de l'échantillon:

$$1 \text{ Torr} = 1,3332.102\text{Pa}$$



**Figure 41 :** Model d'un microscope électronique à balayage (MEB).

#### **4.2 Principe de diffractométrie aux rayons X (DRX)**

Les rayons X sont des ondes électromagnétiques qui interagissent avec le nuage électronique des atomes. Parmi les interactions possible, il ya la «diffusion élastique.

Les rayons X rebondissent simplement sur le nuage électronique, ils sont diffusés dans toutes les directions de l'espace, en gardant la même énergie et la même longueur d'onde. Lorsque les rayons X arrivent sur un échantillon, ils sont diffusés par tous les atomes de la cible. En un point de l'espace, il faut sommer les contributions des ondes diffusées par tous les atomes, en tenant compte de la différence de phase qui découle du fait que les ondes ont suivi des chemins optiques différents.



### 4.3 Principe de l'analyse Raman

La spectroscopie Raman est une technique d'analyse non destructive. Basée sur la détection des photons diffusés inélastiquement suite à l'interaction de l'échantillon avec un faisceau de lumière monochromatique. La différence de fréquence entre photon exciteur et photon diffusé renseigne sur la nature chimique de la molécule à l'origine de la diffusion. Dans cette technique on procède à focaliser (avec une lentille) un faisceau de lumière monochromatique sur l'échantillon à étudier et à analyser la lumière diffusée.

### 4.4 Résultats et discussion

#### 4.4.1 Diffraction des rayons X

Les diffractogrammes obtenus des différents échantillons sont représentés dans la figure 42.

Les résultats obtenus montrent des phases similaires. On note la présence de du quartz ( $\text{SiO}_2$ ) ainsi que de la calcite ( $\text{CaCO}_3$ ).

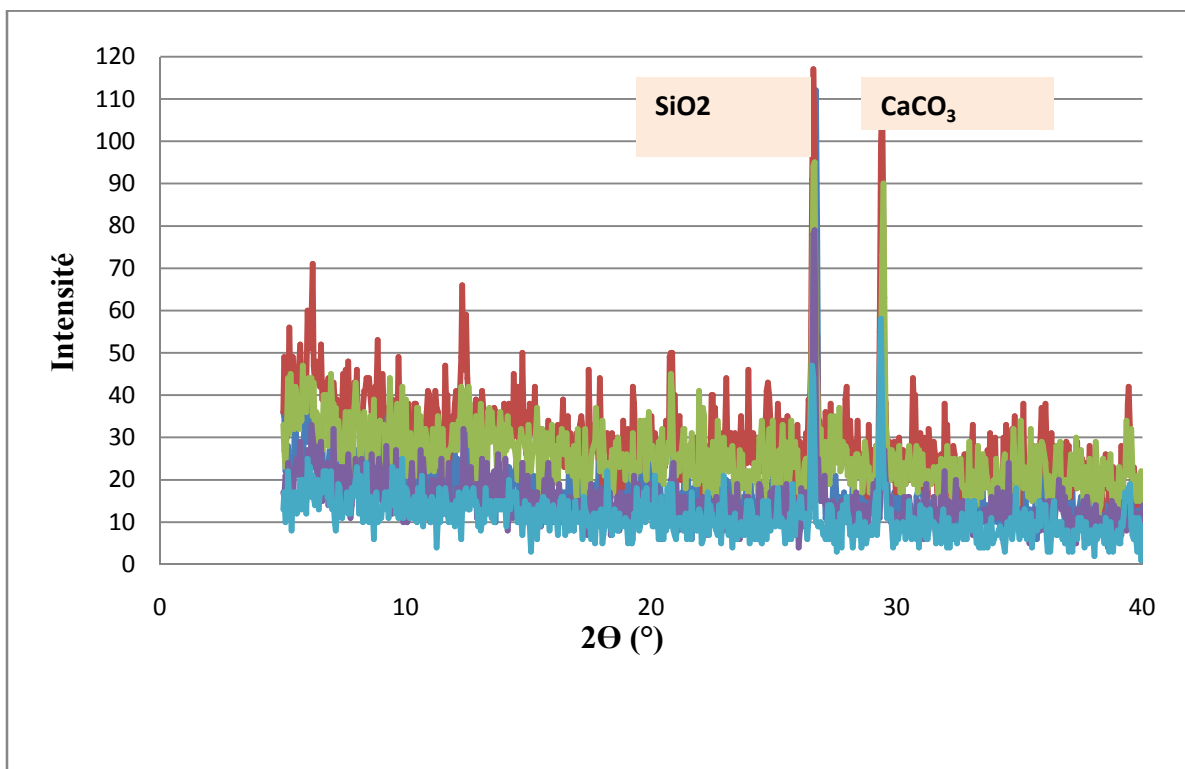


Figure 42 : Diagramme de diffraction des rayons X de l'argile.

#### 4.4.2 L'analyse RAMAN :

L'analyse RAMAN confirme la présence de calcite et de quartz.

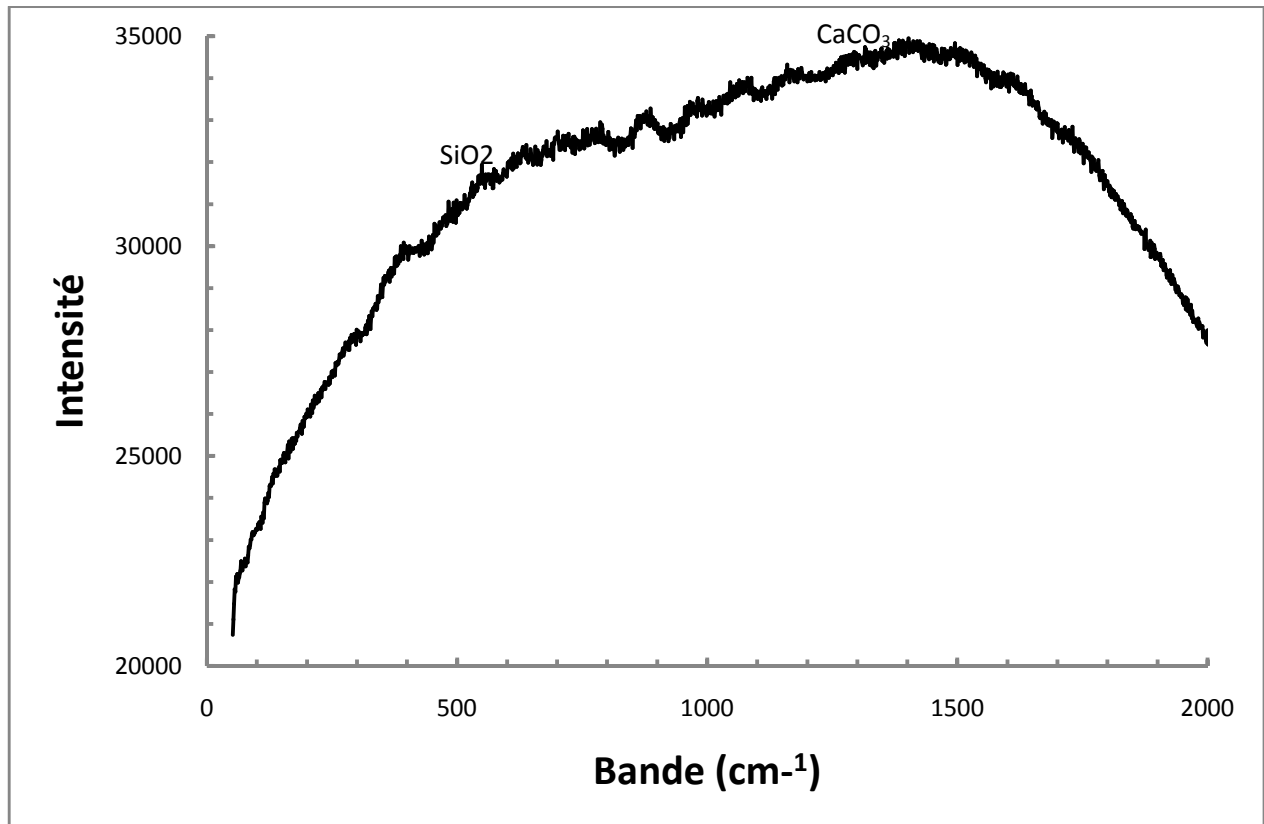


Figure 43 : Diagramme de l'analyse Raman.

#### 4.4.3 Microscope électronique à balayage (MEB)

Les figures A, B, C représentent une observation microscopique à l'aide d'un MEB sur un échantillon d'argile sous différents grossissements (X800, X1.600, X3.000).

