



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

Université de Ghardaïa

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم الري والهندسة المدنية

Département Hydraulique et Génie Civil

N°d'enregistrement

/...../...../...../...../.....

## Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : sciences et de la technologie

Filière : Hydrauliques et Génie Civil

Spécialité : Structure

## Thème

**Stabilisation des mélange optimaux sable de dune et des argiles marne par ciment et géotextiles sur les paramètres de gonflement de gonflement de la région de Ghardaïa**

Déposé le : ..../..../2022

Par

Lahreche Fatima Zahra

Souilem Marwa

Par le jury composé de :

Mme. AZZOUZ Fatima Zohra	M.A.A	Université de Ghardaïa	Encadreur
Mme. CADY Mokhtaria	M.C.B	Université de Ghardaïa	Evaluateur
Mr. CHERIF Miloud	MR	Université de Ghardaïa	Evaluateur

Année universitaire : 2021/2022

## *Dédicace*

*Dédie ce travail principalement à mes chers parents.*

*A toute ma famille, grande et petite.*

*A tous mes professeurs qui ont eu le mérite, après Dieu Tout-Puissant, de  
notre éducation et de notre discipline.*

## *Remerciements*

*Je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire, et à leur tête se trouve le très respecté professeur Azzouz Fatima, qui n'a ménagé aucun effort pour nous guider et nous aider, ni dans le temps.*

*Nous remercions tous les professeurs respectés du Département de génie civil.*

*Nous tenons également à remercier tous les employés du LTPS, en particulier le Laboratoire de mécanique des sols, pour leur soutien lors de l'élaboration de ce travail.*

*Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui ont marqué la réalisation de ce travail.*

## **Résumé**

## Résumé

---

### Résumé

Ce travail est consacré à l'étude de l'amélioration des propriétés mécaniques à partir de mélanges optimaux de (70 % Sable et de 30 % d'argile), de (70 % Sable et de 30 % d'argile), pour trois argiles/marne ( Bouhraoua, d'Oued Nechou, Metlili) et de sable de dune de sable ( région de Ghardaïa). pour être utilisée dans la construction, une première partie concernant le sol non traité et non renforcé, qui comporte les essais pour stabilisation par la méthode de gonflement libre pour un seul paramètre pression de gonflement sur trois mélanges optimaux.

Une deuxième partie portant sur le sol traité et renforcé a différents ajouts des matériaux, ciment (type (CPJ 32, 5)) à différentes proportions de ciment portland dans des teneurs allant de ( 02, 04, 06 %.) à chaque mélange optimal, puis ces trois mélanges optimaux renforcés par Géotextile (type non tissé GEO AS30) acheté à l'entreprise de AFITEX, et finalement les trois mélanges optimaux traités et renforcés par le ciment – Géotextile ( 02, 04, 06 %.)

Les résultats des trois stabilisations de ces mélanges par trois matériaux donnent des résultats suivants ;

- Pour ciment ( Le pourcentage de gonflement diminue avec l'augmentation du pourcentage de ciment ajouté aux trois mélanges optimaux, et la pression de gonflement diminue beaucoup.
- Géotextile (augmentation sur Dans la résistance du sol au gonflement Pour le ciment – Géotextile ( 02, 04, 06 %.) (Augmentation L'augmentation de la résistance au gonflement du sol et la diminution de la pression de gonflement avec l'augmentation de la proportion de ciment).

Sur la base des résultats obtenus, nous pouvons dire que c'est le ciment qui a donné d'excellents résultats dans la réduction du gonflement du sol

**Mots clés : sable, argile, géotextile. Essai de gonflement libre, mélange optimal**

هذا العمل مخصص لدراسة تحسين الخواص الميكانيكية من الخلط المثلي المكونة من (70% رمل 30% طين) ، (70% رمل 30% طين) ، (70% رمل 30% طين) لثلاثة خلانط طين / رمل (بوهراوة ، واد نشو ، مثلي) وكتبان سبب (منطقة غرداية). لاستخدامها في بناء الجزء لأول المتعلق بالتربة غير المعالجة و غير المقواة ، والذي يتضمن اختبارات التثبيت بطريقة الانتفاخ الحر لمعا مل الضغط انتفاخ واحد على ثلاثة خلانط مثالية.

الجزء الثاني الذي يتعامل مع التربة المعالجة والمقواة يحتوي على إضافات مختلفة من المواد ، فالإسمنت (نوع CPJ 32.5) له نسب مختلفة من الاسمنت البورتلاندي بمحتويات تتراوح من ( 02 ، 04 ، 06% ) لكل خليط أمثل، ثم هذه الثلاثة المخاليط المثلي المعززة بمواد التكسية الأرضية (نوع غير منسوج (GEO AS30) تم شراؤها من شركة AFITEX ، و النهائي للخلطات الثلاثة المثلي المعالجة والمدعومة الاسمنت (02.04.06%)+ Geotextile . نتائج التثبيتات الثلاثة لهذه المخاليط بواسطة ثلاث مواد تعطي النتائج التالية؛ بالنسبة الاسمنت ( تقل نسبة الانتفاخ مع زيادة نسبة الاسمنت المضاف إلى الخلانط الثلاثة المثلي، ويقل ضغط الانتفاخ بشكل كبير.

- التكسية الأرضية (زيادة مقاومة التربة للانتفاخ الإسمنت - التكسية الأرضية (02 ، 04 ، 06%)). (زيادة مقاومة الانتفاخ للتربة و انخفاض ضغط الانتفاخ مع زيادة نسبة الاسمنت).

بناء على النتائج التي تم الحصول عليها ، يمكن القول أنا لأسمنت و الذي أعطى نتائج ممتازة في تقليل انتفاخ التربة

الكلمات المفتاحية: الرمل ، الطين ، التكسية الأرضية. اختبار الانتفاخ الحر، الخلانط المثلي.

### Abstract

This work is devoted to studying the improvement of mechanical properties of optimum mixtures consisting of (70% sand and 30% clay), (70% sand and 30% clay) of three clays / marl (Bohraoui, Oued Nchou, Metlili) and the sepseb dunes (Ghardaia region). To be used in the construction .

The first part relating to untreated and unreinforced soils, which includes stabilization tests by a free bulge method of a single swell pressure coefficient on three ideal mixtures.

The second part that deals with treated and reinforced soils contains different additives of materials. Cement (type (CPJ 32.5)) has different proportions of Portland cement with contents ranging from (02, 04, 06%) for each optimum mixture, then these three optimum mixtures reinforced with Geotextiles (non-woven type GEO AS30) purchased from the company AFITEX, the final of the three optimal cement-reinforced cured mixes - Geotextile (02.04.06%).

The results of the three fixations of these mixtures by three substances give the following results;

- For cement (the increase in the percentage of swelling decreases with the increase in the percentage of cement added to the three optimal mixtures, and the swelling pressure decreases significantly).
  
- Geotextiles (Increasing the soil resistance to swelling of cement - Geotextiles (02, 04, 06%)). (Increasing the swelling resistance of the soil and decreasing the swelling pressure with the increase of the proportion of cement).

Based on the results obtained, we can say that it was cement that gave excellent results in reducing soil swelling

**Key words: sand, clay, geotextiles. Free bulge test, optimum mixing**

## **Sommaire**



## Sommaire

---

<i>Remerciements</i> .....	3
Résumé .....	4
Sommaire .....	8
Laboratoire des travaux publics du sud. ....	17
Pression de consolidation.....	17
Introduction Général.....	1

### **Chapitre I : généralité sur les matériaux granulaires. Sable de dune et des argiles et les mélanges optimaux**

1. INTRODUCTION : .....	5
2. Les sables de dunes:.....	5
2.1.Utilisation du sable de dunes dans le domaine génie civil .....	6
a.pour le béton: .....	6
b.pour le domaine routier:.....	6
c. Diverses Utilisation: .....	6
2.2. D'utilisation du mélange sable et argiles dans le domaine géotechniques :.....	6
2.2.1.Les formes de sable de dune: .....	8
2.3.Types de sable de dune .....	8
2.3.1.Les avant-dunes (fore dune pour les anglophones) : .....	8
2.3.2. Les falaises dunaires (dune Cliff pour les anglophones) : .....	8
2.3.3.Les dunes perchées (Cliff-top dune pour les anglophones) : .....	8
2.3.4.Les cordons dunaires artificiels : .....	9
3. Les Argiles : .....	9
3.1. Définition: .....	9
3.2.Formation des argiles :.....	9
3.3.Les principe groupe d'argile : .....	9
a. structures de la montmorillonite: .....	9

## Sommaire

---

b.Structures de la kaolinite :.....	10
c.Structure d'illite :.....	11
3.4. LES MINERAUX ARGILEUX :.....	12
3.5. STRUCTURE DES ARGILES :.....	13
3.6. MÉTHODS D'INVESTIGATION MINIRALOGIQUE :.....	13
a. Analyse par diffraction aux rayons x:.....	13
b.Microscope électronique à balayage(M.E.B) :.....	14
c.Analyse Thermique:.....	14
d Analyse chimique :.....	15
Conclusion :.....	17

### Chapitres II : Le phénomène de retrait-gonflement

1. Introduction.....	19
2. MECANISME DE GONFLEMENT :.....	19
2.1. Le gonflement par hydratation de surface :.....	19
2.2. Le gonflement par hydratation osmotique:.....	19
2.3. Gonflement mécanique et physicochimique:.....	20
.3 FACTEURS AFFECTANT LE GONFLEMENT :.....	21
3.1. FacteursIntrinsèques:.....	21
3.1.1. Composition et nature minéralogique.....	21
3.1.2.Capacité d'échange en cation CEC :.....	21
3.1.3. Surface spécifique :.....	22
3.1.4. Structure du sol :.....	22
3.2.Facteurs Externes:.....	23
3.2.1.Teneur en eau initiale :.....	23
3.2.2. La densité sèche du sol argileux:.....	23
3.2.3. Température :.....	23

## Sommaire

---

.4	METHODES DIRECTES DE MESURE DU GONFLEMENT:.....	24
4.1.	Méthode de gonflement libre: .....	24
4.2.	Méthode sous charge constante:.....	24
4.3.	Méthode de gonflement à volume constant: .....	24
4.4.	Essais de gonflement au laboratoire: .....	25
4.5.	Essais de gonflement libre à l'œdomètre:.....	26
5.	CAUSES ET CONSEQUENCES DU GONFLEMENT :.....	26
5.1.	Causes du gonflement:.....	26
.6	CONSEQUENCES DU GONFLEMENT : .....	27
6.1.	Cas des bâtiments : .....	27
6.2.	Cas des Chaussées : .....	28
	CONCLUSION:.....	29

### Chapitre III : Les Techniques de la Stabilisation de Sols des Sols

1.	Introduction : .....	31
2.	But de la stabilisation.....	31
3.	Différentes Techniques de Stabilisation des Sols Fins : .....	31
3.1.	Stabilisation Mécanique : .....	31
3.1.1.	Le compactage : .....	31
3.2.	Méthode de pré humidification : .....	32
3.3.	Stabilisation Chimique avec des Additifs : .....	32
3.4.	Stabilisation par ajout du sable : .....	34
3.5.	Stabilisation aux cendres volantes : .....	35
3.6.	Stabilisation des sols à la chaux .....	35
3.6.1.	La chaux : .....	35
3.6.1.1	Modification des propriétés du sol .....	35

## Sommaire

---

3.6.1.2.Mécanismes de stabilisation à la chaux .....	36
3.7.Stabilisation mixte chaux-ciment : .....	37
3.8.Stabilisation par ajout du ciment : .....	38
3.9.La stabilisation par ajouts le géotextiles: .....	38
3.10.La stabilisation mixte ciment-géotextiles : .....	39
CONCLUSION .....	40

### Chapitres IV : programme expérimental et procédures

1. INTRODUCTION : .....	42
2. LOCALISATION DES SITES : .....	42
2.1. Sable de dune : .....	44
2.2. Argile Metlili El-Djadida: .....	45
2.3. Argile Bouhraoua : .....	45
2.4. Argile Oued Nechou : .....	46
3. Essais d'identification : .....	46
3.1. SABLE DE DUNE : .....	47
3.1.1. ANALYSE CHIMIQUE : .....	47
3.1.2. ANALYSE GRANULOMETRIQUE : .....	47
3.1.3. Equivalent de Sable : .....	49
3.1.4.ESSAI AU BLEU DE METHYLENE : .....	50
3.2. Argiles .....	51
3.2.1. ANALYSE CHIMIQUE .....	51
3.2.2. ANALYSE GRANULOMETRIQUE : .....	52
3.2.3. ESSAI AU BLEAU METHYLENE.....	53
3.2.4. Teneur en carbone de clacium des argiles etudiant .....	56
3.2.1. LIMITE DE LIQUIDITE WL .....	57
3.2.2. LIMITE DE PLASTIQUE WP.....	57

## Sommaire

---

3.3. ESSAI OEDOMETRIQUE .....	62
3.4. Classification du sol selon le GTR .....	70
3.5. Classification du sol selon le GRS .....	72
CONCLUSION .....	73

### **Chapitres V : Présentation et analyse des résultats d'essais gonflement libre des mélanges optimaux.Sable de dune – Argile – traité au ciment et renforcer par géotextiles**

.1 Introduction : .....	75
2. Méthode de gonflement libre : .....	75
3. PROTOCOLES D'ESSAI : .....	76
4. PRESENTATION DES ESSAIS : .....	77
a. Les étapes d'essai gonflement libre : .....	77
5. Conclusion.....	106
Conclusion Général .....	107
Bibliographies .....	107
Les Annexes .....	107

### Liste des Figures

Figure N° 01:	Dune de sable.....	5
Figure N° 02:	Schéma de la particule de montmorillonite .....	10
Figure N° 03:	Schéma de la particule de kaolinite .....	11
Figure N° 04:	Représentation schématique de la structure de l'illite.....	11
Figure N° 05:	Structure d'une couche tétraédrique, a) Tétraèdre SiO <sub>4</sub> , b) Couche tétraédrique.....	12
Figure N° 06:	Représentation de la couche octaédrique.....	12
Figure N° 07:	Mécanismes de gonflement des argiles par hydratation. D'après Popes Cu.....	20
Figure N° 08:	Courbe du gonflement en fonction du temps.....	21
Figure N° 09:	Désordres dus au phénomène.....	28
Figure N° 10:	Fissuration de la chaussée.....	28
Figure N° 11:	Les types de compactage .....	32
Figure N° 12:	Classification des liants. ....	33
Figure N° 13:	Le techniques de la stabilisation par géotextiles .....	39
Figure N° 14:	Photo Google Earth de localisation de carrière.....	45
Figure N° 15:	Photo Google Earth de localisation de la carrière étudiée .....	45
Figure N° 16:	série de tamis la tamiseuse .....	48
Figure N° 17:	Courbe granulométrie de sable de dune .....	48
Figure N° 18:	Principes d'essai équivalent de sable .....	49
Figure N° 19:	Courbe granulométrique des 3 argiles .....	52
Figure N° 20:	La coupelle de casagrande.....	59
Figure N° 21:	Digramme de classification des argiles etudies selon l'abaque de casagrande .....	60
Figure N° 22:	Principe de essai odométrique.....	63
Figure N° 23:	Courbe consolidation et courbecompressibilité .....	64
Figure N° 24:	Le courbe d'essai oedométrique de mélange (sabe/argile) metlili .....	66
Figure N° 25:	Le courbe d'essai oedométrique de mélange (sabe/argile) bouhraoua .....	67
Figure N° 26:	Le courbe d'essai oedométrique de mélange (sabe/argile) oed nechou .....	68
Figure N° 27:	Classification des fins selon GTR .....	70
Figure N° 28:	Classification des fins selon GTR .....	72
Figure N° 29:	Méthode de gonflement libre.....	75
Figure N° 30:	La courbe de gonflement libre sur les mélanges optimaux (1) .....	81
Figure N° 31:	La courbe de gonflement libre sur le mélange optimaux (1) en utilisant 2% Ciment .....	82
Figure N° 32:	La courbe de gonflement libre sur le mélange optimaux (1), en utilisant 4% Ciment .....	83
Figure N° 33:	La courbe de gonflement libre sur le mélange optimaux (1) en utilisant 6% Ciment .....	84
Figure N° 34:	La courbe de gonflement libre sur le mélange optimaux (1), en utilisant géotextiles .....	85
Figure N° 35:	La courbe de gonflement libre sur le mélange optimaux (1), en utilisant géotextiles .....	86
Figure N° 36:	La courbe de gonflement libre sur le mélange optimaux (1), en utilisant géotextiles .....	87
Figure N° 37:	La courbe de gonflement libre sur les mélanges optimaux (1), en utilisant géotextiles .....	88
Figure N° 38:	La courbe de gonflement libre sur le mélange optimaux (2) .....	89
Figure N° 39:	La courbe de gonflement libre sur les mélanges optimaux (2), en utilisant 2% Ciment. ..	90
Figure N° 40:	La courbe de gonflement libre sur le mélange optimaux (2), en utilisant 4a% Ciment .....	91
Figure N° 41:	La courbe de gonflement libre sur le mélange optimaux (2), en utilisant 6% Ciment .....	92
Figure N° 42:	La courbe de gonflement libre sur le mélange optimaux (2), en utilisant géotextiles .....	93
Figure N° 43:	La courbe de gonflement libre sur le mélange optimaux (2), en utilisant géotextiles .....	94
Figure N° 44:	La courbe de gonflement libre sur le mélange optimaux (2), en utilisant géotextiles .....	95
Figure N° 45:	La courbe de gonflement libre sur le mélange optimaux (2), en utilisant géotextiles .....	96
Figure N° 46:	La courbe de gonflement libre sur le mélange optimaux (3) .....	97
Figure N° 47:	La courbe de gonflement libre sur le mélange optimaux (3), en utilisant 2% Ciment. ....	98
Figure N° 48:	La courbe de gonflement libre sur le mélange optimaux (3), en utilisant 4a% Ciment .....	99
Figure N° 49:	La courbe de gonflement libre sur le mélange optimaux (3), en utilisant 6% Ciment .....	100
Figure N° 50:	La courbe de gonflement libre sur le mélange optimaux (3), en utilisant géotextiles .....	101
Figure N° 51:	La courbe de gonflement libre sur le mélange optimaux (3), en utilisant géotextiles .....	102
Figure N° 52:	La courbe de gonflement libre sur le mélange optimaux (3), en utilisant géotextiles .....	103
Figure N° 53:	La courbe de gonflement libre sur le mélange optimaux (3), en utilisant géotextiles .....	104