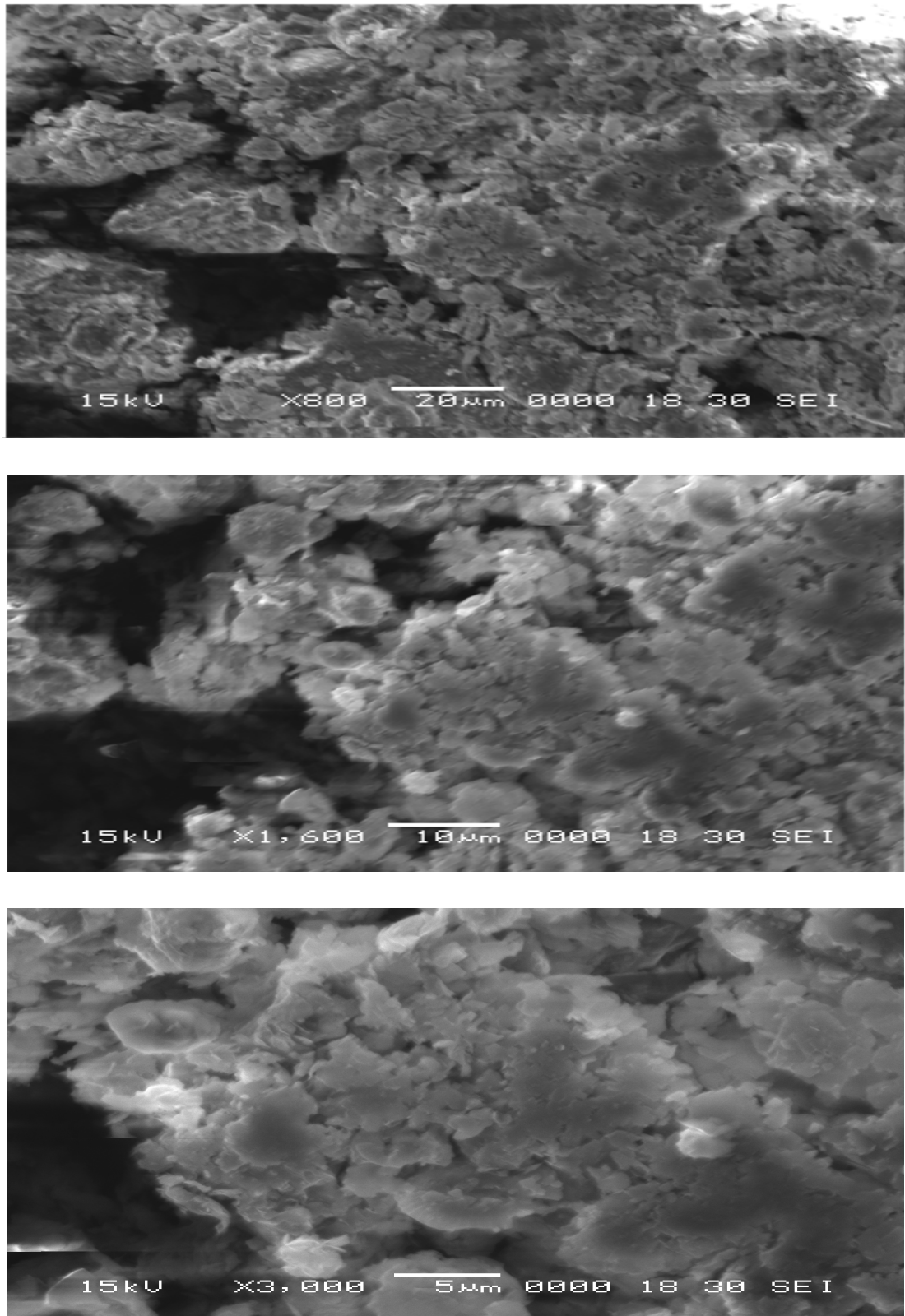


Figure 44 : Observation microscopique d'un échantillon d'argile sous le MEB.

Les images MEB montrent que le sol étudié est constitué principalement d'éléments fins. Ce résultats est en parfaite concordance avec l'analyse granulométrique (Figure 24-25). On note également que ces argiles ont une structure en feuillets.

### CONCLUSION GENERALE

Les marnes plaisanciennes couvrent une large superficie su Sahel d'Alger et peuvent atteindre par endroit 200 m de profondeur. Cette formation présente beaucoup de problèmes du point de vue géotechnique en raison de sa grande sensibilité à l'eau. C'est dans ce contexte que ce travail a été réalisé en vue de caractériser Ces formations en se basant sur les données existantes et les résultats expérimentaux obtenus durant cette étude sur des échantillons prélevés à différentes profondeur.

La synthèse géotechnique indique que les marnes plaisanciennes d'Alger sont des matériaux argileux homogènes. et ils ont des caractéristiques géotechniques médiocre. Elles sont moyennement à très plastiques; gonflants et sensible à l'eau, et peuvent s'altérer lorsqu'elles sont mise en contact avec l'humidité.

L'alternance des saisons sèche et humide entraine des dégradations continues des caractéristiques mécaniques qui se répercutent sur la stabilité du sol.

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Boudlal, O. (2013). Etude expérimentale du comportement mécanique des fines dans la stabilité des talus et des fondations. Thèse de doctorat en génie civile, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- Bougdel, R. (2007). Urbanisation et mouvements de versants dans le contexte géologique et géotechnique des bassins néogènes de l'Algérie du Nord, thèse doctorat, USTHB, Alger.)
- Chauvel, A. Monnier, G. (1967). Sur la signification générale de l'analyse granulométrique en pédologie ; examen des problèmes posés par la caractérisation de la structure de certains sols tropicaux. C. R. Acad. Sci., 264, série D, 1969-1972.
- Chikhi, N. Houari, H. (2004).Caractérisation des formations argileuses Cas de Constantine. Sciences & Technologie, B 22 pp 103-109.
- Choufa N. (2013). Epuration des eaux usées : l'élimination des micropolluants dans les eaux usées par un matériau argileux. Thèse de magister traité par CHOUFA Nasima à l'université Mohammed Chérif Messaadia ; p 3 - 4.
- Costet, J. Sanglerat, G. (1975). Cours pratique de mécanique des sols, plasticité et calcul des tassements. 2<sup>ème</sup> Edition Dunod.
- Derriche, Z. Cheikh-Lounis, G. (2004). Caractéristiques géotechniques des marnes plaisanciennes d'Alger, Bull Eng Geol Environ, 63: 367-378.
- Duchaufour, P. (1965). Précis de pédologie. Paris, 413 pp.
- Gaombalet, J. (2004). Le gonflement des argiles et ces effets sur les ouvrages souterrains de stockage. Thèse de doctorat, Ecole polytechnique (France).
- Gobat, J. M. Aragno, M. Matthey, W. (2010). *Le sol vivant: bases de pédologie, biologie des sols* (Vol. 14). PPUR Presses polytechniques.
- Grégory, et al. (2016). Impact du comportement des argiles gonflantes sur les soutènements

## Références bibliographiques

---

- Hachmia, A. (2013). Argile et minéraux. Thèse de master traité par HACHMI Abdelhadi à l'université Abdelmalek Essaadi , p 6 -7.
- Jackson, M.L. (1965). Clay transformations in soil genesis during the Quaternary. *Soil Science*, 99: 15-21.
- Khaloun, N. (2004). Effet de la rotation des contraintes sur le comportement des sols argileux. Thèse de doctorat en Géotechnique, L'école nationale des pontes et chaussées.
- Laurie, B. (2015). Les minéraux argileux. Polytech, Paris UPMC.
- Léreau, L. (2006). Géotechnique1. Cours géotechnique 3<sup>ème</sup> année - Ingénierie de la construction, Institut National Des Sciences Appliquées de Toulouse.
- LÊ Thị Ngọc Hà. (2009). Comportement des sols fins utilisés en couverture étanche des installations de stockage de déchets : Approche expérimentale et numérique. Thèse de doctorat en Sciences de la Terre, de l'Univers et de l'Environnement, Ecole doctorale Terre – Univers – Environnement.
- Meunier, A. Sardini, P. Robinet, J.C. Prêt, D. (2007). The petrography of weathering processes: facts and outlooks. *Clay minerals*, 42(4): 415-435.
- Millot, G. (1964). Géologie des argiles. Altération, Sédimentologie, Géochimie. Paris, 499 pp.
- Mirsal, I. (2008). Soil pollution: origin, monitoring & remediation. Springer Science & Business Media.
- Modou, D. (2002). Thèse d'ingénieur de conception. Conception de structures routières sur marnes et argiles gonflantes. P 11 et 12.
- Pedro, G. (1994). Les conditions de formation des constituants secondaires. In: Masson (Editor), Pédologie. 2-Constituants et propriétés du sol. Bonneau, M. Souchier, B., Paris, pp. 665.
- Philipponnat, G. Hubert, B. (2003). Fondation et ouvrages en terre, Préface de André Isnard.
- Robitaille VetTremblay, D. (1997). Mécanique des sols théorie et pratique, Modulo éditeur

## Références bibliographiques

---

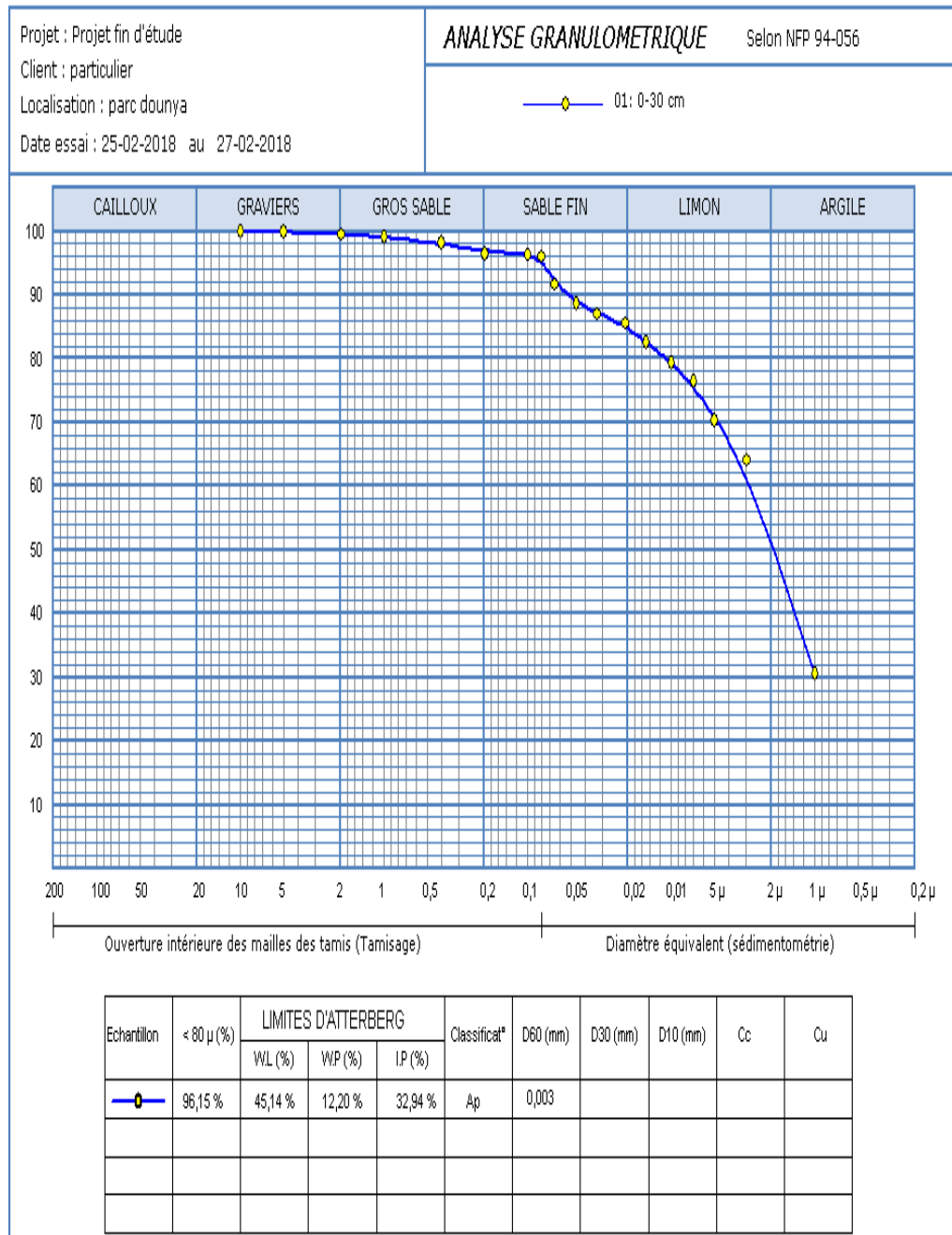
Serratis. Jean-François. Soyez, B. (1996). Les essais de gonflement. BULLETIN-LABORATOIRE DES PONTS ET CHAUSSEES, 65-86.

Wilson, M.J. (1999). The origin and formation of clay minerals in soils: Past, present and future perspectives. Clay Minerals, 34(1): 7-25.

Xiang-Ling Li. (1999). Comportement Hydromécanique des Sols Fins : de l'état saturé à l'état non saturé. Thèse de doctorat en Sciences appliquées, Université de Liège.