## Sommaire

---

### Liste des tableaux

Tableau N° 01:	La surface spécifique de quelques minéraux argileux .	22
Tableau N° 02:	Essais d'identification.	46
Tableau N° 03:	Analyse chimique du sable de dune étudié.	47
Tableau N° 04:	Résultats récapitulatif de l'analyse granulométrique du sable de dune	49
Tableau N° 05:	Indetification et clacification de sable	50
Tableau N° 06:	Analyse chimique des argiles étudiées.	51
Tableau N° 07:	Résultants récapitulatif des l' analyse granulometrique des 3 argiles	53
Tableau N° 08:	Paramètres titres de l'essai au bleau a la tache.	54
Tableau N° 09:	Valeau de bleau dequelques sols	54
Tableau N° 10:	Les valeur du bleau des melange etudien	55
Tableau N° 11:	La classification CaCO <sub>3</sub> de quelques sols	56
Tableau N° 12:	Récapitulation des résultats d'essai de limites d'atterberg d'argiles étudiés	58
Tableau N° 13:	Parmètres titrés des d'atterberg	59
Tableau N° 14:	Réultats récapitulatif de l'analyse granulométrique d'argiles	60
Tableau N° 15:	Résultants de les deaux echantion.	69
Tableau N° 16:	Coffition de gonflement	69
Tableau N° 17:	Classification selon le rapport.	69
Tableau N° 18:	Classification GTR.	71
Tableau N° 19:	La Résultante de la Prisseon de gonflement libre Pg de mélange optimaux..	105
Tableau N° 20:	La résultante de la prisseeon de gonflement libre Pg de mélange optimaux. ..	105
Tableau N° 21:	La résultante de la prisseeon de gonflement libre Pg de mélange optimaux ...	105
Tableau N° 22:	La résultante de la prisseeon de gonflement libre Pg de mélange optimaux ...	105

### Liste des Photos

Photo N°(1):	Sable de dune de Sebseb.....	42
Photo N°(2):	Massifs du site Bouhraoua.....	43
Photo N°(3):	Massifs du site Metlili .....	43
Photo N°(4):	Massifs du site Oued Nechou .....	44
Photo N°(5):	Photo Google Earth de localisation de la carrière étudiée .....	44
Photo N°(6):	Photo Google Earth de localisation de la carrière étudiée. ....	46
Photo N°(7):	Essai bleau methylene .....	55
Photo N°(8):	Détermination de limite de liquidité.....	57
Photo N°(9):	Détermination de limite de liquidité.....	57
Photo N°(10):	Dispositif de meulage.....	77
Photo N°(11):	La Mélange Optimum (Sable + Argile ).....	78
Photo N°(12):	Echantillonde (mélange optimum + Ciment ).....	78
Photo N°(13):	Le Moule de compactage.....	78
Photo N°(14):	L'appareil de compactage .....	79
Photo N°(15):	Réglement de l'échantillon.....	80
Photo N°(16):	La boîte que nous avons utilisée .....	81
Photo N°(17):	L'appareil de gonflement .....	82
Photo N°(18):	Poids de l'échantillon humide .....	83
Photo N°(19):	Chauffe-eau.....	84
Photo N°(20):	L'échantillon Séchée.....	85



**LISTE DES SYMBOLES**

<b>Symbole</b>	<b>Désignations</b>
<b>Pg</b>	Pression de gonflement
<b>Ic</b>	Indice de consistance
<b>Ip</b>	Indice de plasticité
<b>W</b>	Teneur en eau
<b>Wl</b>	Limite de liquidité
<b><math>\gamma_d</math></b>	Poids volumique sec
<b><math>\gamma_h</math></b>	Poids volumique humide
<b>At</b>	Argiles tres plastique
<b>Ap</b>	Argiles peu plastique
<b>Lt</b>	Limons tres plastique
<b>Lp</b>	Liomons peu plastique
<b>VB</b>	Valeur de bleau
<b>CaCO3</b>	Teneur de carabonate de calicium
<b>E</b>	Indice des vides
<b>R</b>	Coefficient de corrélation
<b>X</b>	Moyenne
<b>LTPS</b>	Laboratoire des travaux publics du sud.
<b>Pc</b>	Pression de consolidation
<b>Ip</b>	Indice de Plasticité
<b>Géo</b>	Géotextile

## **Introduction Général**

## Introduction Général

---

Les bâtiments et les installations représentent les éléments les plus importants pour l'établissement des villes et des États, et ils étaient confrontés à des problèmes et des dommages dus à la qualité du sol.

Par conséquent, les ingénieurs et les géotechniciens doivent faire une étude minutieuse pour éviter de commettre des erreurs qui coûtent cher.

Actuellement, la valorisation des matériaux locaux dans la géotechnique reste d'actualité ; il s'agit de mieux maîtriser leur comportement dans diverses situations et leur mise en œuvre et d'arriver à une caractérisation qui facilitera leur classification et leur utilisation par des ingénieurs et techniciens.

Cependant, la recherche de certains procédés de traitement de ces matériaux en vue d'améliorer leurs caractéristiques physicomécaniques demeure l'une des solutions la plus appropriée. Afin de palier à ces problèmes, la réponse aux exigences techniques des chaussées de routes s'avère de plus en plus nécessaire.

La région de Ghardaia (600 km au sud de la capitale) possède des dunes de sable et d'argile, et le sol argileux est connu pour être bombé, ce qui constitue une menace pour ses constructions. Par conséquent, nous devons étudier ce phénomène afin de trouver des solutions pour réduire ce problème.

- Les échantillons destinés à cette étude, sont réalisés à partir d'une matière première de base composée en proportion massique de 70 % Sable et de 30 % d'argile (utilisé comme mélange optimal). Le sable et l'argile sont d'abord mélangés à sec pour former la matière première de base. A ce mélange optimal :

1. Mélange 1 ; sable de dune – marne de Bouhraoua,
2. Mélange 2 ; sable de dune – marne d'Oued Nechou
3. Mélange 3 ; sable de dune – marne de Metlili

Puis ajout trois matériaux géosynthétique et/ou traitement aux liants sont ;

4. Le ciment : on ajoute différentes proportions de ciment portland CEM IIB (CPJ 32, 5) dans des teneurs allant de (0 à 02, 04, 06 %.) A chaque mélange optimal,
5. Géotextile : type non tissé GEO AS30 entreprise de AFITEX
6. Le ciment – Géotextile

Le problème posé : Est-ce que l'ajout des différents dosages de ciment (liant hydraulique) a, aussi pour l'ajout du géotextile et le géotextile-ciment une influence sur les essais gonflement libre ?

Les objectifs majeurs de notre travail se résument dans les axes suivants :

Les objectifs majeurs de notre travail se résument dans les axes suivants :

## Introduction Général

---

L'objectif étant d'arriver valoriser trois les mélanges optimaux sables de dune –argiles ou marne qui sont initialement inadéquats à une utilisation routière pour des chaussées à des déferents trafic routier ;

7. a proposer un matériau traite économiquement compétitif et facile a mettre en œuvre in situ comme géotextile.

Economique :

8. Préservation des ressources en matériaux structures de bonne qualités ;

- Notre travail est reparti en cinq chapitres:

- **Chapitre I** : Consacré à des rappels sur les définitions des argiles et différents types des sols argileux et de leurs caractéristiques tel que la texture, principales types d'argiles, porosité et distribution de taille de pores, la nature minéralogique des argiles, composition chimique, et sable de dune. Après une présentation de technique routière saharienne (TRS), nous abordons l'utilisation des mélanges sable de dune –argile en domaine géotechnique et une recherche sur les travaux présidents sur le mélange optimal sur les essais géotechniques.;

- **Chapitre II** : Explication du phénomène de gonflement du sol et des méthodes de gonflement et de son évolution.

- **Chapitre III** : Méthodes de stabilisation des sols, y compris les méthodes mécaniques, physiques et chimique

- **Chapitre IV**: présente les résultats d'un travail expérimental qui s'est déroulé au Laboratoire des Travaux Publics du Sud (L.T.P.S) à Ghardaïa ; Où on présente une identification géotechnique sable de dune et des trois argiles;

- **Chapitre V** : regroupe les principaux résultats trouvés par des essais mélanges sans géotextile, avec géotextile, avec ciments et avec ciment –géotextile destine pour des essais routière.

Finalement, une conclusion générale est présentée, suivit de quelque recommandation.

**Chapitre I : généralité sur les matériaux  
granulaires. Sable de dune et des argiles et  
les mélanges optimaux**

**1. INTRODUCTION :**

Dans ce premier chapitre de notre étude nous allons donner une présentation générale sur les caractéristiques du sable de dune et les argiles,

Après utilisation des mélanges optimaux du sable de dune et l'argile dans le domaine géotechniques, L'intérêt d'utilisation de ces mélanges se situe à deux niveaux : technique et économique à travers des différents chercheurs.

**2. Les sables de dunes:**

Les sables, que l'on trouve dans les dunes mouvantes, sont composés de particules siliceuses pratiquement de même taille et de petites dimensions. Ces sables sont accumulés sous forme de dunes mouvantes de hauteur très variable.

D'après Fookes et Higginbotham (1968) , le Sahara est constitué d'environ 40 % de montagnes désertiques, 15 % de plaines désertiques et 30 % de dunes de sable, le reste étant constitué de sebkhas, de chotts, etc. Le Sahara, quant à lui, couvre environ le tiers du continent africain. Ces chiffres montrent bien l'intérêt que l'on doit apporter à la construction routière dans le Sahara, qui reste fort démunie en infrastructures, et aussi l'importance que l'on doit accorder au sable dans toute investigation visant la valorisation des matériaux locaux dans ce lieux. [1]



**Figure N° 01: Dune de sable [2]**

### **2.1. Utilisation du sable de dunes dans le domaine génie civil : [3]**

#### **a. pour le béton:**

Le sable de dunes était utilisé depuis longtemps dans l'exécution des travaux de remblayage des fouilles de fondations et les travaux routiers, mais l'utilisation comme constituant principal du béton n'apparaît qu'après la naissance du béton de sable en 1853 par F.COIGNET (Rapport général et conclusion de 23e congrès mondial de la route). Cette naissance a donné le courage de commencer une nouvelle investigation qui a étudié la possibilité d'utiliser le sable de dunes comme un constituant principal dans les structures des ouvrages en génie civil; pour cette raison plusieurs actions de recherches, soit en Algérie ou à l'étranger, ont été engagées et hypothéquées.

#### **b. pour le domaine routier:**

L'utilisation des sables en techniques routières n'est pas nouvelle. A l'époque déjà, les ingénieurs avaient recours à l'utilisation du sable mélangé à un liant hydrocarboné en particulier pour les couches de roulement.

#### **c. Diverses Utilisation:**

Les sables sont un élément essentiel du processus sédimentaire et représentent une ressource très importante du point de vue économique: remblais, granulats pour béton, matériaux de construction, sables siliceux pour l'industrie. Ces derniers (appelés autrefois sables industriels) constituent l'essentiel de la matière première de l'industrie du verre, des moules, des noyaux de fonderie; ils entrent aussi dans la fabrication des céramiques et des mortiers spéciaux.

Le sable est aussi le milieu naturel où s'accumulent les minéraux lourds alluvionnaires; ces concentrations minéralisées sableuses sont dénommées placers (un mot espagnol) et l'on y extrait de l'or, des diamants, de la cassitérite (minerai d'étain), de la magnétite (oxyde de fer), de l'ilménite (oxyde de titane et de fer), etc. Les placers d'ilménite, ou «sables noirs», sont importants économiquement pour la fabrication des pigments de la peinture blanche (gisements côtiers en Australie) et comme source du titane métal. Les sables jouent également un grand rôle comme réservoirs potentiels pour les nappes d'eau (aquifères) ou les hydrocarbures. Il importe que l'exploitation du sable, souvent anarchique, soit réglementée pour éviter de perturber de fragiles équilibres naturels: érosion des plages dont l'alimentation naturelle en sable a été coupée; destruction à terre de la nappe phréatique, etc.

### **2.2. D'utilisation du mélange sable et argiles dans le domaine géotechniques :**

Le mélange sable-argile sont utilisées surtout pour l'enfouissement des déchets, Kouloughli (2007) a résumé les considérations de base pour la sélection de la bentonite et les méthodes de design de ces barrières par la granulométrie du sol de base, la quantité et la minéralogie de la bentonite.

## Chapitre I : généralité sur les matériaux granulaires. Sable de dune et des argiles et les mélanges optimaux

---

Alberta Environnement (1985) recommande l'utilisation de bentonites à forte teneur en montmorillonite ayant principalement du sodium comme cations échangeables. D'après ce document, les bentonites avec du calcium auraient un potentiel de gonflement plus faible et nécessiteraient des pourcentages de bentonite plus élevés pour atteindre les mêmes objectifs de conductivité hydraulique. Le sable doit aussi posséder des caractéristiques granulométriques telles que la stabilité hydraulique du mélange sera assurée et que la bentonite demeurera à l'intérieur du squelette formé par le sable.

Les données de Marcotte et al. (1993) recueillies dans le cadre de l'étude géotechnique réalisée pour les étangs de Trois-Rivières, montrent que le risque de les sivages augmente lorsque les pourcentages de particules fines et de bentonite sont faibles. On peut y remédier en augmentant le pourcentage de particules fines. Bien sûr, les conditions conduisant à un les sivages varient avec le sol étudié, la nature de la bentonite utilisée et peut-être les caractéristiques d'essais. On doit donc vérifier que le mélange sable-bentonite est stable, en réalisant des essais de perméabilité sous des gradients hydrauliques au moins aussi élevés que dans les conditions de terrain, sans papier-filtre qui pourrait arrêter la bentonite, et en suivant l'évolution dans le temps de la conductivité hydraulique et de l'apparence de l'eau percolée (Laine et Miklas, 2002). Pour de faibles pourcentages de bentonite,

le comportement mécanique est contrôlé par le sol pulvérulent. Si par contre le pourcentage en bentonite devenait excessif, les particules de sable ne seraient plus en contact les unes avec les autres et le comportement mécanique serait alors contrôlé par la bentonite et son faible angle de frottement. En ce sens, trop de sécurité sur le pourcentage de bentonite pour atteindre une performance hydraulique peut conduire à un problème de stabilité mécanique des mélanges sur les talus.

Les résultats Aïd Nouri. ( 2009), sur les Comportement mécanique d'un sable renforcé par des nappes de polyéthylène, réaliser sur les essais de compactage, les essais de cisaillement direct ainsi que des essais de conductivité hydraulique de ces mélanges sont présentés. L'étude a montré qu'un mélange sable- bentonite à 10% assure une imperméabilisation adéquatedes centres d'enfouissement technique.

L'étude de Gueddouda k 2011, recueillies dans le cadre de l'étude géotechnique réalisée pour La caractérisation complète du mélange (de sable de dune/ bentonite) adopté, les paramètres physiques, hydriques et mécaniques qui en découlent montrent qu'il s'agit d'un matériau qui répond aux exigences des dispositions réglementaires pour une utilisation dans les ISD. Ils devraient aussi naturellement déboucher sur une modélisation aux limites de la barrière



## **Chapitre I : généralité sur les matériaux granulaires. Sable de dune et des argiles et les mélanges optimaux**

---

ouvragée pour valider les performances de ces matériaux locaux dans les applications environnementales envisagées.[2]

### **2.2.1. Les formes de sable de dune:**

IL existe trois formes:

- ✓ La forme la plus commune sur la Terre (et sur Mars) des dunes est celle en demi-lune, aussi appelée transversale ou barkhane en forme de croissant. Les collines en demi-lune sont, généralement, plus larges que courtes Elle naît là où l'apport de sable est faible et sous des vents unidirectionnels.
- ✓ La dune parabolique est en forme de U. Elles sont typiques des déserts côtiers. La plus longue dune en parabole connue mesure 12 kilomètres. Ce type de dune se forme quand, aux extrémités d'une formation sableuse, commence à apparaître de la végétation qui en arrête la progression, tandis que la partie centrale continue à avancer. Elles se forment quand le vent ne souffle que dans une seule direction dominante.
- ✓ Les siouf ou SIF, dunes en forme de sabre, sont des ondulations longitudinales s'amincissant vers une extrémité [4].