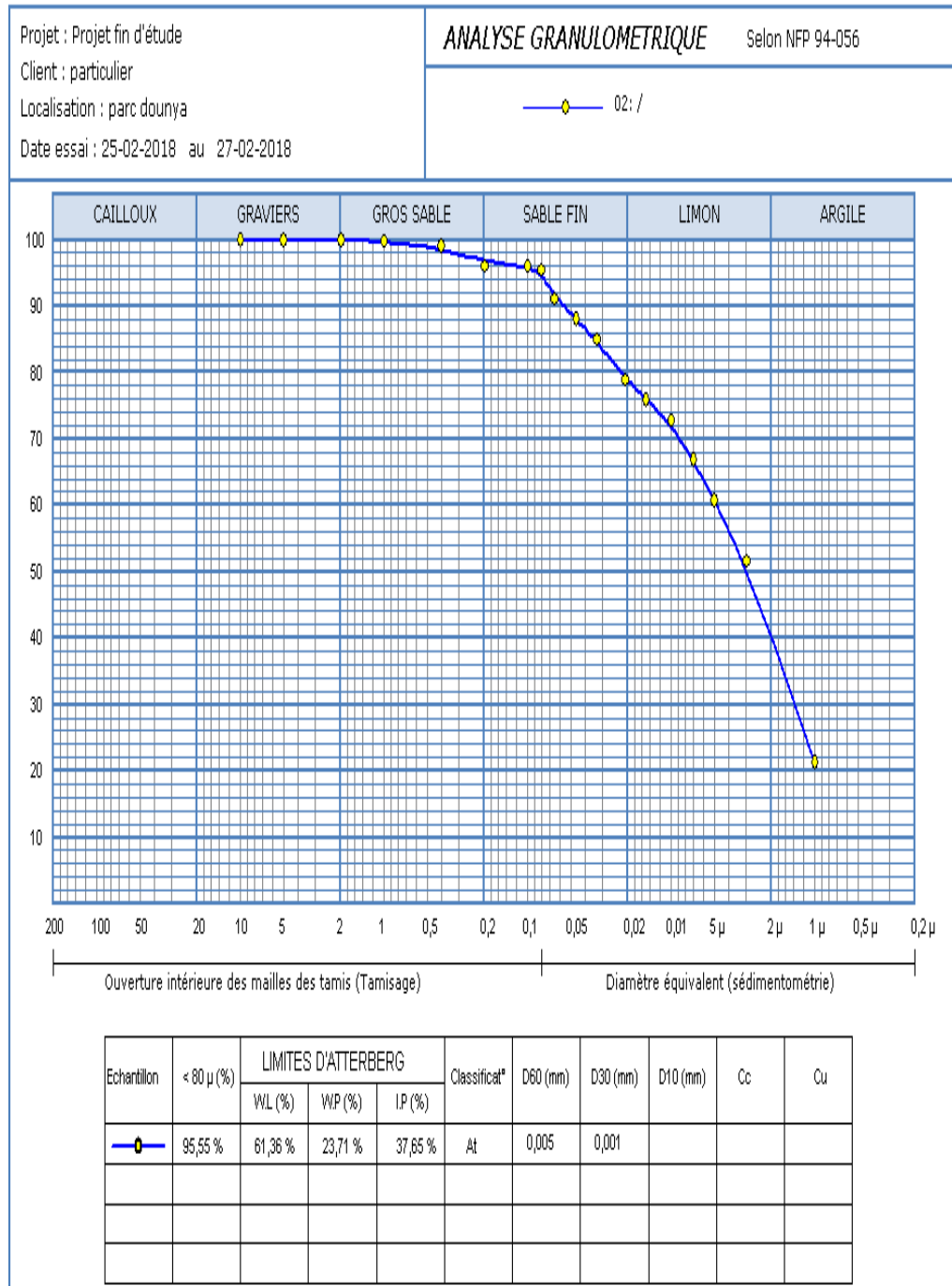


ANNEXES



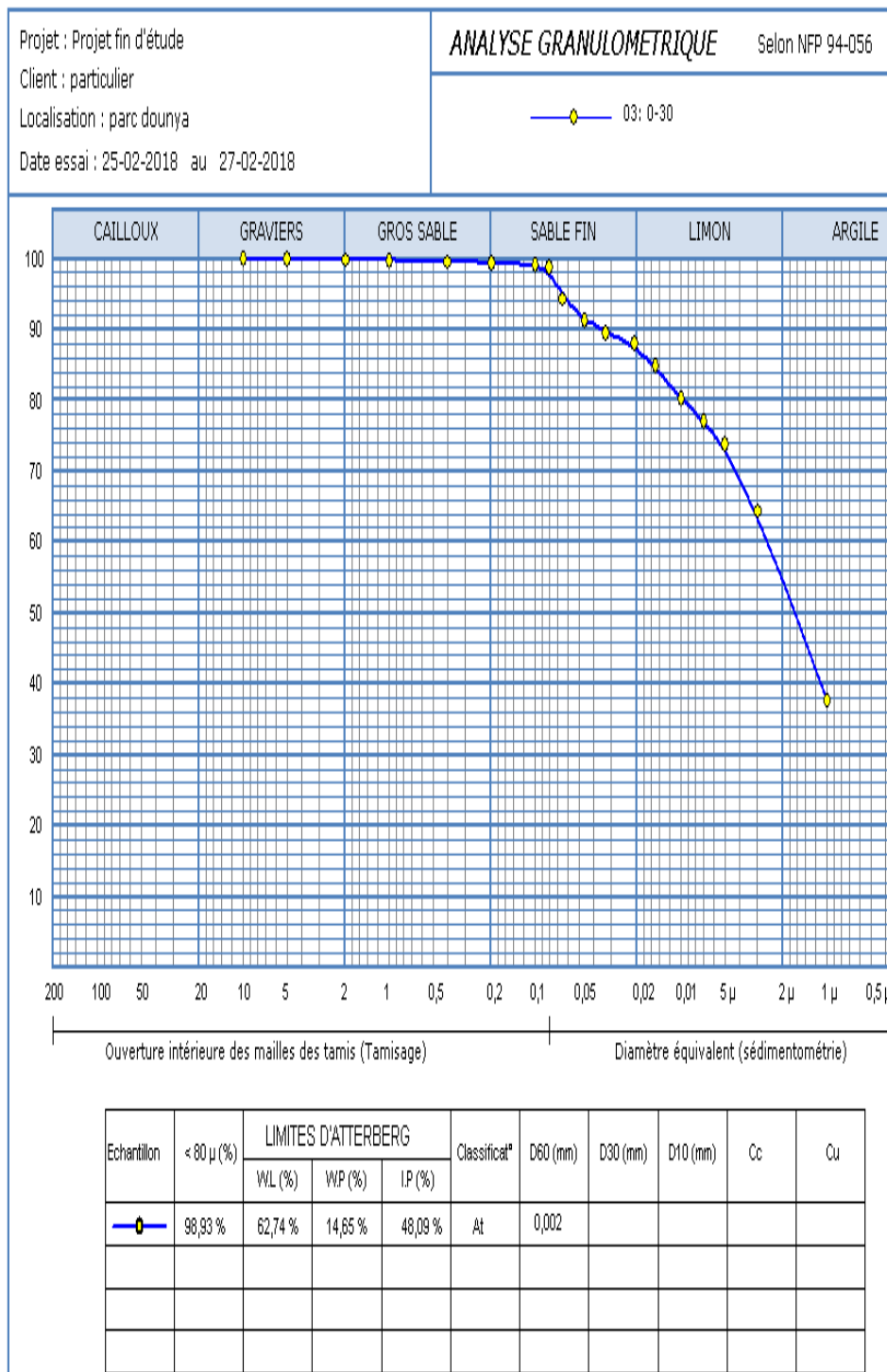
Programme : Balle clics 2007 ©

Figure 01 : Analyse granulométrique du premier échantillon.