### **2.3. Types de sable de dune: [5]**

#### **2.3.1. Les avant-dunes (fore dune pour les anglophones) :**

Qui sont des bourrelets plus ou moins fixés par la végétation (oyats par exemples), parallèles au trait de côte et solidaire de la plage, c'est à dire échangeant du sable avec elle, dans un même système sédimentaire. À ne pas confondre avec une ancienne arrière dune en cours d'érosion, ou avec une dune formée par du sable venant de terre sur un secteur ou un avant-dûner active ne pourrait pas se former. En Espagne et en Tunisie, ces avant-dunes sont systématiquement considérées comme faisant partie du domaine public maritime, ce qui facilite leur protection. L'avant dune se forme à partir de fixation du sable en haut de plage, par des plantes pionnières spasmophiles.

#### **2.3.2. Les falaises dunaires (dune Cliff pour les anglophones) :**

N'est pas une vraie dune mais un profil résultant de l'érosion marine d'une dune ancienne fixée par une pelouse ou un boisement qui ont été à l'origine de la formation d'une couche d'humus ou de sol sableux.

#### **2.3.3. Les dunes perchées (Cliff-top dune pour les anglophones) :**

Qui apparaissent au sommet d'une falaise vive ; alimentée en sable par le vent à partir de l'estran, voire à partir du profil de pente, quand il s'agit d'une falaise Dunaire.

#### **2.3.4. Les cordons dunaires artificiels :**

Qui sont construits de main d'homme, généralement comme élément de protection contre la mer ou d'une zone cultivée et/ou construite. Ils Nécessitent un entretien permanent, sans lequel ils se désintègrent en quelques décennies. Certains cordons sont semi-naturels (ex : avant-dunes plus ou moins dégradés rectifiées par des engins et fixées par des oyats à Sangatte dans le nord de la France).

### **3. Les Argiles :**

#### **3.1. Définition:**

Les argiles sont des sols très sensibles à l'eau. Elles sont à l'origine de nombreux désordres dans les constructions. Elles peuvent être classées en deux grandes catégories:

**1.** argiles plastiques : indurés et très déformables.

**2.** argiles raides : indurées et présentent un comportement plus fragile que de la limite d'élasticité.

L'argile brute contient généralement des particules élémentaires dont le diamètre du grain est inférieur à 2 micromètres qui représentent les individus cristallins (phase minérale pure) appelés minéraux argileux responsables de ses propriétés telles que le gonflement, la plasticité et les propriétés d'adsorption. Mais dans les sols, ces particules élémentaires sont généralement liées par des ciments de nature très diverse (carbonates, composés organiques, composés minéraux amorphes ou oxydes et hydroxydes de fer et d'aluminium, feldspaths de quartz) au sein d'agrégats de taille beaucoup plus importante [6].

#### **3.2. Formation des argiles :**

Les sols argileux se forment par un processus lent d'altération sous l'action du climat, suivi de phénomènes d'érosion, de transport et de sédimentation. 90 % des minéraux argileux sont d'origine détritique. L'altération peut être physique (désagrégation des minéraux primaires) ou chimique (par transformation des minéraux). Certains minéraux argileux précipitent à partir d'une solution (minéraux néoformés)[7]

#### **3.3. Les principe groupe d'argile :**

##### **a. structures de la montmorillonite:**

La montmorillonite, appelée aussi smectite, est un minéral argileux de type 2:1 dont le feuillet élémentaire est composé d'une couche d'alumine comprise entre deux couches de silice. Une substitution partielle de l'aluminium Al par le magnésium Mg est fréquente. À l'instar de la kaolinite, les couches peuvent se prolonger indéfiniment dans les deux autres directions. Les forces de Van der Waals, dues principalement au moment électrique qui règne entre les feuillets et qui soudent les sommets de feuillets de silice, sont faibles par rapport aux autres forces de liaison. Cela se traduit par une déficience en charge négative nette dans les feuillets en octaèdre.

## Chapitre I : généralité sur les matériaux granulaires. Sable de dune et des argiles et les mélanges optimaux

Pour cette raison les ions échangeables peuvent pénétrer dans la structure et séparer les couches. La montmorillonite est donc caractérisée par une structure instable qui est affectée par la présence d'eau. Les plaquettes de montmorillonite ont une forme quelconque est de taille très petite, un diamètre moyen entre 0,1  $\mu\text{m}$  et 1  $\mu\text{m}$  et une épaisseur moyenne entre 0,001  $\mu\text{m}$  et 0,01  $\mu\text{m}$ . La montmorillonite possède une surface spécifique totale entre 700 et 840  $\text{m}^2/\text{g}$  et un espace inter-feuillets de 9,6 Å [8].

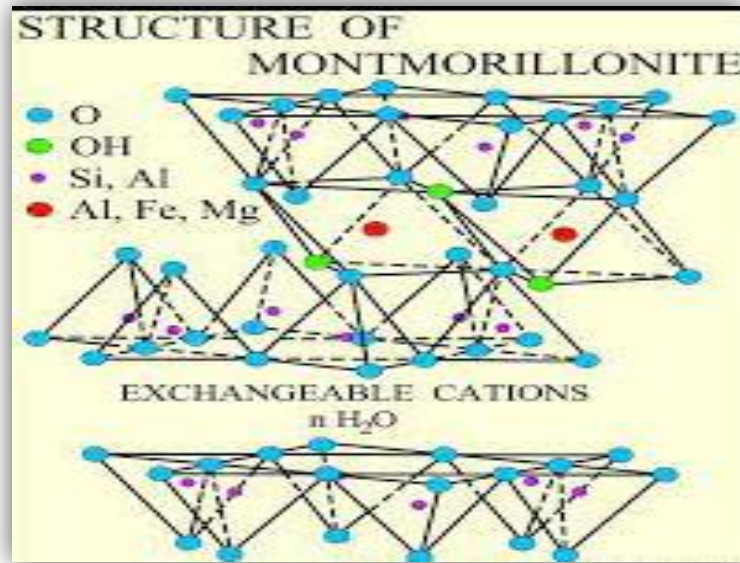


Figure N° 02: Schéma de la particule de montmorillonite [9]

### b.Structures de la kaolinite :

La kaolinite ( $\text{Si}_4\text{O}_{10}\text{Al}_4(\text{OH})_8$ ) Le feuillet élémentaire est composé d'une couche de silice et d'une couche d'alumine. Entre différents feuillets de kaolinite, le contact se fait entre un plan contenant les ions hydroxyles - OH de l'octaèdre, et celui contenant les ions d'oxygène  $2-\text{O}$  du tétraèdre ; dans ce cas, les liaisons inter foliaires résultent de l'effet composé de liaisons hydrogène et de forces de Van der Waals ; ce qui se traduit par un lien assez fort. Ainsi une particule de kaolinite sera constituée, par exemple, de quelques centaines de feuillets et pourra avoir une épaisseur de quelques dizaines de micromètres. Ces particules sont stables et leur structure élémentaire n'est pas affectée par la présence d'eau [10].

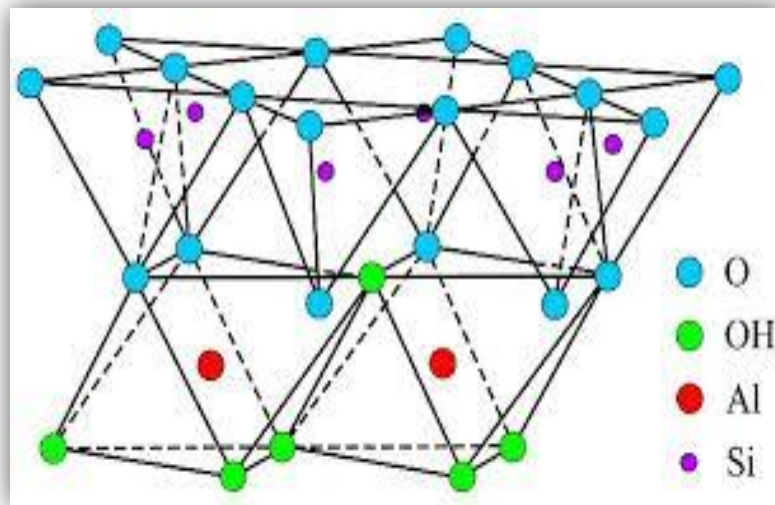


Figure N° 03: Schéma de la particule de kaolinite [11]

### c. Structure d'illite :

Le feuillet élémentaire est composé d'une couche d'alumine entre deux couches de silice (figure 1.4). Dans les couches de silice, un ion  $\text{Si}^{4+}$  sur quatre est remplacé par un ion  $\text{Al}^{3+}$ . Le déficit de charge qui en résulte est compensé par les ions  $\text{K}^{+}$  qui assurent des liaisons assez fortes entre les feuillets. On peut aussi rencontrer dans le feuillet de silice certaines substitutions isomorphes partielles de  $\text{Al}^{3+}$  par  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{Fe}^{2+}$  ainsi que de silicium par l'aluminium. Les particules d'illite sont plates de forme moins régulière que celle des particules de kaolinite. Elles ont diamètre moyen variant entre 0,1  $\mu\text{m}$  et 3  $\mu\text{m}$  et une épaisseur de l'ordre de 0,01  $\mu\text{m}$  à 0,3  $\mu\text{m}$ . L'illite a une surface spécifique totale de l'ordre de 65 à 100  $\text{m}^2/\text{g}$  [12].

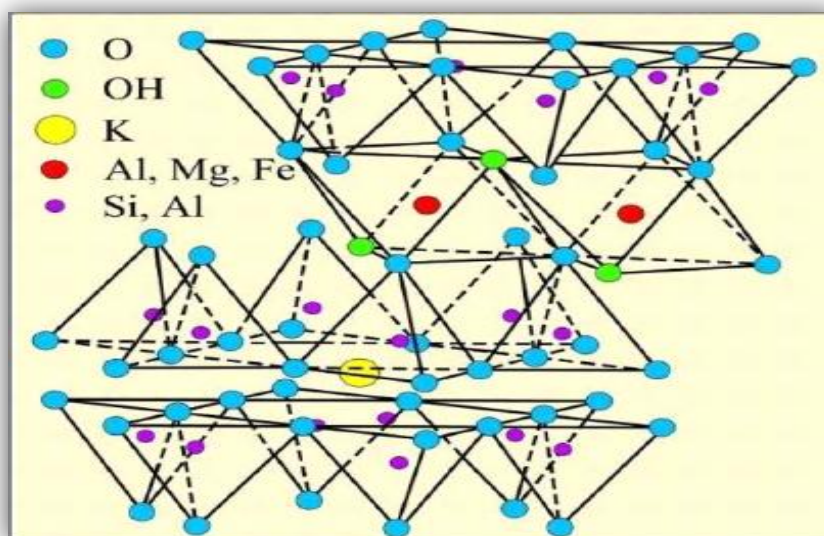


Figure N° 04: Représentation schématique de la structure de l'illite [13]

### 3.4. LES MINÉRAUX ARGILEUX :

En minéralogie, le terme argile désigne un groupe de minéraux appartenant à la famille des aluminosilicates plus au moins hydratés, de taille généralement inférieure à  $2\ \mu\text{m}$  et avec une texture phylliteuse ou fibreuse. Ce sont des phyllosilicates. Comme leur nom l'indique les phyllosilicates (du grec phyllos qui veut dire feuillet) sont formés de particules dont les unités de base sont des feuillets bidimensionnels, d'où l'appellation de silicates lamellaires. Chaque feuillet ou lamelle est composé de deux, trois, ou quatre couches associées (Caillere et Hénin, 1959). On distingue deux types de couches : La couche tétraédrique (T) qui résulte de la soudure des uns aux autres, par trois de leurs sommets, de tétraèdres d'oxygène. Les tétraèdres, dont les bases sont coplanaires, pointent dans une même direction et sont disposés suivant un réseau plan à maille hexagonale. Les quatre anions  $\text{O}^{2-}$ , aux sommets de chaque tétraèdre, enserrant au centre du tétraèdre un cation  $\text{Si}^{4+}$  (Figure 1.4.). Ce cation peut être substitué par un cation  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  et  $\text{Fe}^{2+}$

Dans le cas où le cation de là La couche octaédrique (O) est formée par deux plans d'anions oxygène  $\text{O}^{2-}$  ou d'anions hydroxyle  $(\text{OH})^-$ , disposés en assemblage hexagonal compact. Les six anions  $\text{O}^{2-}$  ou  $(\text{OH})^-$ , aux sommets de chaque octaèdre, enserrant au centre de l'octaèdre, pour les sites non vacants, un cation tel que  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  ou  $\text{Fe}^{2+}$ . [14].

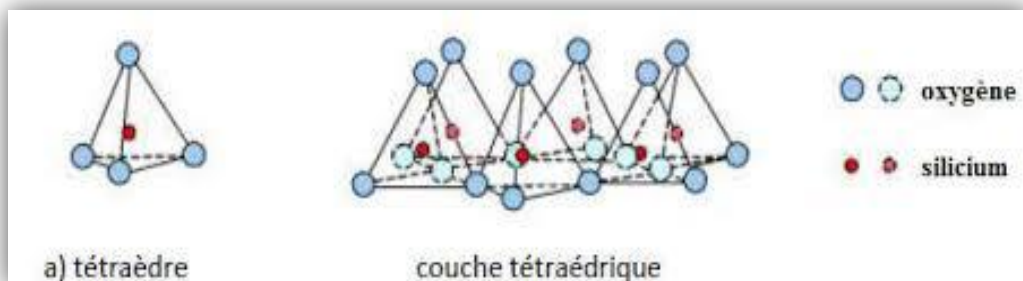


Figure N° 05: Structure d'une couche tétraédrique, a) Tétraèdre  $\text{SiO}_4$ , b) Couche tétraédrique [15]

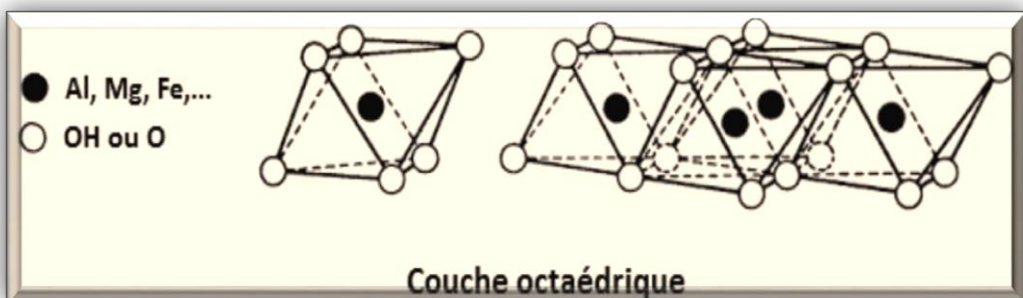


Figure N° 06: Représentation de la couche octaédrique (Morel, 1989)[16]

### **3.5. STRUCTURE DES ARGILES :**

Les minéraux argileux appartiennent à la famille des phyllo silicates. Leur structure est un empilement de couches tétraédriques et octaédriques qui forme les feuillets. Les tétraèdres sont liés les uns aux autres par des atomes d'oxygène. Ils forment ainsi un réseau planaire d'hexagones d'atomes d'oxygène. Les octaèdres sont liés par un côté. L'agencement des couches permet de distinguer trois principaux types de minéraux :

- Type 1 :1 ou T –O (1 couche octaédrique et 1 couche tétraédrique) équidistance voisine de 7 Å
- Type 2 :1 ou T -O- T (1 couche octaédrique entre 2 couches tétraédriques) équidistance variable entre 9 et 15 Å, suivant le remplissage ou non de l'espace inter foliaire ;
- Type 2 :1 :1 ou T –O-T –O est similaire au type précédent mais l'espace inter foliaire est occupé par une couche d'octaèdres. L'équidistance caractéristique est alors de 14 Å environ.

Chimiquement, les tétraèdres sont constitués de quatre oxygènes (trois planaires et un apical) encadrant généralement un atome de  $Si^{4+}$  ou  $Al^{3+}$ , et plus occasionnellement  $Fe^{3+}$  et  $Cr^{3+}$ . Idéalement, une demi-maille élémentaire est définie par trois octaèdres. Quoiqu'il en soit, l'électro neutralité de la maille est réalisée avec 6 charges positives obtenues par le remplissage cationique de deux ou trois cavités octaédriques. On peut ainsi distinguer deux grands groupes parmi les familles de minéraux argileux : les minéraux d'octaédriques (deux cavités sur trois sont remplies par des cations trivalents) et le minéral tri octaédriques (les trois cavités sont remplies par des cations divalents). Les différentes substitutions possibles dans le tétraèdre ou dans l'octaèdre créent un déficit de charge cationique dans la structure. Ce déficit, s'il existe, est compensé au plus près par la charge du remplissage inter foliaire, soit par des cations ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $NH_4^+$ ), soit par une couche octaédrique (cas des chlorites), qui agit également sur la distance entre les feuillets [17].

### **3.6. MÉTHODES D'INVESTIGATION MINÉRALOGIQUE :**

Notre but de cette analyse minérale est de déterminer les minéraux présents dans le sol. Afin d'identifier ces minéraux nécessite l'utilisation d'un ensemble de moyens empiriques, dont chacun permet la détermination de cette information spécifique pour les minéraux.

#### **a. Analyse par diffraction aux rayons x:**

La diffractométrie de rayons X est une méthode d'analyse structurale. Parmi les différentes méthodes cristallographiques possible (Laue, cristal tournant, debye et Scherrer), la dernière, souvent appelée méthode des poudres, est particulièrement favorable à l'étude des minéraux argileux pour lesquels il n'est pas possible de disposer de cristaux de grande taille. En effet, en faisant arriver un rayonnement monochromatique sur une multitude de grains ou toutes les orientations se trouvent statistiquement réalisées, il y a toujours une famille de plan

## Chapitre I : généralité sur les matériaux granulaires. Sable de dune et des argiles et les mélanges optimaux

---

réticulaires (plans parallèles) qui satisfait à la condition de Bragg et qui peut conduire à des réflexions décelable.

L'usage du diffractomètre s'est maintenant généralisé pour les opérations de détermination des minéraux argileux. Dans les cas simple, il suffit en effet d'une rotation du goniomètre d'une dizaine de degrés pour obtenir la première réflexion basale des principaux minéraux argileux. L'utilisation du rayon X en minéralogie est avant tout basée sur les phénomènes de diffusion cohérente des rayons X par les couches électronique des atomes, sans qu'il y ait de changement de longueur d'onde : c'est ce que l'on appelle le phénomène de diffraction des rayons, et la loi de Bragg en définit les conditions:

$$n \lambda = 2d \sin \theta$$

$\lambda$  : longueur d'onde de la source

$d$  : espacement entre deux plans parallèles du cristal

$\theta$  : angle entre le faisceau incident et le réseau de plan [18].

### b. Microscope électronique à balayage(M.E.B) :

La microscopie photonique allie l'étude de la morphologie des cristaux aux mesures de leurs caractères optique (indice de réfraction, biréfringence, signe d'allongement, angle d'axes). Grâce à son pouvoir sépateur extrêmes élevé ( $10\text{\AA}$ ), la microscopie électronique en transmission donne accès à l'étude de plus petites cristallites, et la micro diffraction associée permet dans les cas favorables de les identifier. En revanche, le champ observable est très petit (quelques microns), d'où une difficulté d'interprétation des images.

Si la pouvoir sépateur de la microscopie à balayage est plus faible ( $150\text{\AA}$ ), que celui de la microscopie en transmission, la profondeur de champ et l'étendue de la gamune des grossissement autorisent l'examen de la texture d'échantillons plus importants (quelques centimètres carrés), tandis que l'analyse du rayonnement X émis par le matériau sous l'impact du faisceau d'électrons peut conduire à une cartographie de la composition chimique élémentaire avec une résolution spatiale voisine du micron [19].

### c. Analyse Thermique:

Les analyses thermiques permettent d'exprimer l'évolution d'une propriété du matériau analysé en fonction de la température à laquelle il est soumis [20].

Cette méthode peut la rendre intéressante et dans certains cas complémentaire d'autres techniques de détermination de la composition minérale des sols. Elle peut être classée en deux groupes:

1. **L'analyse thermique différentielle (ATD)** qui donne des renseignements qualitatifs et parfois quantitatifs, avec des appareils appropriés.

2. **L'analyse thermogravimétrie (ATG) et l'analyse pondérale (ATP)** des gaz qui fournissent des Données quantitatives. Le principe de ces méthodes consiste à effectuer la mesure de la différence de la température  $\Delta T$  qui se produit entre la substance à étudier et un matériau inerte servant de témoin.

**d Analyse chimique :**

- **Spectrométrie d'émission atomique (SEA):[21]**

Après séchage et broyage, l'échantillon est tamisé pour retirer tout "corps" étranger et ne retenir que la fraction fine. 0.1gr de cette poudre est fondue à 1000°C avec du méta borate de lithium (flux). Ensuite, ce mélange est dissous dans du HNO<sub>3</sub> dilué. L'échantillon est alors volatilisé dans un arc électrique à une température de 6000°C. Cette énergie thermique excite les électrons des atomes qui, revenus à leur état originel, libèrent l'excès d'énergie accumulé lors de l'"excitation". Elle est émise avec une longueur d'onde propre à chaque élément et est dispersée par un système de fentes. L'intensité de chaque longueur d'onde est donc mesurée et comparée à des solutions standard ; les éléments sont alors identifiés et quantifiés.

- **Spectrométrie d'absorption atomique (SAA):**

Dans cette technique, les éléments sont identifiés par leur capacité d'absorber de l'énergie lumineuse plutôt que d'en émettre. La préparation de l'échantillon est la même que celle employée pour la SEA. Après préparation, l'échantillon est volatilisé dans une flamme d'air acétylène de +/- 1000°C. Chaque élément atomisé absorbe des longueurs d'onde de lumière émise de chaque élément à analyser par une lampe à cathode creuse (en effet, une lampe de l'élément X émet un intervalle restreint de longueurs d'onde propre à cet élément X). La quantité" de lumière absorbée par l'échantillon est mesurée et comparée à des courbes" standard de concentration connues, pour déterminer la concentration des éléments présents.

Un désavantage de cette méthode est que la quantification ne porte jamais que sur seulélément par analyse.

- **Spectroscopie par fluorescence des rayons X (FRX):**

La fluorescence-X est l'une des méthodes les plus utilisées pour déterminer la composition chimique des éléments. Elle permet de réaliser les analyses des constituants majeurs et de nombreux éléments en traces en un temps très court. La méthode est fiable et reproductible.

Après séchage et broyage, 1.25 gr de l'échantillon est mélangé à 6.25 gr de flux et à 0.030gr de Libre. Le mélange est ensuite fondu et trempé. Des rayons-X primaires sont envoyés sur l'échantillon et excitent les électrons. Leurs transitions s'accompagnent d'émission d'énergie:



## **Chapitre I : généralité sur les matériaux granulaires. Sable de dune et des argiles et les mélanges optimaux**

---

rayons-X secondaires ou rayons-X fluorescents. Chaque élément produit des rayons-X d'une longueur d'onde particulière, et l'intensité des rayons-X secondaires est proportionnelle à la concentration de l'élément. Les rayons-X secondaires sont dispersés et détectés par un cristal analyseur positionné selon un angle déterminé par l'équation de Bragg pour capter les rayons - X secondaires à analyser. Notons par ailleurs que seule une mince épaisseur de l'échantillon est analysée (20-200 $\mu$ m).

- **Analyse par activation neutronique**

Après séchage et broyage, l'échantillon est pressé dans une pastille et placé dans un réacteur nucléaire muni de fonctions de recherche avec des standards de calibration. Sous des conditions bien strictes, les l'atome sont bombardés par des neutrons. Les éléments de l'échantillon deviennent des isotopes instables et radioactifs ce qui anéantit les conditions de stabilité. Des radiations sont émises avec un rapport et une intensité typique pour chaque élément, et caractérisées par leur demi-vie. Par la détermination des niveaux d'énergie des rayonnements gamma émis, les éléments sont détectés individuellement. Via le calcul des intensités des rayonnements, c'est-à-dire du nombre de photons, on peut déterminer la concentration de chaque élément.

**4. Conclusion :**

Ce chapitre a permis de nous a permis de des caractéristiques des sable de dune et leur utilisations dans le domaine génie civil et en plus la texture microscopique et macroscopique des argiles ainsi que leur composition minéralogique.

Les argiles et les sables sont universellement répandus dans la nature, particulièrement dans la région de la Ghardaïa (Algérie). Ils rentrent dans de nombreux domaines de l'activité humaine, notamment en géotechnique. C'est donc tout naturellement, qu'un effort de recherche important et continu a été déployé dans le monde pour résoudre plusieurs problèmes dans génie civil (d'instabilité, béton, chaussier comme tuf, ).

## **Chapitres II : Le phénomène de retrait-gonflement**

### 1. Introduction

En général, le retrait/gonflement des sols se caractérise par des mouvements de terrains différentiels de petite amplitude, provoqués par des variations de volume de certains sols argileux lorsque leur teneur en eau se modifie. Cet aléa ne concerne que certains sols argileux particulièrement en présence de minéraux gonflants.

Les limons sableux présentent également des cycles de retrait et de gonflement suivant les fluctuations de leur teneur en eau, mais d'une amplitude bien plus petite. Ce phénomène est à l'origine des dégâts importants. En climat tempéré, les argiles sont souvent proches de leur état de saturation, si bien que leur potentiel de gonflement est relativement limité, elles sont donc éloignées de leur limite de retrait, ce qui explique que les mouvements les plus importants sont observés en période sèche [22].

### 2. MECANISME DE GONFLEMENT :

Ce gonflement se produit progressivement en fonction de l'évolution de la saturation dans la structure argileuse, grâce au gonflement se produit du fait des feuilles après gonflement entre les particules, L'eau pénètre dans la structure argileuse grâce à la création d'un réseau de cavités dans le sol [23].

Certains argiles dont les liaisons inter feuillets sont très faibles, ont la propriété de fixer des molécules d'eau entre deux feuillets voisines, comme en généralement dans le cas des smectites. On remarque que l'eau pénètre à l'intérieur des particules et s'organise en couches mono moléculaires qui provoquent le gonflement [24].

#### 2.1. Le gonflement par hydratation de surface :

Ce phénomène s'opère lors de la pénétration des premières couches d'eau dans les espaces interfeuillets et interarticulaires, il se produit une adsorption des molécules d'eau contre les surfaces d'argiles Cette adsorption est assurée par des liaisons hydrogénées forces de Van Der Waals, et d'attraction électrostatique entre les particules d'argiles et les molécules d'eau.

Van Olphen (1963) a mis en évidence l'existence de force de répulsion dans le milieu liquide séparant les particules dues à l'existence de pression hydrostatiques élevées.

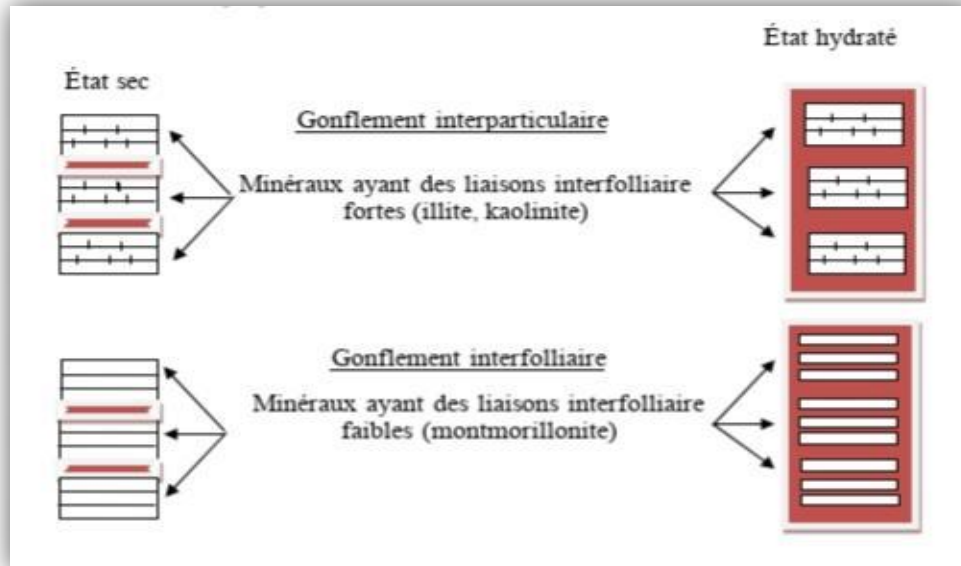
L'ensemble de ces forces de répulsion induisent un écartement des feuillets, donc une augmentation de volume [25].

#### 2.2. Le gonflement par hydratation osmotique:

Il se compose de deux types de gonflement, un gonflement inter foliaire et un gonflement inter particulaire

**Le gonflement inter-foliaire:** Résulte de la cassure des faibles liaisons entre les feuillets des particules d'argile, et permettant ainsi l'acquisition d'eau au sein de la structure des particules, quoique ce gonflement est assez rapide, dont l'amplitude est en revanche très notable

**Le gonflement inter-particulaire :** Résulte de l'apport d'eau supplémentaire en écartant les plaquettes (assemblage de feuillets) les unes des autres. Sa réaction est lente (peut durer des années, même lorsque la succion devient nulle). Contrairement au gonflement inter foliaire, le gonflement interarticulaire a une ampleur assez limitée et affecte toutes les argiles.



**Figure N° 07: Mécanismes de gonflement des argiles par hydratation. D'après Popes Cu (1986) [26]**

### 2.3. Gonflement mécanique et physicochimique:

Ont noté que l'existence simultanée de ces deux mécanismes qui interagissent l'un sur l'autre rend l'étude de la cinétique du phénomène de gonflement très complexe. Au vu de ces considérations, l'examen des différentes approches initiées plus haut indique l'existence de deux types de gonflement, le gonflement mécanique et le gonflement physicochimique, bien que ces deux gonflements agissent simultanément, le gonflement mécanique (cristallin, structural, macroscopique, inter foliaire) semble être dominant dans le premier stade tandis que le gonflement physico-chimique (osmotique, inter particule, microscopique, normal) l'est dans le deuxième stade.

Arbitrairement, le gonflement est divisé en un gonflement primaire et un gonflement secondaire (Holtz et Gibbs, 1956 ; Chen, 1988). La courbe de la (figure 07), représente la variation relative de la hauteur en fonction du logarithme du temps, dans laquelle on distingue les deux phases de gonflement :

- ✓ Gonflement primaire : Qui prend place très tôt, sa fin est caractérisée par un point d'inflexion permettant le changement de l'allure de la courbe.

✓ Gonflement secondaire : Qui est caractérisé par la portion linéaire de la courbe ( $\Delta h / h_0 \text{ Log } (t)$ ).

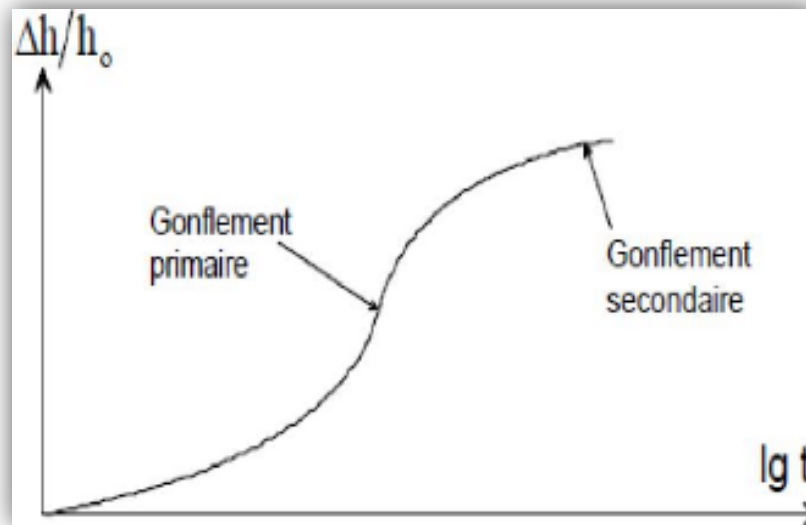


Figure N° 08: Courbe du gonflement en fonction du temps (Selon Chen, 1988) [27]

### 3. FACTEURS AFFECTANT LE GONFLEMENT :

Ces dernières années, les propriétés de gonflement des sols argileux ont été intensivement étudiées, les résultats de ces études ont montré que la capacité de gonflement dépend de deux facteurs:

- Facteurs intrinsèques.
- Facteurs externes.

#### 3.1. Facteurs Intrinsèques:

##### 3.1.1. Composition et nature minéralogique

Un des facteurs importants pour estimer le gonflement du sol. Plus les propriétés de gonflement du matériau sont élevées en pourcentage plus ( $< 2\mu\text{m}$ ). Suratman (1985) a étudié le gonflement libre de trois types d'argile : la kaolinite, l'illite et la montmorillonite. Il constate des différences dans le taux et la cinétique du gonflement entre les trois argiles utilisées avec une supériorité remarquable pour la montmorillonite [28].