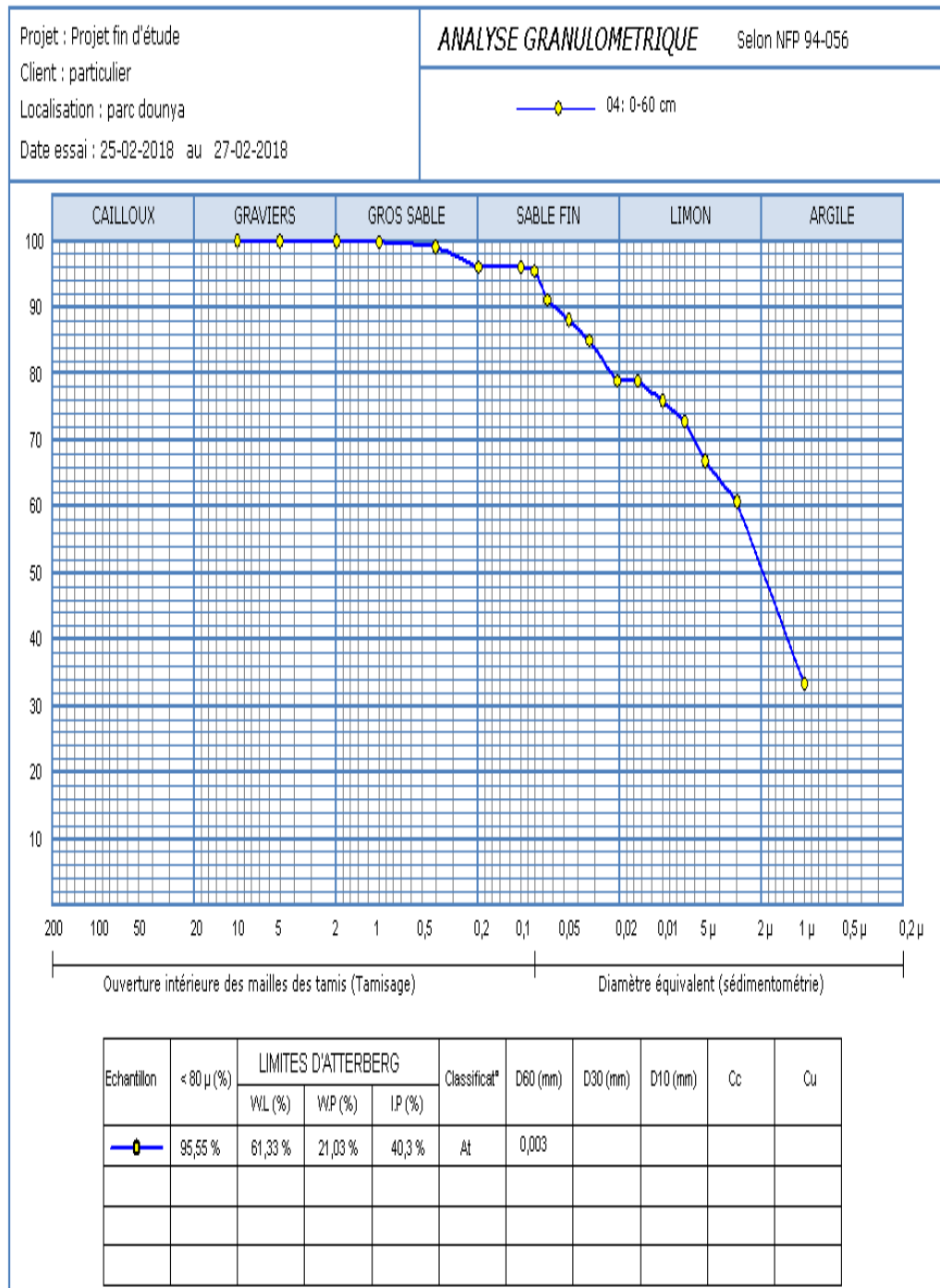
Programme : Boleto 2007 ©

**Figure 02** : Analyse granulométrique du deuxième échantillon.



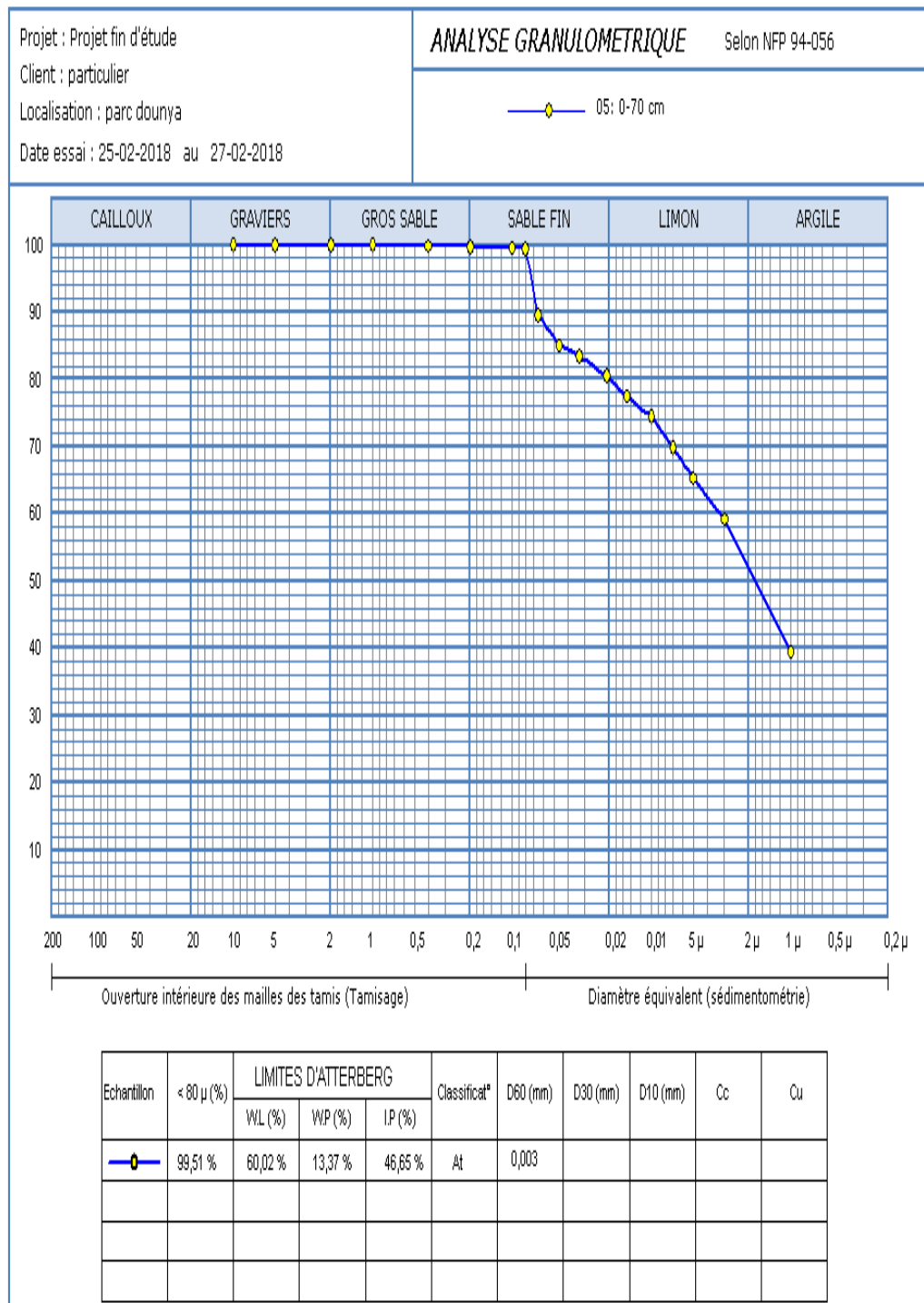
Programme : Bati'cde 2007 ©

**Figure 03** : Analyse granulométrique du troisième échantillon.



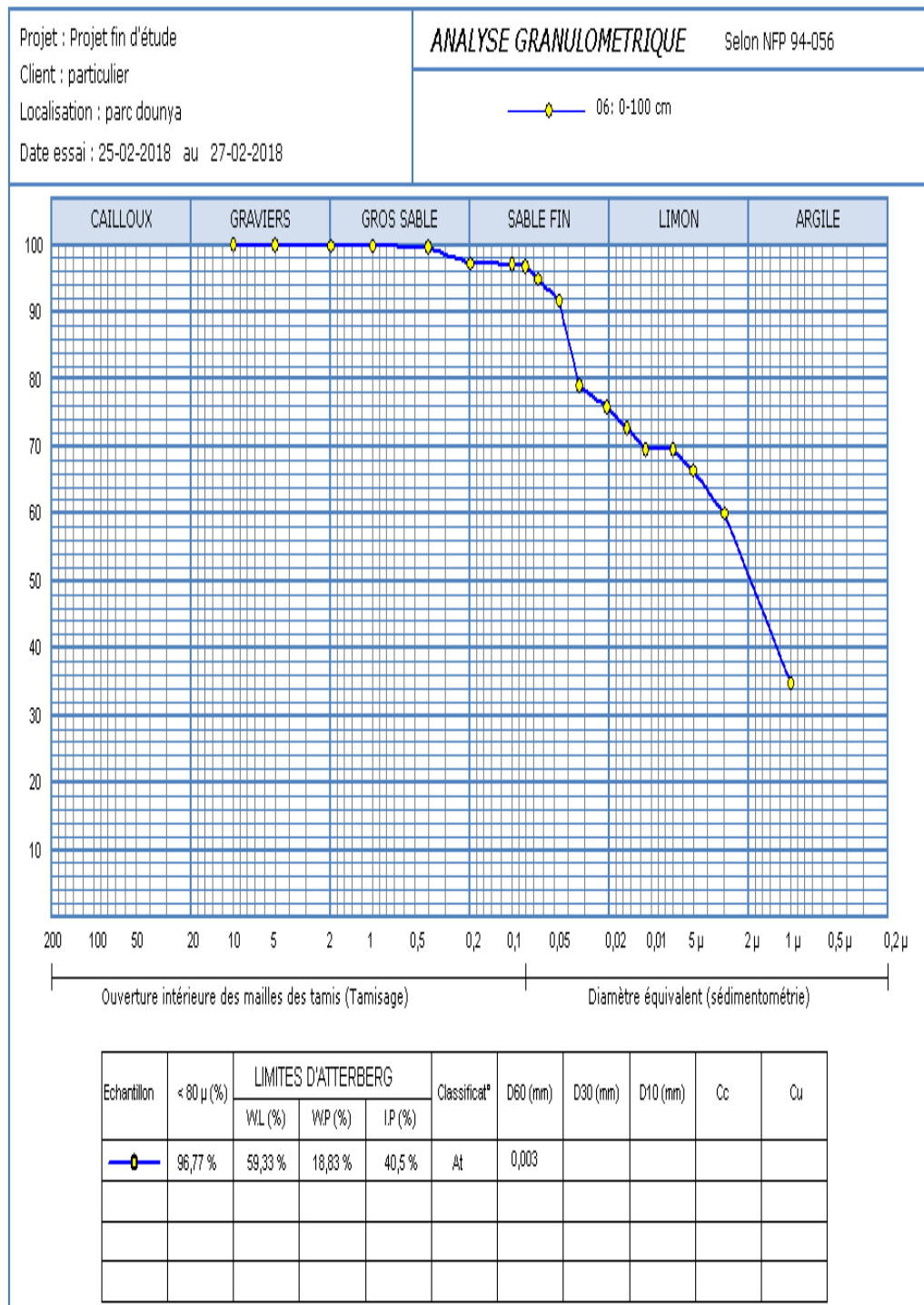
Programme : Solb vdc 2007 ©

**Figure 04 :** Analyse granulométrique du quatrième échantillon.



Programme : Sollec 2007 ©

**Figure 05** : Analyse granulométrique du cinquième échantillon.



Programme : Sollec 2007 ©

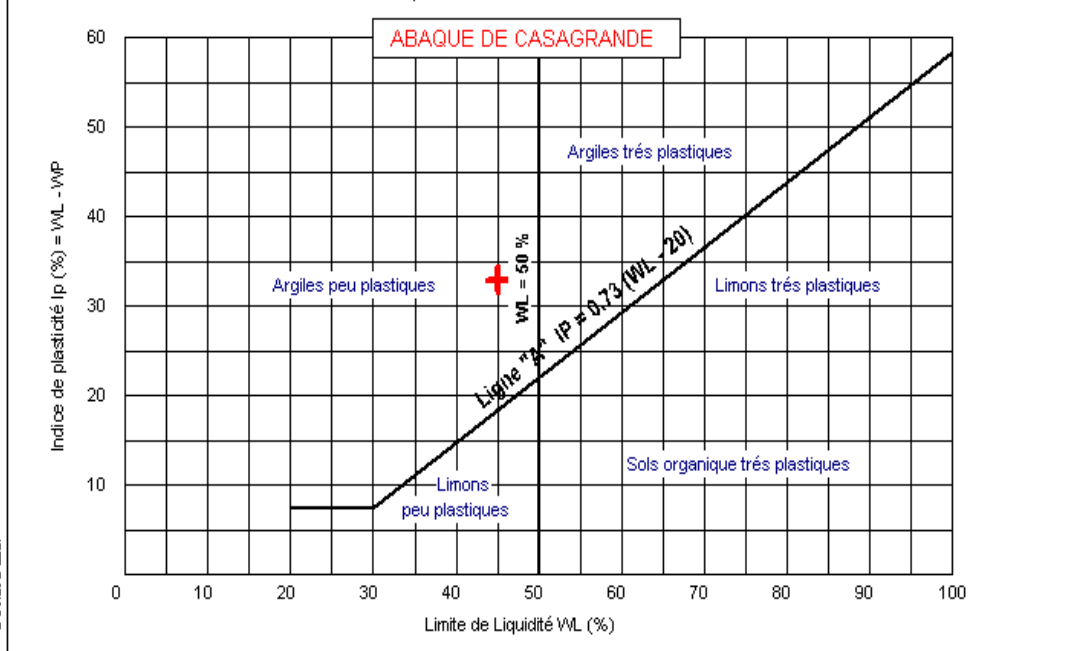
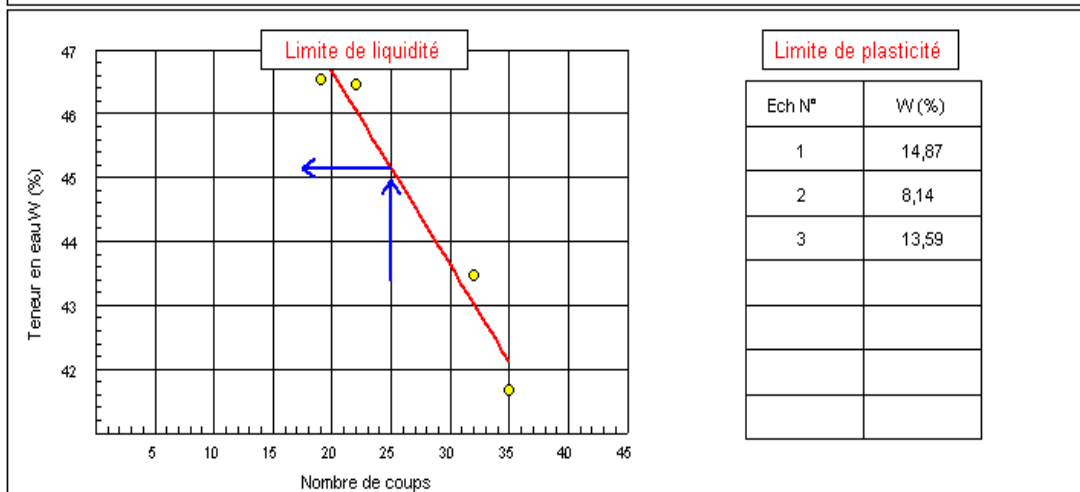
**Figure 06** : Analyse granulométrique du sixième échantillon.

**RAPPORT D'ESSAI**  
**Limites d'Atterberg**  
NF P 94 - 51

**Client :** PARTICULIER **N° Projet :** /  
**Projet :** projet fin d'étude **Réf. Client :**  
**Endroit :** PARC DOUNYA **N° rapport :** **Rév :**

Echantillon n° : 01 Provenance : parc dounya  
 Sondage n° : 01 Endroit de prélèvement : le lac  
 Profondeur : 0-30 cm Prélevé par : les étudiantes Reçu le : 25-02-2018  
 Matériaux : argile marneuse Date prélèvement : 25-02-2018 Date essais : 12 à 14-03-2018

**Limite de Liquidité (%) :** WL = 45,14 **Teneur en eau naturelle (%) :** Weau = 25,34  
**Limite de Plasticité (%) :** WP = 12,20  
**Indice de Plasticité (%) :** IP = 32,94



Remarque :

Préparé par : les étudiantes Date : Approuvé par : Date :

<b>RAPPORT D'ESSAI</b> <b>Limites d'Atterberg</b> <b>NF P 94 - 51</b>																			
<b>Client : particulier</b>		<b>N° Projet : /</b>																	
<b>Projet : projet fin d'étude</b>		<b>Réf. Client : /</b>																	
<b>Endroit : parc dounya</b>		<b>N° rapport : /</b>																	
<b>Rév: /</b>																			
Echantillon n° : 02		Provenance : parc dounya																	