##### 3.1.2. Capacité d'échange en cation CEC :

C'est la capacité de l'argile à interagir avec les espèces chimiques présentes dans une solution aqueuse. Ces espèces chimiques, qui peuvent être aussi bien ioniques que moléculaires, vont pouvoir s'adsorber ou s'absorber sur la surface externe des particules d'argile ou sur les surfaces internes. Elle est mesurée en nombre de charges fixées sur la surface de l'argile et plus précisément, en nombre de moles de charges ioniques pour 100 g d'argile séchée

## Chapitres II : Le phénomène de retrait-gonflement

(milliéquivalent/100 g). 11 Cette propriété est très dépendante de la nature des substitutions isomorphes dans les couches tétraédriques et octaédriques de l'argile. Chaque type d'argiles présente ainsi sa CEC spécifique allant d'environ 0.9-1.2 mequiv/100g.<sup>33</sup> La charge de la couche n'étant pas constante et variant d'une couche à une autre, La CEC est considérée comme une valeur moyenne.

Il est à noter que lorsque plusieurs espèces cationiques sont présentes dans une solution, un processus de sélection va s'opérer entre les différentes espèces : plus un cation est présent en forte concentration dans la solution, plus il sera présent à la surface de l'argile. A titre d'exemple, Na-montmorillonite, composée de deux couches tétraédriques de silice externes et une couche centrale octaédrique possédant une charge de 0, 67 par maille unitaire de formule  $[Al_3, 3Mg_0, 67] -0, 67Si_8O_{20}(OH)_4$  et d'un espace inter foliaire aqueux contenant 0, 67 Na<sup>+</sup> par maille élémentaire ( $n \times H_2O$ ) Na<sub>0, 67</sub>, est obtenue en plaçant de la montmorillonite naturelle dans une solution aqueuse de chlorure de sodium [29].

### 3.1.3. Surface spécifique :

Les argiles sont largement utilisées comme des adsorbants à cause de leur grande surface spécifique, qui comprend la somme de deux surfaces, l'une externe comprise entre les particules et l'autre interne correspondant à l'espace inter foliaire. Elle est exprimée en m<sup>2</sup> par gramme d'argile, l'augmentation de la surface Minéral La capacité d'échange cationique (meq /100g) Kaolinite 3-15 Montmorillonite 80-150 Illite 10-40 Vermiculite 100-150 Chlorite 10-40 Chapitre I Etude bibliographique 23 spécifique donne un pouvoir de gonflement plus important et par conséquent un potentiel de gonflement plus élevé. La surface spécifique semble être un paramètre très important dans la caractérisation précise de l'argile. En effet, plus le sol est fin plus la surface spécifique est élevé.

**Tableau N° 01: La surface spécifique de quelques minéraux argileux [30].**

Minéral	Surface interne (m <sup>2</sup> /g)	Surface externe (m <sup>2</sup> /g)	Surface totale (m <sup>2</sup> /g)
Kaolinite	0	10-30	10-30
Illite	20-55	80-120	100-175
Smectites	600-700	80	700-800
Vermiculit	700	40-70	760
Chlorite	-	100-175	100-175

### 3.1.4. Structure du sol :

La structure du sol est sa constitution physique exprimée par l'arrangement spatial des particules solides (simples ou complexes) et des vides qui leur-sont associés en général, on distingue trois

types de structure de sol en pédologie la structure particulière (ou à particules isolées), dans laquelle les particules solides sont totalement séparées les unes des autres<sup>4</sup>

- la structure massive, dans laquelle les particules sont liées en blocs massifs et de dimensions importantes.
- la structure en agrégats dans laquelle les particules (argile, limon, sables) du sol sont organisées en agrégats. Ceux-ci sont assemblés de manière plus ou moins serrée et en plusieurs niveaux d'organisation [31].

### 3.2. Facteurs Externes:

Ces facteurs externes sont dépendants les uns des autres, identifiés à l'échelle microscopique. D'autres paramètres indépendants de la structure des argiles, de la composition chimique et de la solution hydratante peuvent avoir une influence importante sur le gonflement, on cite en particulier:

#### 3.2.1. Teneur en eau initiale :

La variation de la teneur en eau est l'un des plus importants facteurs affectant le potentiel de gonflement. Un sol expansif initialement humide, gonfle moins lorsqu'il est en contact avec l'eau, car son affinité à absorber l'eau a diminué. Cette affinité ne peut être expliquée que par la relation directe et étroite entre la teneur en eau et les pressions de succion Gromko, 1974. L'eau absorbée à l'intérieur de la structure du minéral affaiblit les liaisons interfoliaires grâce aux cations absorbés, qui ne peuvent rentrer dans la structure du feuillet, vont se nicher entre ces feuillets, provoquant ainsi une augmentation dans le volume de la particule.

- Edil et Alnazi 1992 ont montré que le gonflement latéral et vertical des échantillons compactés à la même densité sèche augmente lorsque la teneur en eau initiale diminue.
- Par contre A.F. Abouleid 1982; Hachichi et Fleureau 1999 ont établi qu'en fait la teneur en eau exerce un effet négligeable sur la pression de gonflement tant qu'elle est inférieure à la limite de retrait du sol, en revanche, pour des teneurs en eau au de la limite de retrait l'effet devient marqué, la pression de gonflement diminue avec l'augmentation de la teneur en eau initiale [32].

#### 3.2.2. La densité sèche du sol argileux:

De nombreuses études ont montré que la densité sèche initiale influence de façon importante la pression de gonflement. Les résultats relatifs à l'influence de la densité sur la pression de gonflement indiquent que la valeur de celle-ci augmente lorsque la densité sèche augmente [33].

#### 3.2.3. Température :

La température intervient pour accélérer les échanges d'ions et ainsi augmenter les capacités d'échange mureux (1989). Mehmit et Ishbashi (1982), ont trouvé que la température affecte le



taux de gonflement et les expériences monees ont montré une réduction de 17 à 20Guand la température diminue de 66c° jusgu'a 24c° [34].

### **4. METHODES DIRECTES DE MESURE DU GONFLEMENT:**

#### **4.1. Méthode de gonflement libre:**

Les procédures de l'essai de gonflement libre ont été résumées dans la méthode A de la norme ASTM D4546 (1996, 2003). L'essai suggère d'humidifier l'échantillon de sol et de le laisser gonfler librement dans le sens vertical sous une charge symbolique d'au moins 1 kPa (poids de piston). Après l'échantillon de sol s'arrête de gonfler, le potentiel (taux) de gonflement peut être mesuré. La contrainte verticale est ensuite appliquée par incréments pour consolider progressivement l'échantillon de sol. La contrainte requise pour consolider l'échantillon de sol à son volume initial (ou indice de vide) est définie comme une pression de gonflement [35].

#### **4.2. Méthode sous charge constante:**

Quatre éprouvettes au moins sont soumises à quatre pressions verticales différentes. Ces quatre éprouvettes sont ensuite humidifiées et le potentiel de gonflement final est déterminé dans chaque cas. La courbe  $\Delta h/h$  en fonction de la pression appliquée lors de l'humidification est tracée. Une interpolation linéaire est réalisée entre les quatre points pour estimer la pression pour laquelle le gonflement est nul. Cette pression correspond à la pression de gonflement (figure I.44). Le potentiel de gonflement dans cette méthode est variable, il correspond à la variation de hauteur sous une pression donnée. Deux variantes de cette procédure existent, différant par le mode d'application de la charge verticale. La charge est appliquée, puis l'humidification suit 5 mn après. La procédure AFNOR nécessite la stabilisation des déformations avant le début de l'humidification [36].

#### **4.3. Méthode de gonflement à volume constant:**

Le principe est de saturer une éprouvette tout en maintenant son volume constant. La pression nécessaire pour maintenir le volume constant à la saturation complète est la pression de gonflement. Suivant la norme ASTM (méthode C), l'éprouvette est soumise avant humidification à une pression verticale voisine des conditions in situ, et ensuite saturée. Les déformations verticales sont empêchées en augmentant progressivement la charge appliquée avant l'effondrement. La pression de gonflement est alors la pression maximale appliquée. Il existe des cellules spécialement conçues pour effectuer des essais à volume constant. Elles sont équipées d'un capteur de pression permettant de déterminer l'évolution de la pression exercée par le sol au cours de l'humidification. Selon les comparaisons réalisées par Gilchirst (1963), Brackley (1975), Sridrahan et al. (1986), Abdjauwad & Al-Sulaimani (1993) et Guiras-Skandaji (1996), la méthode de gonflement libre donne des valeurs de la pression de gonflement plus élevées, pouvant aller jusqu'au double de celles des autres méthodes. La méthode de gonflement libre

sous charges constantes aboutit aux valeurs plus faibles et la méthode à volume constant donne des valeurs moyennes qui se situent entre les deux. En comparant les déformations de gonflement mesurées in situ et celles déterminées avec les différentes procédures expérimentales, il semblerait que les valeurs de la pression de gonflement estimées à volume constant soient les plus proches de celles effectivement constatées sur le terrain [37].

#### 4.4. Essais de gonflement au laboratoire:

Plusieurs méthodes sont utilisées pour évaluer le phénomène de gonflement, dont le gonflement en laboratoire. Sol correspond à la teneur en eau à partir de laquelle un sol commence à se désaturer. Son estimation est basée sur la courbe de retrait qui exprime la diminution de volume en fonction de la diminution de la teneur en eau. C'est une limite conventionnelle qui sépare le comportement du sol en deux domaines:

un domaine avec variation importante de volume d'un domaine avec variation de volume quasiment nulle. Selon la norme AFNOR, il existe deux types d'essais de limite de retrait: la limite de retrait conventionnelle sur le passant à 400 µm d'un matériau et la limite de retrait effective sur un sol non remanié.

✓ Dans le premier cas :

L'essai consiste à déterminer la perte de volume d'une éprouvette de sol remanié entre l'état initial liquide (teneur en eau supérieure à la limite de liquidité) et (l'état sec).

✓ Dans le deuxième cas:

L'essai consiste à laisser se dessécher librement et progressivement une éprouvette de sol posée sur un plateau de la balance et à mesurer périodiquement sa variation de hauteur et sa masse et on détermine ainsi les variations dimensionnelles du sol entre l'état naturel initial et un état de dessiccation donné.

Il faut noter que la taille de l'échantillon a une influence sur la pente de la courbe de retrait. Plus on considère un petit échantillon de sol argileux, plus la courbe de retrait obtenue a une pente forte. Ceci peut s'expliquer par le fait que, plus le volume de sol considéré est important, plus la probabilité qu'il présente de la macroporosité est forte. Il faut donc lui apporter de grandes quantités d'eau pendant son humidification avant qu'il n'atteigne sa droite de saturation. Au contraire, quand on considère un petit échantillon, les pores qui sont présents se trouvent essentiellement dans la matrice argileuse du sol. Cette dernière est saturée en permanente et la microporosité n'est que très difficilement drainée. De ce fait le comportement est proche de la droite de saturation [38].

### 4.5. Essais de gonflement libre à l'œdomètre:

L'essai consiste en la détermination du potentiel de gonflement  $e_s$  et la pression de neutralisation du gonflement  $g$ . La détermination des deux paramètres se fait de la manière suivante :

- ✓ Au moyen des lectures relevées sur le comparateur, on évalue le potentiel de gonflement qui est le rapport du gonflement uni axial à la hauteur initiale de l'éprouvette.
- ✓ La pression de gonflement est correspond à la contrainte finale qui a permis de neutraliser le gonflement après application successive de charge.

Les différents essais d'identification et essais mécaniques sont effectués conformément à des normes et méthodes expérimentales. Le respect de ces normes et prescriptions techniques nécessite un minimum de rigueur, d'éthique et d'esprit scientifique afin d'éviter des résultats incohérents. En effet, une réalisation de ces essais charrie à une étude du gonflement et du tassement [39].

## 5. CAUSES ET CONSEQUENCES DU GONFLEMENT :

### 5.1. Causes du gonflement:

Le caractère gonflant de certaines argiles est lié en premier lieu à leur composition minéralogique. D'autres facteurs tels que la structure du sol, sa densité, sa teneur en eau initiale peuvent affecter de manière significative la pression de gonflement ou la déformation de ces argiles. Pour que le gonflement d'un sol se produise, il faut que des « minéraux expansifs » puissent entrer en contact avec de l'eau. En effet toutes les observations ayant portées sur les conséquences présumées du gonflement d'un sol, qu'il s'agisse de la construction de tunnels, d'habitats ou de voiries, ont abouti à la formation de cette équation de base :

- L'ouvrage est construit dans une région à saison constatées (saison sèche- saison humide, en région tropicale par exemple). Des canalisations sont rompues ce qui fait que l'eau s'infiltré dans les terrains gonflant.
- Minéraux expansifs + eau = gonflement » on cite ci-après quelques causes provoquant le gonflement des terrains
- La construction d'un ouvrage proche perturbe l'écoulement des eaux souterraines.
- Des travaux de drainage contribuent au retrait des sols gonflants.
- Des mesures d'imperméabilisation ne sont pas prises, ce qui contribue à rendre les terrains sensibles aux variations saisonnières (alternance saison sèche- saison humide).

L'évacuation ou l'évaporation de l'eau contenue dans les sols gonflants est brusquement empêchée alors que les apports d'eau à ses sols ne sont pas limités, ce qui a pour effet

d'augmenter leur teneur en eau (ex : la construction d'un bâtiment supprime l'évacuation de l'eau contenue dans un sol de fondation) [40].

### 6. CONSEQUENCES DU GONFLEMENT :

#### 6.1.Cas des bâtiments :

Le sol situé sous un bâtiment est protégé de l'évaporation pendant l'été néanmoins il se maintient dans un équilibre hydrique qui varie peu au cours de l'année. De fortes différences de teneur en eau vont donc apparaître dans le sol au droit des façades, au niveau de la zone de transition entre le sol exposé à l'évaporation et celui qui en est protégé. Ceci se manifeste par des mouvements différentiels, concentrés à proximité des murs porteurs et particulièrement aux angles de la maison. Ces tassements différentiels sont évidemment amplifiés en cas d'hétérogénéité du sol ou lorsque les fondations présentent des différences d'ancrage d'un point à un autre de la maison. Ces effets se traduisent par des fissurations en façade, image1, souvent obliques et passant par les points de faiblesse que constituent les ouvertures. Les désordres se manifestent aussi par des décollements entre éléments jointifs (garages, perrons terrasses), ainsi que par une distorsion des portes et fenêtres, une dislocation des dallages et des cloisons et, parfois, la rupture de canalisations enterrées (ce qui vient aggraver les désordres car les fuites d'eau qui en résultent provoquent des gonflements localisés). Les maisons individuelles sont les principales victimes de ce phénomène et ceci pour au moins deux raisons :

- La structure de ces bâtiments, légers et peu rigides, mais surtout fondés de manière relativement superficielle par rapport à des immeubles collectifs, les rend très vulnérables à des mouvements du sol d'assise.

- La plupart de ces constructions sont réalisées sans études géotechniques préalables qui permettraient notamment d'identifier la présence éventuelle d'argile gonflante et de concevoir le bâtiment en prenant en compte le risque associé.



**Figure N° 09: Désordres dus au phénomène [41]**

### 6.2. Cas des Chaussées :

Le gonflement peut provoquer des désordres importants à la structure de la chaussée. Le désordre subis par la chaussée se résume généralement à des fissures qui apparaissent à la fin de la saison sèche sur ses accotements. En saison de pluie ces fissures permettent à l'eau de s'infiltrer plus facilement entraînant la saturation de ces zones et par conséquent leur gonflement, engendrant ainsi l'apparition de déformation à la surface de la chaussée, puis l'apparition de fissures longitudinales qui peuvent être assimilées à la chute de la portance dans les zones latérales de la chaussée entraînant l'affaissement des bords. Ces phénomènes sont accélérés par le flux routier. Ces désordres s'amplifient avec le début de la saison sèche [42].



**Figure N° 10: Fissuration de la chaussée. [43]**

### 7. CONCLUSION:

Cette partie est consacrée à l'explication du phénomène de gonflement du sol, Nous avons évoqué un grand nombre de méthodes, et ces méthodes ont été développées pour estimer directement la possibilité de gonflement du sol. Il existe des tests œnométriques qui permettent d'évaluer les informations de gonflement.

**Chapitre III : Les Techniques de la Stabilisation  
de Sols des Sols**

### 1. Introduction :

D'après les conséquences des sols expansifs, Plusieurs chercheurs ont étudié la stabilisation des sols expansifs. Le gonflement des sols argileux est un phénomène très complexe qui fait intervenir un grand nombre de paramètres intrinsèques et environnants. Cette complexité est due principalement à la structure minéralogique de l'argile. Des stabilisations physico-chimiques sont employées surtout pour des sols contenant une certaine quantité d'argile. Ils ont pour effet de réagir avec la fraction argileuse et de modifier leur environnement chimique et sa structure minéralogique. [44]

### 2. But de la stabilisation

- Réduire le volume des vides entre les particules solides (augmenter la compacité);
- Colmater les vides que l'on peut supprimer;
- Créer des liens et améliorer les liaisons existantes entre particules (résistance mécanique).

Ces trois objectifs permettent d'améliorer la résistance mécanique, et de diminuer la sensibilité à l'eau. [45]

### 3. Différentes Techniques de Stabilisation des Sols Fins :

Le géotechnicien s'intéresse aux sols dans la mesure où ceux-ci constituent l'élément principal du contexte dans lequel la stabilité d'un ouvrage sera conçue. Il doit envisager d'améliorer les caractéristiques mécaniques des sols d'assise pour augmenter leur capacité portante. Un grand nombre de procédés existent et diffèrent selon la nature du sol et le type de projet à exécuter. Parmi les techniques de stabilisation les plus couramment utilisées, on distingue :

#### 3.1. Stabilisation Mécanique :

##### 3.1.1. Le compactage :

Le compactage est une étape importante de la stabilisation. Un simple compactage permet de réduire la porosité du sol en expulsant l'air emprisonné. Les caractéristiques optimales de compactage du sol sont déterminées par l'essai Proctor normal.

Les caractéristiques mesurées, c'est-à-dire la teneur optimale en eau (WOPN) permettant l'obtention la densité sèche du sol la plus élevée ( $\gamma_d$  OPN) sont utilisées lors des études de la stabilisation et aussi lors du chantier. La granulométrie, la morphologie des particules du sol et la teneur en argile, ont une influence sur le comportement du sol lors du compactage. En raison de leur petite taille (quelques microns) les particules d'argiles permettent d'augmenter la densité sèche du sol en comblant sa porosité. [46]





Figure N° 11: Les types de compactage[47]

### 3.2. Méthode de pré humidification :

Elle consiste à augmenter la teneur en eau du sol jusqu'à saturation, nous aurons donc le maximum de gonflement, Chen (1988) [48] cette méthode est basée sur les hypothèses suivantes:

- le sol permet un gonflement par humidification précédant la construction.
- Le mouvement de gonflement soit stabilisé lors de la construction réalisant ainsi un état de non soulèvement. Il faut donc compter sur
- la permanence de la teneur en eau artificiellement créée.

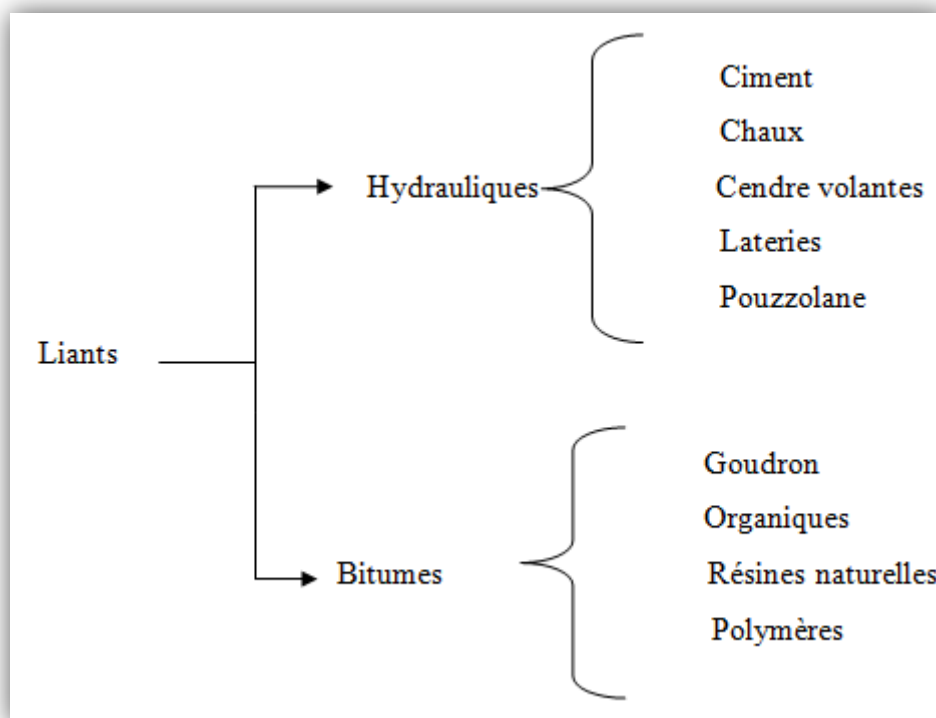
### 3.3. Stabilisation Chimique avec des Additifs :

La stabilisation chimique est une technique intéressante pour améliorer les propriétés physiques et mécaniques des sols argileux. Les différentes propriétés qui peuvent être améliorées sont la résistance, la plasticité, la compressibilité, la perméabilité, le potentiel de gonflement et le potentiel d'effondrement. L'utilisation des additifs seuls ou combinés est actuellement très largement employée dans la plupart des pays du monde. Ces derniers sont classés en trois grandes familles (BEKKOUCHE et al, 2001) : **A**. Les hydrophobes. **B**. Les liants. **C**. Les matériaux inertes.

**A. Hydrophobants :** Les hydrophobants sont des produits dérivés amines des composés cationiques. Les caractéristiques des hydrophobes permettent les variations de la teneur en eau en rendant le sol insensible à l'eau quelles que soient les conditions extérieures. L'absorption d'un produit hydrophobe se traduit par deux effets :

- Diminution momentanée ou définitive de l'affinité du sol pour l'eau : Ce qui a pour conséquence d'accroître la résistance mécanique du sol et la réduction du gonflement.
- Diminution de la structure microscopique du sol.

**B. Liants :** Les liants se divisent en deux grandes familles qui sont les liants hydrauliques et les liants organiques. Le schéma suivant donne les principaux liants existants dans l'industrie :



**Figure N° 12: Classification des liants [49].**

**1) Liants Organiques :** Ce sont des produits de type colle, c'est à dire des composés organiques susceptibles d'une bonne adhésion au squelette. On distingue deux sortes :

- Les mono-composants (un seul constituant) ont un caractère thermoplastique, ce sont par exemple les bitumes de pétrole, les goudrons et les brais de houille.
- Les bi-composants (deux constituants) sont à mélanger au moment de la mise en œuvre.
- Le résultat est intermédiaire entre le collage thermique des mono-polymères, des résines ou des dopes. L'action de ces produits donne au sol des propriétés hydrophobes qui dépendent de l'enrobage des particules du sol par le liant.

L'inconvénient majeur de ces liants organiques est leur biodégradabilité sous des climats tropicaux.

**2) Liants Hydrauliques :** Ce sont des produits d'origine minérale qui par réaction avec l'eau donnent des réseaux cristallins enchevêtrés ayant une bonne cohésion et pouvant aboutir à des

jonctions avec le squelette minéral. Ils sont tous à base de chaux qui réagit avec l'argile par : Echange cationique, Flocculation et agglomération, Carbonations et la Réaction pouzzolanique. Ces réactions se traduisent par :

- Une amélioration immédiate des propriétés mécaniques du sol et une diminution de la sensibilité à l'eau par flocculation et échange cationique.

Une réaction lente produisant les matériaux cimentant. C'est la réaction pouzzolanique. [47]

#### 3.4. Stabilisation par ajout du sable :

Plusieurs auteurs ont étudié l'influence de l'ajout de sable sur le gonflement. Nous citerons certaines d'entre elles :

SATYANARAYANA, 1969, cité par ALLAM, 2011 a étudié le comportement de l'argile de black Cotton au sud de l'Inde sous forme de mélange avec le sable, et sous forme de couches. Il a constaté que la pression du gonflement est réduite par le simple ajout de faibles pourcentages de sable. Plus le pourcentage de sable augmente, plus la réduction de la pression diminue (différence marquée à partir 50% de sable). L'insertion de couches de sables (différentes positions avec l'argile), réduit la pression du gonflement en proportion appréciable due principalement à la capacité du sable à absorber le gonflement de l'argile. Cette capacité du sable dépend de la facilité de la couche de sable avec laquelle elle se déforme par compression ou, par mouvement latéral.

KOMORNIK et IIVNEH, 1969, cité par ALLAM, 2011 ont étudié l'influence de la granularité des constituants sur les caractéristiques des argiles gonflantes. Pour cela, ils ont utilisé des mélanges argile - sable et argile- marbre à différents pourcentages. Il a été constaté que la diminution du taux du gonflement des différents mélanges est du à la faible densité de l'argile et à l'augmentation du matériau inerte dans les mélanges. Ainsi, ils ont constaté qu'il y a une influence du taux de l'humidité de l'argile sur la valeur de la pression du gonflement.

MORAUX, 1969 a montré dans sa thèse que, si la couche gonflante est d'une grande épaisseur, de manière à ne pas pouvoir l'excaver complètement alors, il faut excaver jusqu'à une certaine profondeur puis, remblayer pour rétablir les conditions de pression initiale. Pour cela, souvent c'est le sable qui est utilisé. Le bas du remblai est faiblement compacté et ce pour deux raisons :

- Le haut du sol gonflant serait très compact, et par conséquent son potentiel de gonflement est élevé.
- Le bas du remblai peut alors «encaisser » un gonflement éventuel.

SEED et al, 1969, cité par ALLAM, 2011 ont retenu trois paramètres significatifs de l'aptitude au gonflement d'un sol : Le pourcentage d'éléments argileux inférieur à  $2\mu$  et leur nature minéralogique, l'indice de plasticité et l'indice de retrait.

Les auteurs ont mesuré le potentiel de gonflement de sols artificiels préparés en Mélangeant des minéraux argileux avec diverses quantités de sables. Ce mélange permet de diminuer le pourcentage.

Une partie de l'étude d'El SAYED et d'EL SOHBY, 1981, cité par ALLAM, 2011 a porté sur le traitement d'un sol argileux gonflant par l'ajout de sable et de limon à différentes concentrations [45]

### **3.5. Stabilisation aux cendres volantes :**

Les cendres volantes sont un sous-produit des centrales thermiques qui brûlent le charbon en poudre. Elles sont considérées comme une pouzzolane artificielle et s'emploient comme telle, avec du ciment pour faire du béton ou dans le sol-ciment.

Les cendres volantes ont été employées aussi avec de la chaux dans la stabilisation des sols. [49]. Zalihe Nalbantoglu, (2004) ; a étudié la stabilisation des argiles gonflantes par les cendres volantes. Les résultats d'essai en laboratoire sur ces sols indiquent que ces cendres volantes sont efficaces à l'amélioration de la texture et la plasticité des sols traités. Elles permettent de réduire l'indice de plasticité et le potentiel de gonflement [50].

### **3.6 .Stabilisation des sols à la chaux**

#### **3.6.1. La chaux :**

Le terme « chaux » désigne les produits issus de la calcination du calcaire. Ou autrement dit, il désigne toutes les formes physiques et chimiques dans lesquelles peuvent apparaître l'oxyde de calcium et de magnésium ( $\text{CaO}$  et  $\text{MgO}$ ) et/ou l'hydroxyde de calcium et/ou de magnésium  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  et  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ . [51]

Le calcaire est extraits des carrières ou d'autres gisements (calcaire maritime), ces blocs sont concassés, puis criblés de façon à acquérir un calibre de pierres compatible avec le type de four utilisé. La cuisson du calcaire est appelée calcination, elle permet d'obtenir la chaux [52]

#### **3.6.1.1 Modification des propriétés du sol [53] :**

Les observations sur les sols traités ont permit de noter les modifications suivantes dans leurs caractéristiques :

**A.** Modification de la teneur en eau l'hydratation de la chaux vive est une réaction immédiate et fortement exothermique, ce qui a pour effet d'élever la température du mélange. Une partie de cette chaleur va contribuer à l'évaporation d'une quantité d'eau du sol un autre phénomène intervient simultanément c'est l'aération du sol lors du malaxage. L'expérience a montré que pour 1% de chaux la teneur en eau du mélange diminue de 0,6 à 0,8% (Annales LCPC, 1972).

**B.** Modification des propriétés géotechniques elle se fait en deux étapes, l'une immédiate et l'autre lente, elle dépend de l'importance de la fraction argileuse contenue dans le sol et de sa nature.

**b.1.** Modifications immédiates Additivement à l'échange de cations  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  par  $\text{Ca}^{++}$ , et la floculation des particules argileuses provoquée par les forces électriques mises en jeu par l'échange les caractéristiques suivantes :

- La limite de plasticité,
- L'indice de plasticité,
- Le CBR,
- L'allure de la courbe Proctor,
- Les caractéristiques optimales,

Se trouvent modifiées par l'ajout de chaux. Ces modifications sont obtenues par des dosages faibles en chaux, elles se traduisent par la formation de grumeaux non collants dans la masse du sol.

**b.2.** modifications à long termel'argile et la chaux vont agir l'une sur l'autre en donnant naissance à de nouvelles espèces minérales qui constituent des ciments de qualités diverses, liant entre elles les particules inertes du sol. Ces ciments sont responsables de l'augmentation de la résistance mécanique du sol (Holtz, 1969).

### **3.6.1.2.Mécanismes de stabilisation à la chaux [54] :**

Les théories de stabilisation à la chaux suggèrent cinq mécanismes de base:

**A .** Absorption d'eau : En présence d'eau, dans une terre humide, la chaux vive subit une réaction d'hydratation qui s'accompagne d'un important dégagement de chaleur :

environ 300kcal/kg de chaux vive.

**B.** Echange cationique : Lorsque l'on ajoute de la chaux à une terre humidifiée, celle-ci est saturée d'ions de calcium. Apparaît alors un phénomène d'échange de cations : les ions de calcium se substituent aux actions échangeables du complexe de la terre tels que magnésium, sodium, potassium et hydrogène. L'importance de cet échange cationique dépend de la quantité de cations échangeables présents dans la capacité totale d'échange cationique de la terre.

**C .** Floculation et agglomération : Du fait de l'échange de cations et l'augmentation de la quantité d'électrolytes dans l'eau interstitielle, les particules de la terre flocculent et s'agglomèrent ; il y a augmentation de la taille des agrégats de la fraction fine. La texture et la structure changent.

**D .** Carbonatation : La chaux ajoutée à la terre réagit avec le dioxyde de carbone de l'air pour former des ciments carbonatés médiocres. Cette réaction consomme une partie de la chaux disponible pour les réactions pouzzolaniques.

**E.** Réaction pouzzolanique : c'est de loin le mécanisme le plus important qui influence principalement la stabilisation à la chaux les propriétés de résistance du matériau résultent pour l'essentiel d'une dissolution des minéraux argileux dans un environnement alcalin produit par la chaux et de la recombinaison de la silice et de l'alumine des argiles avec le calcium pour former des silicates complexes d'aluminium et de calcium qui cimentent les grains entre eux. La chaux doit être ajoutée à la terre en quantité suffisante afin de produire et de maintenir un pH élevé nécessaire à la dissolution des minéraux argileux, et pour une période suffisante qui permettra une réaction de stabilisation effective.compacter.

La quantité de chaux recommandée pour cela est comprise entre 1 et 3%, tout dépend du type et du pourcentage des minéraux présents. Andrews et O'flaherly (1968) ont montré que la diminution de la densité sèche ne dépend pas seulement du dosage en chaux mais aussi du taux de minéraux argileux présents dans le sol.

#### **3.7.Stabilisation mixte chaux-ciment :**

L'ajout du ciment Portland conjointement avec la chaux aide à augmenter les propriétés mécaniques du sol traité. Généralement, le sol est traité dans un premier temps avec la chaux et en préparation à l'ajout du ciment. Cette première étape permet d'assécher le sol par absorption et évaporation de l'eau et nécessite seulement une faible application de chaux de l'ordre de 1 %. Ce processus de modification réduit considérablement l'indice de plasticité rendant le sol friable et donc plus maniable. L'ajout du ciment vient ensuite fournir au mélange les pouzzolanes nécessaires afin que le sol puisse gagner de la résistance mécanique dans le temps.

Les sols possédant un faible pourcentage d'argile, donc moins de silice et d'alumine, ont besoin de cet apport en ciment si les réactions pouzzolaniques (stabilisation) sont désirées.Prusinski et al. (1999) rapportent également que, contrairement à la croyance populaire, le ciment Portland peut stabiliser efficacement des sols ayant un Ip pouvant atteindre [55].

Enfin. Chaddock (1996) rapporte que de plus grandes résistances ont été atteintes après sept jours sur une argile sableuse et une argile silteuse avec un traitement de chauxciment comparativement à un traitement à la chaux seule.Il existe d'autres techniques de stabilisation tel que :

- Stabilisations par solutions salines
- Stabilisation par ajout des cendres volantes
- Drainage
- Applications à forts pressions

### 3.8. Stabilisation par ajout du ciment :

Le ciment est généralement fabriqué en cuisant vers 1450-1550 C° des mélanges de calcaire et d'argile. On obtient alors des nodules durs, appelés clinkers ; c'est en broyant très finement ceux-ci, additionnés d'un peu de gypse, qu'on produit le ciment Portland.

D'autres types peuvent être obtenus en mélangeant ce clinker broyé avec des constituants, broyés également, qui présentent des propriétés hydrauliques ou pouzzolaniques ce sont soit des laitiers de hauts fourneaux granulés, soit des cendres volantes ou encore des pouzzolanes, naturelles ou artificielles. L'utilisation des ciments permet d'obtenir un développement rapide et durable des résistances mécaniques par liaison des grains du sol.

Le traitement au ciment convient plus particulièrement aux sols peu plastiques présentant une faible adaptation à la chaux. Le ciment rigidifie mieux et plus rapidement les sols comparativement à la chaux. De même, sa résistance au gel est meilleure. (Mitchell et Raad (1973) remarquent que le fait d'appliquer les ciments portlands à des argiles très plastiques, sont moins efficaces comparativement à la chaux. En effet, les argiles gonflantes ont une affinité à l'eau tellement grande que le ciment ne peut pas s'hydrater suffisamment au point que les réactions pouzzolaniques s'achèvent complètement. Généralement, le ciment est avantageux d'être utilisé lorsque les sols ne sont pas réactifs à la chaux (Chen, 1988; Nelson et al, 1992).