Sondage n° : 02		Endroit de prélèvement : parc dounya																	
Profondeur : 11.00-12.00 m		Prélevé par : LCTP																	
Matériaux : argile marneuse		Date prélèvement : 07-01-2018																	
		Reçue le : 07-01-2018																	
		Date essais : 2 à 28-02-2018																	
<b>Limite de Liquidité (%) : WL = 61,36</b>		<b>Teneur en eau naturelle (%) : Weau = 24,5</b>																	
<b>Limite de Plasticité (%) : WP = 23,71</b>																			
<b>Indice de Plasticité (%) : IP = 37,65</b>																			
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p style="text-align: center;"><b>Limite de liquidité</b></p> <p style="text-align: center;">Teneur en eau W (%)</p> <p style="text-align: center;">Nombre de coups</p> </div> <div style="width: 48%;"> <p style="text-align: center;"><b>Limite de plasticité</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Ech N°</th> <th>W (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>17,3</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>26,87</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>26,97</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table> </div> </div> <div style="margin-top: 20px;"> <p style="text-align: center;"><b>ABAQUE DE CASAGRANDE</b></p> <p style="text-align: center;">Indice de plasticité <math>I_p</math> (%) = <math>WL - WP</math></p> <p style="text-align: center;">Limite de Liquidité VL (%)</p> </div>				Ech N°	W (%)	1	17,3	2	26,87	3	26,97								
Ech N°	W (%)																		
1	17,3																		
2	26,87																		
3	26,97																		
Remarque :																			
Préparé par :		Date :																	
Les étudiantes		/																	
Approuvé par :		Date :																	
/		/																	

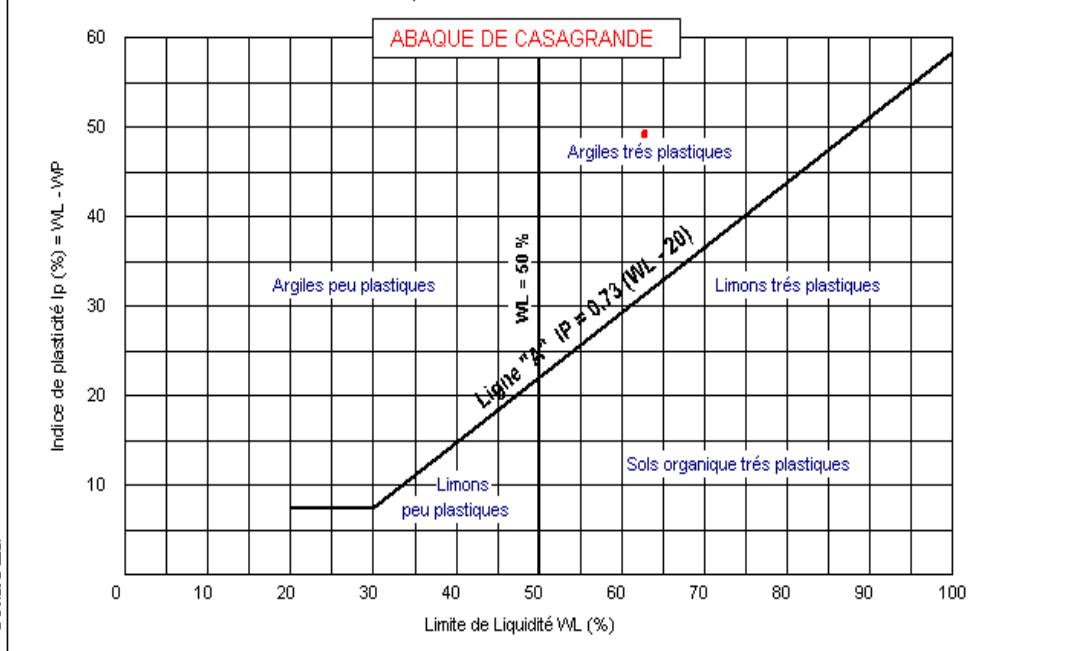
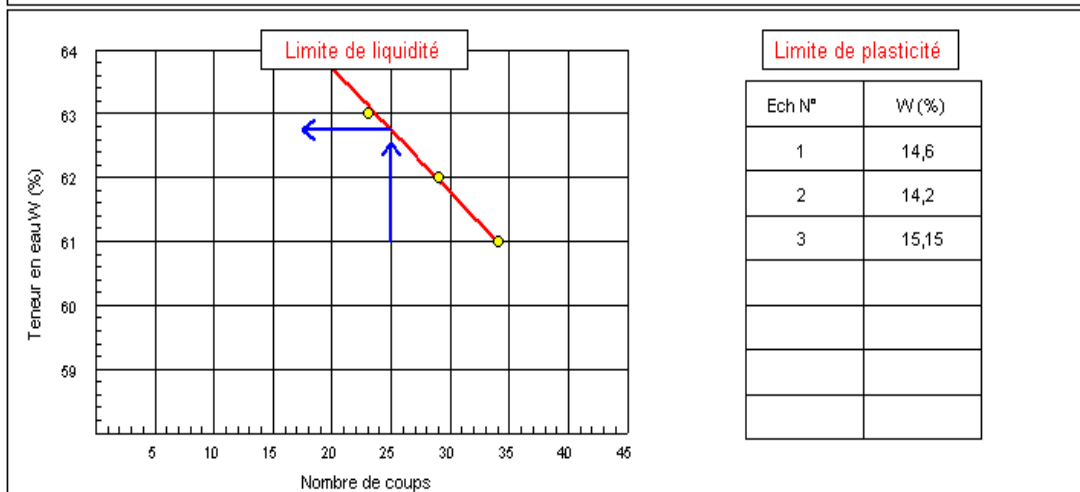