Le mélange du ciment à l'eau initie un processus chimique d'hydratation qui forme une pâte dure. Quand les particules de ciment subissent l'hydratation, un gel cimentaire fin se forme autour des particules. Puisque le gel cimentaire est poreux et contenant de l'eau de cristallisation, son volume va augmenter plus que celui du ciment avant la réaction. Ainsi, dès que la réaction entre le ciment et l'eau se produit, les vides entre les particules du ciment se remplissent graduellement avec le gel. En même temps, la pâte du ciment augmente de densité et devient plus résistante [56].

### 3.9. La stabilisation par ajouts le géotextiles:

Les géotextiles sont définis comme des produits textiles à base de fibres polymères se présentant sous forme de nappes perméables, souples, résistantes et filtrantes, utilisés dans le domaine de la géotechnique et du génie civil. Ce sont en fait des textiles, au sens commun du terme, utilisés au contact du sol.

Actuellement, les géotextiles sont plus utilisés et mieux connus que les géo membranes (Lambert, 1997), employées notamment pour l'étanchéité des ouvrages. On recense plusieurs dizaines de domaines d'utilisation des géotextiles, de la géotechnique routière aux ouvrages hydrauliques en passant par la stabilisation des sols. Dans tous ces ouvrages les géotextiles remplissent l'une au moins des six fonctions élémentaires : la séparation, la filtration, le

drainage, le renforcement, la protection, la lutte contre l'érosion. Ces fonctions seront précisées par la suite.

Les géotextiles sont classés selon leur structure, c'est-à-dire en fonction du mode de fabrication qui, à partir de fibres de polymères (principalement du polypropylène), a permis d'obtenir un matériau fini.

Ces « familles » portent des noms issus de l'industrie textile. Ainsi, les géotextiles peuvent être des géotextiles tissés produits à partir de fils Mono filaments, de fils multi filaments, ou de bandelettes ; des géotextiles non-tissés qui peuvent être aiguilletés ou thermo liés, ou bien encore tricotés. Il existe aussi des produits apparentés aux géotextiles conçus pour assurer l'une au moins des fonctions élémentaires des géotextiles. Parmi ces produits, citons les géo grilles, géo composites, géo cellules, géo naturels (Constitués de fibres naturelles) notamment utilisés en renforcement, drainage, protection des berges, et lutte anti-érosion. [57].



**Figure N° 13: Le techniques de la stabilisation par géotextiles**

### **3.10. La stabilisation mixte ciment-géotextiles :**

On notre projet nous étudie ila stabilisation de sols par la mixte de (**ciment-géotextiles** ).



#### 4. CONCLUSION

Dans la conception des matériaux de construction à partir de la stabilisation des sols remaniés, le choix du stabilisant et le procédé de stabilisation sont déterminants.

- La stabilisation mécanique convient comme traitement à n'importe quels sols; pour peu que le moyen de densification soit adapté à la nature du sol (compactage statique pour les sols cohérents et par vibration pour les sols pulvérulents).

**Chapitres IV : programme expérimental et  
procédures**

### 1. INTRODUCTION :

Avant d'entamer les essais de gonflement sur les matériaux choisis, il a été procédé à l'identification physico-chimique des deux types d'argile ainsi que la détermination des caractéristiques physiques et chimiques de sable de dune proposé pour l'étude de gonflement.

Les essais physiques et chimiques sur les échantillons d'argiles et sable de dune ont été réalisés au niveau du service d'identification du laboratoire des travaux publics du sud à Ghardaïa(LTPS).

### 2. LOCALISATION DES SITES :

Le site a subi des travaux de terrassement pour une éventuelle reconstitution de sol (dans le cadre des solutions adoptées pour remédier aux problèmes de gonflement des argiles de la région). Cette opération de terrassement nous a permis de faire un prélèvement représentatif des échantillons intacts, les échantillons ont été prélevés à une profondeur entre 1,00 et 1,50m.(voir les photos)



**Photo N°(1): Sable de dune de Sebseb**



**Photo N°(2): Massifs du site Bouhraoua**



**Photo N°(3): Massifs du site Metlili**



**Photo N°(4): Massifs du site Oued Nechou**

**2.1. Sable de dune :**

Le sable utilisé est un sable de dune provient de Sebseb (65 km au Sud -est de la wilaya de Ghardaïa (Voir Photo N°1)



**Photo N°(5): Photo Google Earth de localisation de la carrière étudiée**

### 2.2. Argile Metlili El-Djadida:

Le matériau choisi a été prélevés d'un site située à 20 km au Sud-ouest de la wilaya de Ghardaïa, ce gisement se trouve à 100 m de la RN°1 (Voir Photo 2).



Figure N° 14: Photo Google Earth de localisation de carrière

### 2.3. Argile Bouhraoua :

Le matériau choisi a été prélevés d'une site située à 10 km au Nord-ouest de la wilaya de Ghardaïa, ce gisement se trouve à 100 m de la RN°1 (Voir Photo IV.3)



Figure N° 15: Photo Google Earthde localisation de la carrière étudiée

### 2.4. Argile Oued Nechou :

Le matériau choisi a été prélevés d'un site situé à 20 km au Nord-ouest de la wilaya de Ghardaïa, ce gisement se trouve à 100 m de la RN°1 (Voir Photo 4)



**Photo N°(6):** Photo Google Earth de localisation de la carrière étudiée.

### 3. Essais d'identification :

Selon qu'il s'agit de sable ou d'argile, des essais d'identification appropriés à chaque nature de sol existent, en plus d'une analyse de l'eau car c'est recommandé par plusieurs auteurs tels que [58].

Le tableau suivant montre la nature des essais effectués sur les matériaux étudiés. Le tableau suivant illustre la nature des essais effectués :

**Tableau N° 02: Essais d'identification.**

<b>ARGILE</b>	<b>SABLE</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Analyse chimique</li><li>• Analyse granulométrique.</li><li>• Limites d'Atterberg.</li><li>• Essai au bleu de méthylène.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Analyse chimique</li><li>• Analyse granulométrique.</li><li>• Équivalent de sable</li><li>• Essai de bleus</li></ul>

**3.1. SABLE DE DUNE :**

**3.1.1. ANALYSE CHIMIQUE :**

Les mêmes analyses effectuées sur les argiles, ont été appliquées aux sables, et les résultats sont illustrés dans le tableau suivant : (AZZOUZ F.Z 2015).

**Tableau N° 03: Analyse chimique du sable de dune étudié.**

<b>Caractéristique</b>	<b>Symboles</b>	<b>Unité</b>	<b>Sable de dune</b>
<b>Résidu insoluble</b>	<b>SiO<sub>2</sub>+Silice</b>	<b>%</b>	<b>88.91</b>
<b>Sulfates</b>	<b>SO<sub>3</sub></b>	<b>%</b>	<b>3.09</b>
<b>Chlorures</b>	<b>Cl<sup>-</sup></b>	<b>%</b>	<b>0.023</b>
<b>Carbonate de Calcium</b>	<b>CaCO<sub>3</sub></b>	<b>%</b>	<b>03</b>
<b>Matières organiques</b>	<b>MO</b>	<b>%</b>	<b>-----</b>

La constatation importante a signalée, est la présence d'un fort pourcentage en silice qui est supérieur à 80%, et par conséquent, le sable de dune de Ghardaïa est un sable siliceux.

**3.1.2. ANALYSE GRANULOMETRIQUE :**

Le granulat est constitué d'un ensemble de grains minéraux qui selon sa dimension (comprise entre 0 et 125mm) se situe dans l'une des 7 familles suivantes : lles, sablons, sables, graves, gravillons, ballast, enrochements.

Les granulats sont obtenus en exploitant des gisements de sables et de graviers d'origine alluvionnaire terrestre ou marine, en concassant des roches massives (calcaires ou éruptives) ou encore par le recyclage de produits tels que les matériaux de démolition. Leur nature, leur forme et leurs caractéristiques varient en fonction des gisements et des techniques de production.

Les granulats les plus usuels pour la fabrication des mortiers et des bétons sont élaborés à partir de roches d'origine alluvionnaire (granulats roulés ou semi-concassés) ou à partir de roches massives (granulats concassés). La taille d'un granulat répond à des critères granulométriques précis. Les granulats sont classés en fonction de leur granularité (distribution dimensionnelle des grains) déterminée par analyse granulométrique à l'aide de tamis.[59]





Figure N° 16: série de tamis la tamiseuse [60]

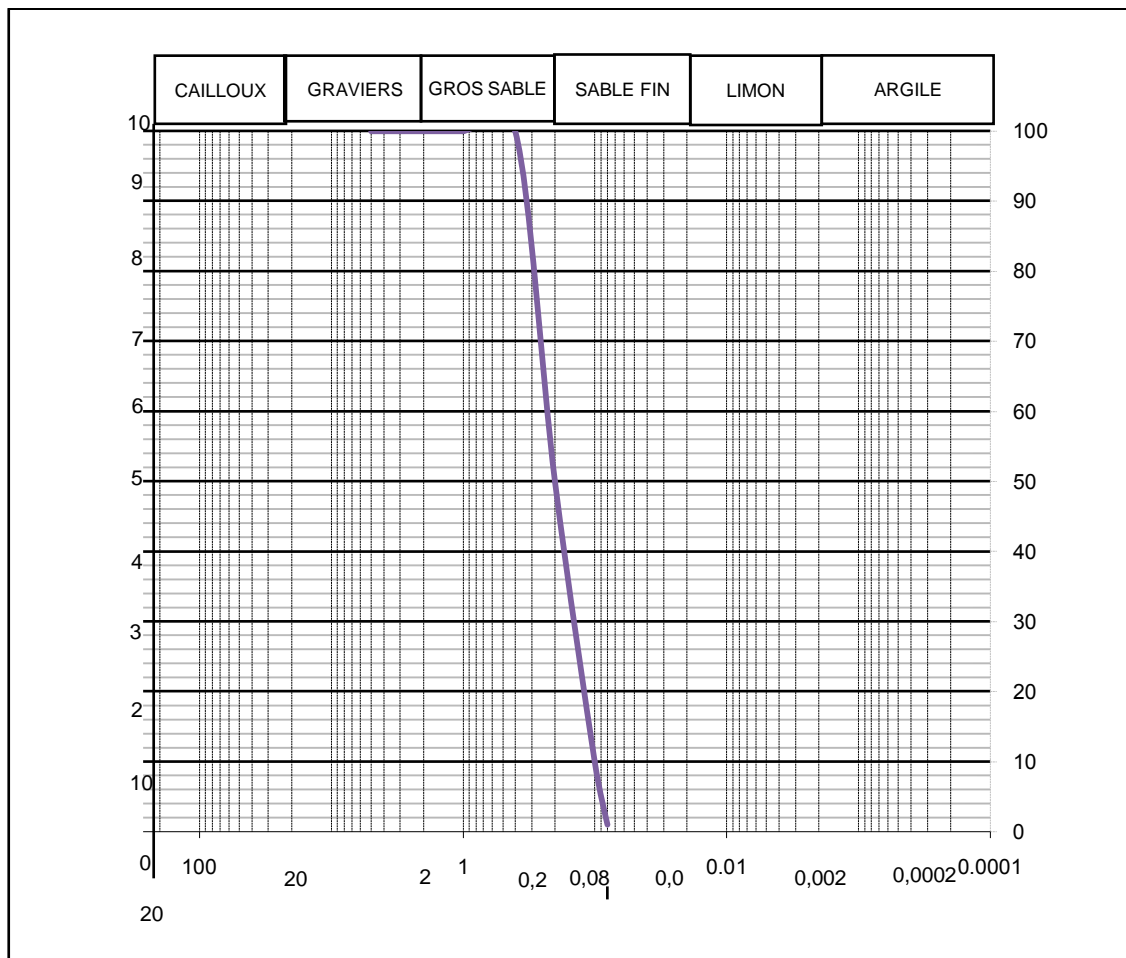


Figure N° 17: Courbe granulométrique de sable de dune

**Tableau N° 04: Résultats récapitulatif de l'analyse granulométrique du sable de dune**

Argile %	-
Limon %	-
GrosSable %	54.66
Sable fin %	45.34
Tamisat à 0, 08 mm %	-
Tamisat à 2 mm %	-
D10(μ)	0.21
D30 (μ)	0.25
D60 (μ)	0.3
Cu = D60/D10	1.43
Cc = (D30)2 / D10D60	0.089

D'après ces résultats, on constate que :Pour le sable de duneLa courbe est très uniforme ( $1 < C_u < 3$ ).

### 3.1.3. Equivalent de Sable :

Cet essai est utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons, L'essais consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossiers.

Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci.L'essai est effectué sur la fraction 0/2 mm du matériau à étudier. Le tamisage se fait pour voie humide afin de ne pas perdre d'éléments fins.

On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout. Au bout de 20 minutes, on mesure les éléments suivants :

- hauteur h1 : sable propre + éléments fins.
- hauteur h2 : sable propre seulement.

On en déduit l'équivalent de sable qui, par convention, est

$$SE = 100 \times (h2/h1).[61].$$



**Figure N° 18: Principes d'essai équivalent de sable[62]**

**3.1.4.ESSAI AU BLEU DE METHYLENE :**

La même procédure utilisée pour les argiles a été appliquée au sable de dune sauf qu'on utilise des pas plus faibles puisqu'il s'agit de sable. La valeur de bleu est très faible pour le sable de dune ce qui est en concordance avec la nature de ce sol qui est un sable pur (ES = 100 %).

**Les résultats obtenus de cet essai sont donnés dans le tableau**

**Tableau N° 05: identifications et classification de sable de dune**

<b>Essais Sable de dune</b>		
<b>Granulométrie</b>	<b>Cu</b>	<b>1.5</b>
	<b>Cc</b>	<b>1.04</b>
	<b>LCPC</b>	<b>SB</b>
<b>Bleu de méthylène</b>	<b>SST (m<sup>2</sup>/g)</b>	<b>0.84</b>
	<b>Classification</b>	<b>Elément non argileux</b>
<b>Equivalent de sable</b>	<b>ES (%)</b>	<b>76</b>
	<b>Degré de propreté</b>	<b>Propre</b>
<b>La masse volumique</b>	$\gamma_s(\text{g/cm}^3)$	<b>1.55</b>

**Cu** : coefficient d'uniformité.  $Cu = D_{60}/D_{10}$

**Cc** : coefficient de courbure.  $Cc = (D_{30})^2 / D_{60} \cdot D_{10}$

**LCPC** : Classification donnée par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.

**SB** : sable propre Bien gradué.

La courbe granulométrique du sable utilisé est représenté sur la figure III.6 Cette granulométrie est uniforme caractérisée par un coefficient d'uniformité, inférieur à 2, un diamètre moyen  $D_{50} = 0,6 \text{ mm}$ .

**3.2. ARGILES:**

Les caractéristiques des argiles utilisées :

**3.2.1. ANALYSE CHIMIQUE:**

Les résultats de l'analyse chimique sont résumés dans le tableau suivant.

**Tableau N° 06: Analyse chimique des argiles étudiées.**

	<b>Symboles</b>	<b>Unité</b>	<b>Bouhraou a</b>	<b>Oued Nechou</b>	<b>Metlili El Jadadida</b>
<b>Résidu insoluble</b>	<b>SiO<sub>2</sub>+Silice</b>	<b>%</b>	<b>30,494</b>	<b>31,251</b>	<b>65 ,50</b>
<b>Sulfates</b>	<b>SO<sub>3</sub><sup>2-</sup></b>	<b>%</b>	<b>5,28</b>	<b>0,31</b>	<b>9,4</b>
<b>Chlorures</b>	<b>Cl -</b>	<b>%</b>	<b>----</b>	<b>--</b>	<b>--</b>
<b>Carbonate de Calcium</b>	<b>CaCO<sub>3</sub></b>	<b>%</b>	<b>39</b>	<b>23</b>	<b>7</b>
<b>Matières organiques</b>	<b>MO</b>	<b>%</b>	<b>-----</b>	<b>-----</b>	<b>-----</b>

D'après les résultats, nous remarquons que la silice est l'élément prépondérant. On constate aussi que le taux du gypse très élevé pour les trois argiles, donc on a des argiles gypseuse.