**RAPPORT D'ESSAI**  
**Limites d'Atterberg**  
NF P 94 - 51

**Client :** PARTICULIER **N° Projet :** /  
**Projet :** projet fin d'étude **Réf. Client :** /  
**Endroit :** PARC DOUNYA **N° rapport :** **Rév :**

Echantillon n° : 02 Provenance : parc dounya  
 Sondage n° : 02 Endroit de prélèvement : maison dounya  
 Profondeur : 0-30 cm Prélevé par : les étudiantes Reçu le : 24-04-2018  
 Matériaux : argile marneuse Date prélèvement : 24-04-2018 Date essais : 25 à 26-04-2018

**Limite de Liquidité (%) :** WL = 62,74 **Teneur en eau naturelle (%) :** Weau = 30  
**Limite de Plasticité (%) :** WP = 14,65 **Indice de consistance :** Ic = 0,68  
**Indice de Plasticité (%) :** IP = 48,09



Remarque :

Préparé par : les étudiantes Date : Approuvé par : Date :

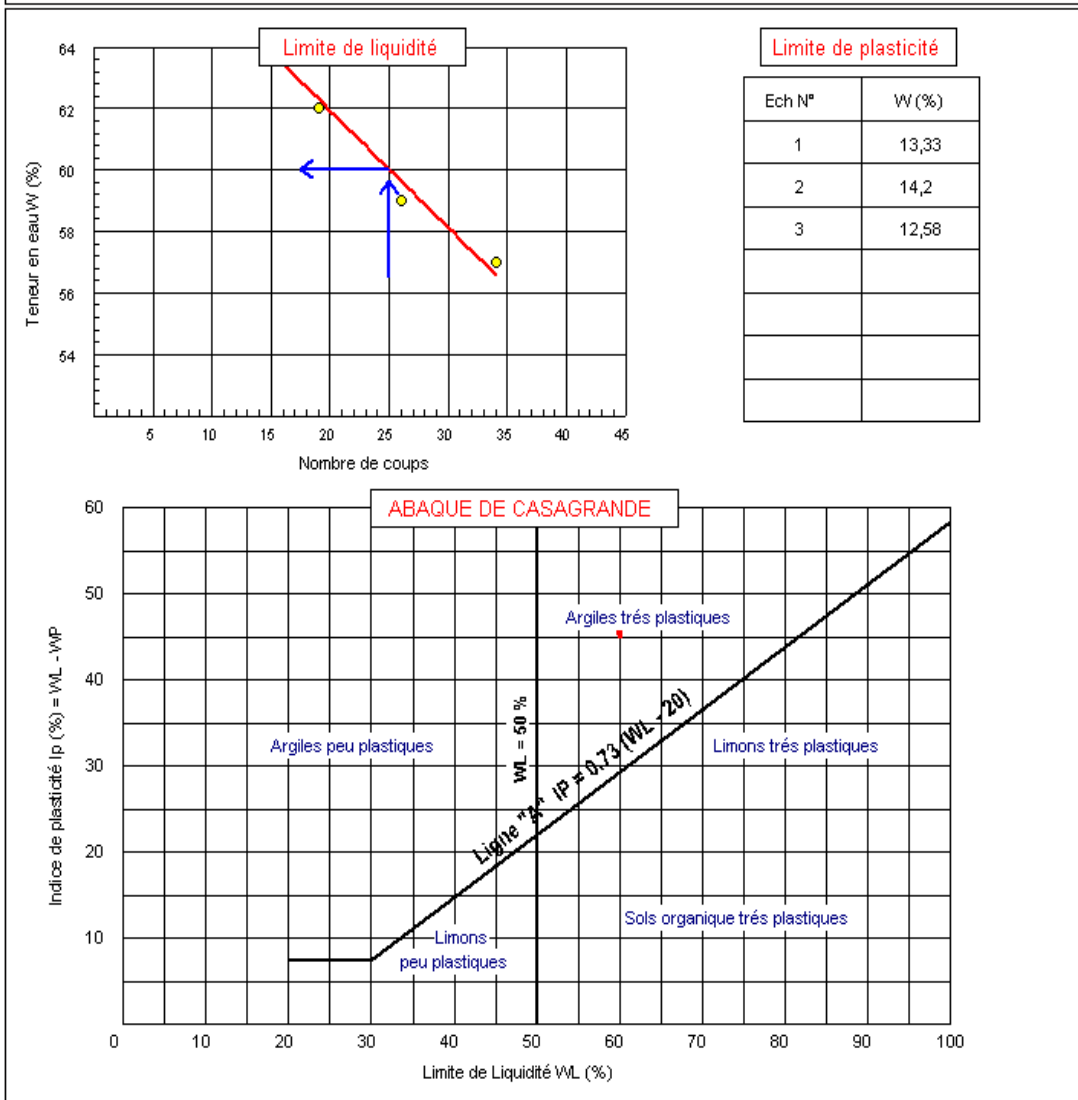
<b>RAPPORT D'ESSAI</b> <b>Limites d'Atterberg</b> <b>NF P 94 - 51</b>																	
<b>Client : PARTICULIER</b> <b>Projet : projet fin d'étude</b> <b>Endroit : PARC DOUNYA</b>	<b>N° Projet : /</b> <b>Réf. Client : /</b> <b>N° rapport :                      Rév:</b>																
Echantillon n° : 04 Sondage n° : 04 Profondeur : 0- 60 cm Matériaux : argile marneuse	Provenance : parc dounya Endroit de prélèvement : maison dounya Prélevé par : les étudiantes Date prélèvement : 24-04-2018																
<b>Limite de Liquidité (%) : WL = 61,33</b> <b>Limite de Plasticité (%) : WP = 21,03</b> <b>Indice de Plasticité (%) : IP = 40,30</b>	<b>Teneur en eau naturelle (%) : Weau = 26</b> <b>Indice de consistance : Ic = 0,88</b>																
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center;"><b>Limite de liquidité</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Ech N°</th> <th style="text-align: center;">W (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">19,58</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">20,18</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">23,33</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;"><b>Limite de plasticité</b></p> </div> </div>		Ech N°	W (%)	1	19,58	2	20,18	3	23,33								
Ech N°	W (%)																
1	19,58																
2	20,18																
3	23,33																
<p style="text-align: center;"><b>ABAQUE DE CASAGRANDE</b></p>																	
Remarque :																	
Préparé par : les étudiantes	Date : Approuvé par : Date :																

**RAPPORT D'ESSAI**  
**Limites d'Atterberg**  
NF P 94 - 51

**Client :** PARTICULIER **N° Projet :** /  
**Projet :** projet fin d'étude **Réf. Client :** /  
**Endroit :** PARC DOUNYA **N° rapport :** **Rév:**

Echantillon n° : 05 Provenance : parc dounya  
Sondage n° : 05 Endroit de prélèvement : maison dounya  
Profondeur : 0- 70cm Prélevé par : les étudiantes Reçu le : 24-04-2018  
Matériaux : argile marneuse Date prélèvement : 24-04-2018 Date essais : 24 à 25-04-2018

**Limite de Liquidité (%) :** WL = 60,02 **Teneur en eau naturelle (%) :** Weau = 23  
**Limite de Plasticité (%) :** WP = 13,37 **Indice de consistance :** Ic = 0,79  
**Indice de Plasticité (%) :** IP = 46,65



© Soliers 2017

Remarque :

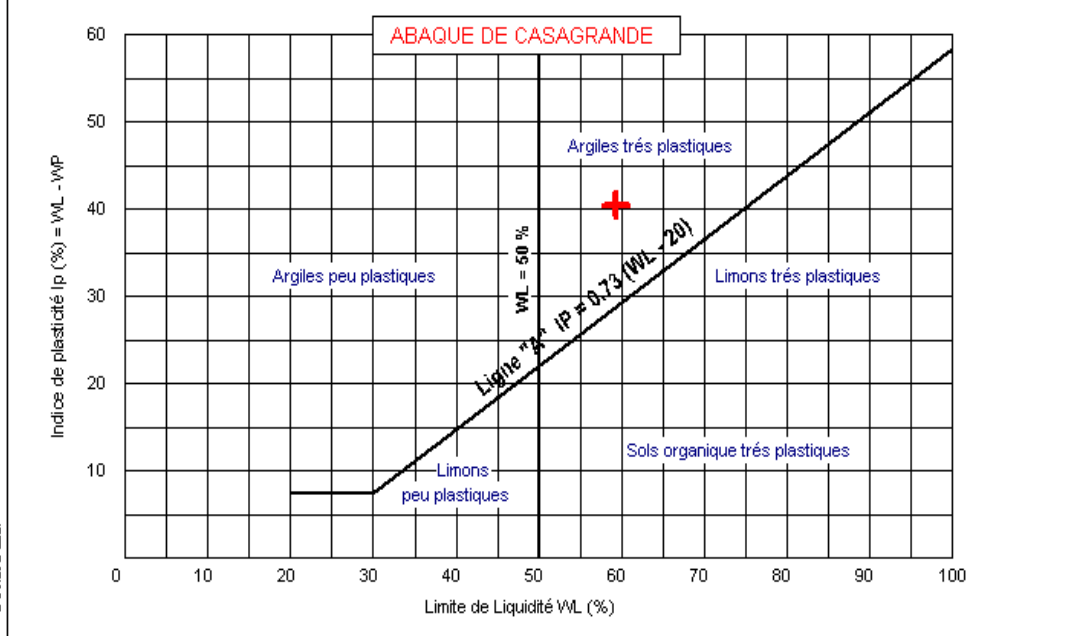
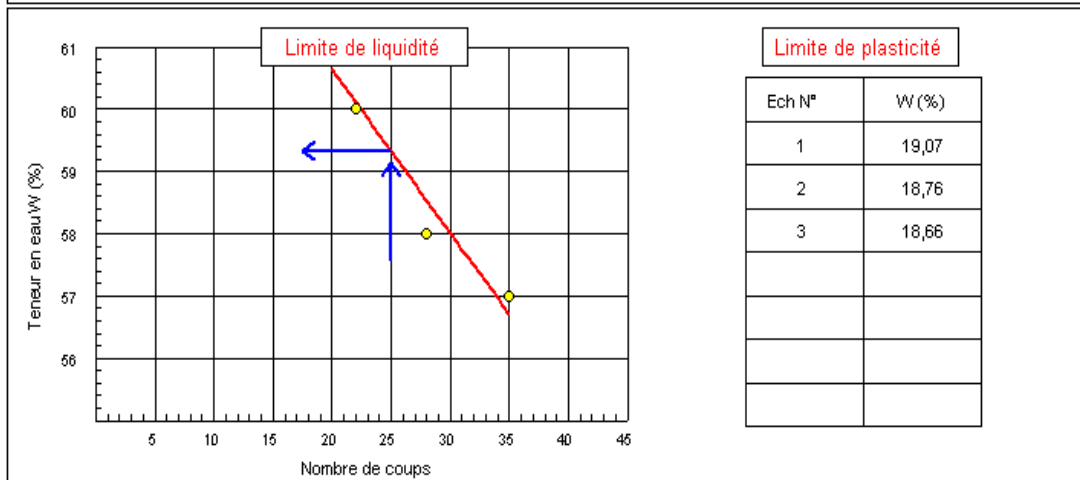
Préparé par : les étudiantes Date : Approuvé par : Date :

**RAPPORT D'ESSAI**  
**Limites d'Atterberg**  
NF P 94 - 51

**Client :** PARTICULIER **N° Projet :** /  
**Projet :** projet fin d'étude **Réf. Client :** /  
**Endroit :** PARC DOUNYA **N° rapport :** **Rév :**

Echantillon n° : 06 Provenance : parc dounya  
Sondage n° : 06 Endroit de prélèvement : maison dounya  
Profondeur : 0-100 cm Prélevé par : les étudiantes Reçu le : 24-04-2018  
Matériaux : argile marneuse Date prélèvement : 24-04-2018 Date essais : 25 à 26-04-2018

**Limite de Liquidité (%) :** WL = 59,33 **Teneur en eau naturelle (%) :** Weau = 20  
**Limite de Plasticité (%) :** WP = 18,83 **Indice de consistance :** Ic = 0,97  
**Indice de Plasticité (%) :** IP = 40,50



Remarque :

Préparé par : les étudiantes Date : Approuvé par : Date :

**RAPPORT D'ESSAI**  
**ESSAI DE CISAILLEMENT RECTILIGNE**

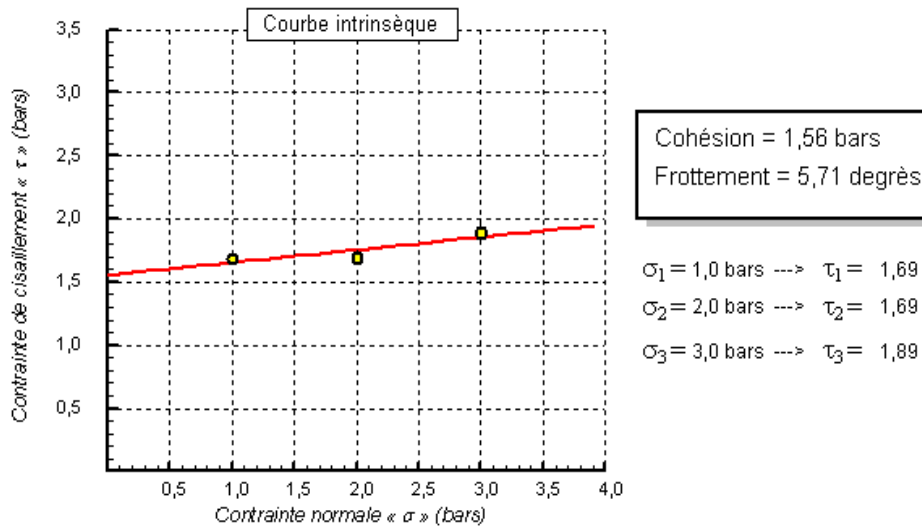
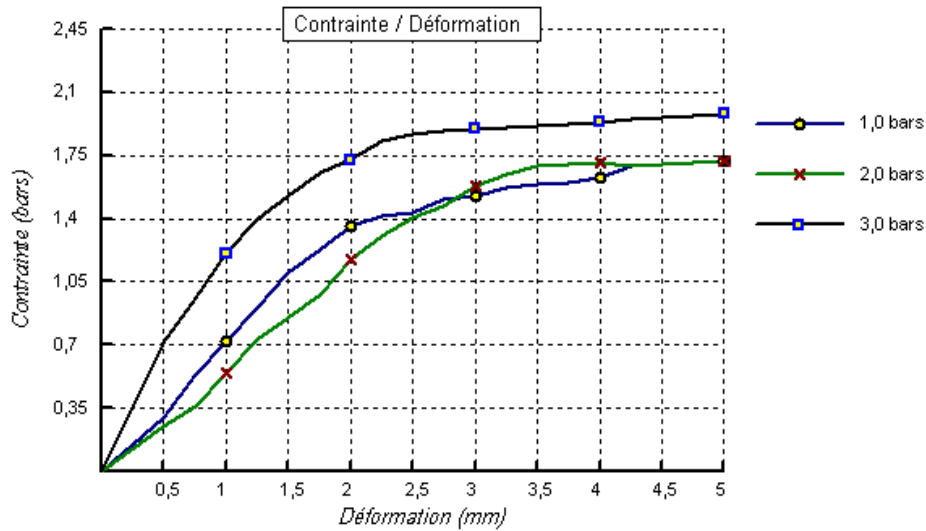
NF P94-071-1

**Client :** particulier  
**Projet :** projet fin d'étude  
**Endroit :** parc dounya

**N° Projet :** /  
**Réf. Client :**  
**N° rapport :** / **Rév :** /

Echantillon n° : 02  
Sondage n° : 02  
Profondeur : 11.00-12.00 m  
Matériaux : argile marneuse  
Provenance : Parc dounya

Endroit de prélèvement : maison dounya  
Prélevé par : LcTp  
Date prélèvement : 07-01-2018  
Reçu le : 07-01-2018  
Date essais : 08-04-2018  
Type d'essai : UU  
Vitesse de cisaillement : 1 mm/mn



© SOIBETS 2107

Remarque :

Préparé par :  
les étudiantes

Date :  
/ /

Approuvé par :  
/ /

Date :  
/ /

## RAPPORT D'ESSAI: Gonflement Libre