3.2.2. Analyse granulométrique :

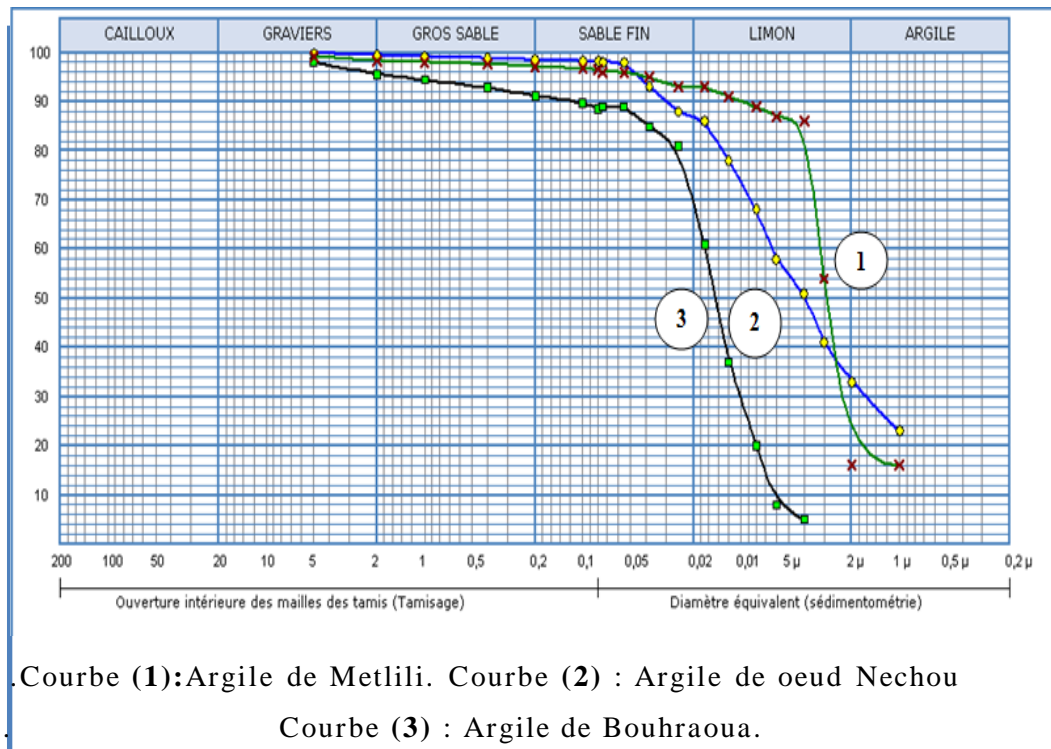


Figure N° 19: Courbe granulométrique des 3 argiles.

1. La distribution granulométrique pour les trois argiles obtenue nous montre que : La fraction fine est assez importante d'Oued Nechou (36%), et Metlili el Jadida de (26%), et mais pour Bouhraoua assez faible de (46%),
2. Une présence de particules sableuses faible importante d'Oued Nechou (14%), et Metlili el Jadida de (08%), et mais pour Bouhraoua assez importante de (6%),
3. Un pourcentage de particules limoneuses d'Oued Nechou (50 %), et Bouhraoua de (48%) comparable à celui de l'argile d'Oued Nechou et mais pour Metlili el Jadida assez importante de (66%).

Donc, on peut juger suivant cette portion granulométrique présentée dans la courbe qu'on est en présence d'un sol à prédominance limono- argileux pour trois types des argiles.

**Tableau N° 07: Résultats récapitulatif de l'analyse granulométrique D'Argile Bouhraoua et L'Argile de Metlili El et l'argile Oued Nechou.**

	<b>Argile Metlili El-Jadida</b>	<b>Argile Bouhraoua</b>	<b>Argile Oued Nechou</b>
Argile %	0	0	0
Limon %		20	26
gros Sable %	5	27	28
Sable fin %	2	0	0
Tamisé à 0,08 mm %	97	31	31
Tamisé à 2 mm %	98	20	20

**3.2.3. Essai au Bleu de Méthylène :**

Cet essai permet de mesurer la capacité des éléments fins du sol à adsorber du bleu de méthylène, cette capacité d'adsorption rend compte globalement de l'activité de surface des argiles (c à d de leur surfaces spécifiques) qu'il contient d'avantage d'argile, celle –ci traduit le début d'excès de bleu dans la suspension et donc la saturation des particules argileuses du sol.

On appelle valeur de bleu de méthylène VB, la quantité exprimée en gramme de bleu de méthylène absorbée par 100 g de fines.

De cet essai, nous pouvons tirer :

$$VBs \text{ (valeur du bleu)} = V / f$$

V : étant le volume final de solution injectée en cm<sup>3</sup>

f : poids sec des fines en grammes de la prise d'essai pour les quantités de sol

La surface spécifique totale :

$$SST = 20,93 \times V_{cc} \times \frac{1}{P_s}$$

Où SST : surface spécifique (m<sup>2</sup>/g)

V<sub>cc</sub> : volume de solution utilisé (cm<sup>3</sup>)

## Chapitres IV : programme expérimental et procédures

Ps : poids de matériaux sec (g)

20,93 : surface correspondant à 1 cm<sup>3</sup> de bleu de méthylène.

L'indice de nocivité de la fraction argileuse qui est définie par :

$$N = \frac{100V_B (\text{fraction O / D})}{C_2}$$

Avec : C<sub>2</sub> : terme en pourcentage des éléments < 2μ de la fraction O/D

Les résultats obtenus sont repris dans le tableau :

**Tableau N° 08: Paramètres tirés de l'essai au bleu à la tâche.**

Paramètre	Bouhraou a	Oued Nechou	Metlili
Valeur de bleu « VB » (%).	5,50	4.25	7,73
Surface spécifique totale (m <sup>2</sup> /g).	115.5	161 ,7	89,25

Nous allons maintenant classer les deux argiles à la base des résultats obtenus.

Le premier paramètre tiré de l'essai est la valeur du bleu VB, et le tableau .

**Tableau N° 09: Valeur de bleu de quelques sols[70]**

VB (%)	Sols
0,1	Sols insensibles à l'eau.
0,2	Apparition de la sensibilité à l'eau.
1,5	Seuil distinguant les sols sablo-limoneux des sols argileux.
2,5	Seuil distinguant les sols limoneux peu plastiques des sols limoneux de plasticité moyenne.
6	Seuil distinguant les sols limoneux des sols argileux.
>8	Seuil distinguant les sols argileux des sols très argileux.



Photo N°(7): Essai bleu de méthylène

Tableau N° 10: Les volumes du bleu des mélanges étudiant

Paramètre	Volume absorbé (ml)
Metlili	2 ,50
Bouhraoua	1,35
Oued Nechou	1,50

Selon ces résultats du VBS obtenue pour l'argile de Bouhraoua est de VBS = 1,35 et pour l'argile d 'Oued Nechou est de VBS =1,50 sont comparable coïncide avec une activité argileuse modérée correspondant sont classe comme des sols sablo-limoneux des sols argileux. et le mélanges de argile de Metlili el Jadida de VBS =2,50 se classe comme un sol limoneux peu plastique des sol limoneux de plasticité moyenne,



**3.2.4. Teneur en carbonate de calcium des argiles étudiées :**

L'essai consiste à déterminer le volume de gaz carbonique dégagé après attaque par l'acide chlorhydrique d'un demi-gramme de matériaux secs :

$$CaCO_3(\%) = \frac{\text{volume du } CO_2 \text{ dégagé par 0,5g d'échantillon}}{\text{volume du } CO_2 \text{ dégagé par 0,5g de } CaCO_3 \text{ pur}}$$

**Tableau N° 11: La classification par CaCO<sub>3</sub> de quelques sols [71]**

CaCO <sub>3</sub> (%)	Dénomination
0-10	Argile ou limon.
10-30	Argile calcaire.
30-70	Marne.
70-90	Calcaire argileuse.
90-100	Calcaire.

D'après les résultats obtenus de l'essai, la teneur en carbonate de Calcium est de 7% pour l'argile de Metlili El Jadida, et 39% pour l'argile de Bouhraoua, et pour l'argile d'Oued Nechou

Le tableau(11) donne la valeur de la teneur en CaCO<sub>3</sub> de quelques sols, et en se basant sur cette classification, nos L'argile de Metlili El-Jadida appartient à la classe de argile ou limon, et L'argile de Bouhraoua et oued nechou appartient à la classe de Marne.

**3.2.5. Limite de liquidité WL :**

Est calculée à partir de l'équation de la droite moyenne ajustée sur les couples de valeurs expérimentales (N, W). WL : est obtenue pour une valeur N égale à 25 coups exprimée en pourcentage (%).  $WL = W (N/25)^{0,121}$  voir le figur



**Photo N°(8): Détermination de la limite de liquidité.**

**3.2.6. La limite de plasticité WP :**

Est la moyenne arithmétique des teneurs en eau obtenus à partir de ces essais exprimée en pourcentage (%) .



**Photo N°(9): Détermination de la limite de liquidité.**

**Tableau N° 12: Récapitulation des résultats d'essais de limites d'Atterberg des argiles étudiés.**

Selon la classification LCPC, et l'abaque de plasticité de Casa grande les trois mélanges sont classés comme Moyennement Argileux très plastique.

Limites D'Atterberg	Valeur (%)		
	Argile de Bouhraoua	Argile de Oued Nechou	Argile de Metlili
Limite de liquidité	54.07	85.19	61.28
Limite de plasticité	31.79	38.21	34.44
Indice de plasticité	22.28	46.98	26.79

**3.2.7. LIMITES D'ATTERBERG :**

Les essais permettant la détermination des limites d'Atterberg ont été réalisés conformément à la norme NF P 94-051. Ils sont effectués sur la fraction inférieure à 400µm du sol étudié.

**3.2.7.1. Principe de détermination des limites d'Atterberg** L'essai s'effectue en deux phases :

o Recherche de la teneur en eau pour laquelle une rainure pratiquée dans un sol placé dans une coupelle de caractéristiques imposées se ferme lorsque cette dernière et son contenu sont soumis à des chocs répétés.

o Recherche de la teneur en eau pour laquelle un rouleau de sol, de dimension fixée confectionné manuellement, se fissure. [63] que soit la nature de l'argile, celle-ci malaxée avec des quantités d'eau de plus en plus importantes finit par se transformer en boue « l'argile a un comportement liquide ».

Au contraire, si l'argile est suffisamment desséchée, les grains sont très resserrés et les liaisons deviennent intenses « l'argile a un comportement solide ».

Entre ces deux états, l'argile est malléable « elle a un comportement plastique ».

L'activité d'une argile « AC » se définit comme suit :  $Ac = \frac{\text{Indice de plasticité}}{\% \text{éléments} < 2\mu}$



Figure N° 20: La coupelle de casagrande[64].

Les résultats obtenus des essais des limites:

Tableau N° 13: Paramètres tirés des limites d'Atterberg.

ARGILES	WL(%)	WP(%)	IP(%)	AC
Oeud Nechou	61.02	34.5	26.52	2.35
METLILI EL JADIDA	61.28	34.44	26.79	1.67
BOUHRAOUA	54.07	31.79	22.28	1.59

WL = Limite de liquidité.  
Wp = Limite de plasticité.  
Ip = Indice de plasticité.  
AC = Activité.

Pour les sols fins, il est d'usage de reporter les valeurs de « IP » et « WL » sur un diagramme ayant « IP » en ordonnée et « WL » en abscisse. Ce diagramme

Classification des argiles selon la courbe de casagrande:

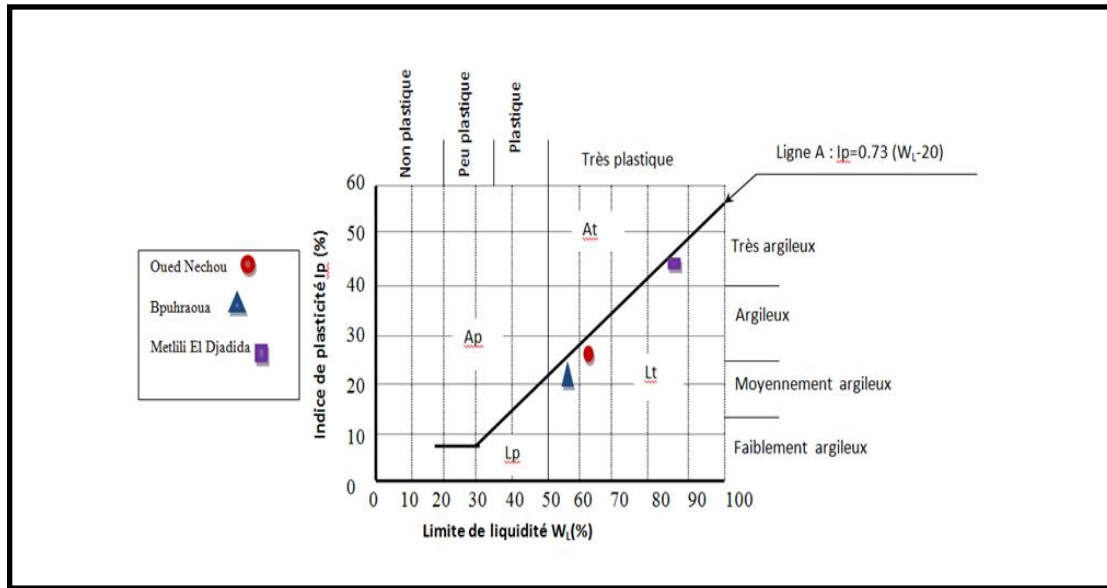


Figure N° 21: Diagramme de Classification des argiles étudiées selon l'abaque de Casagrande

Avec :

**At** : argiles très plastiques.      **Lt** : limons très plastiques.

**Ap** : argiles peu plastiques.      **Lp** : limons peu plastiques.

Selon les résultats de l'activité ( $A = I_p/C_2$ ) [65] et [66], qui définit l'activité des argiles, on peut avoir une idée sur le minéral prédominant dans la matrice argileuse. D'où, le minéral prédominant dans les échantillons Bouhraoua et Metlili El Jadia et oued Nechou est la Montmorillonite.

L'argile de Metlili El Jadida se classe comme Argileux très plastique .et les argiles de Bouhraoua et Oued Nechou se classe comme Moyennement Argileux très plastique.

3.2.8. Paramètres physico-chimique:

Tableau N° 14: Résultats récapitulatif de l'analyse granulométrique d'Argile Bouhraoua et L'Argile Oued Nacho.

Paramètre des argiles	Argile de Bouhraoua	Argile de Oued Nechou	Argile de Metlili
Eléments <0.08mm	89	97	98
Eléments <2 $\mu$ m	14	20	23
WL (%)	54.07	85.19	61.28
WP (%)	31.79	38.21	34.44
IP (%)	22.28	46.98	26.79
AC	1.59	1.67	2.35
Vb (cm <sup>3</sup> )	5.5	4.25	7.73
Sst (m <sup>2</sup> /g)	115.5	89.25	161.70
Teneur en carbonate de calcium CaCo3	39	23	07
W nat (%)	2.25	3.00	3.50

### 3.3. Essai Oedométrique : (NF P 94-090-1)

#### 3.3.1. Introduction:

Après montage dans la bague oedométrique l'éprouvette est soumise à l'imbibition sous le poids du piston (Jennings et Knight 1957 ; Jennings et al., 1973). Après stabilisation de gonflement, le chargement s'effectue par palier 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 [67]

#### 3.3.2. But de l'essai:

Cet essai permet de suivre la consolidation au cours du temps, de déterminer les relations contrainte-déformation et de calculer des caractéristiques relatives à la compressibilité :  $E_{oed}$ ,  $C_c$  [68]

#### 3.3.3. le principe de cet essai:

Les essais de consolidation et de compressibilité permettent d'apprécier la déformation verticale des sols.

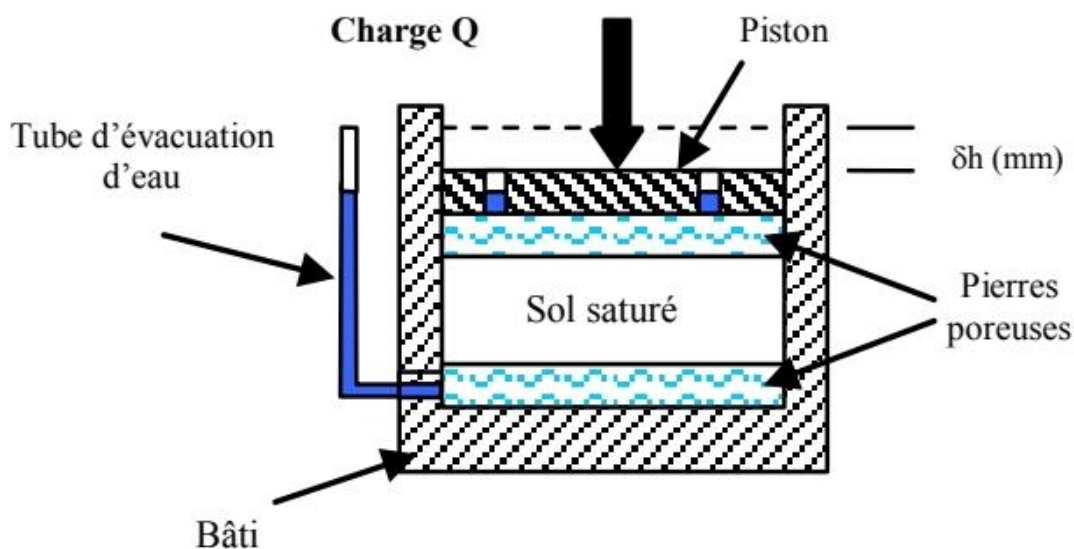
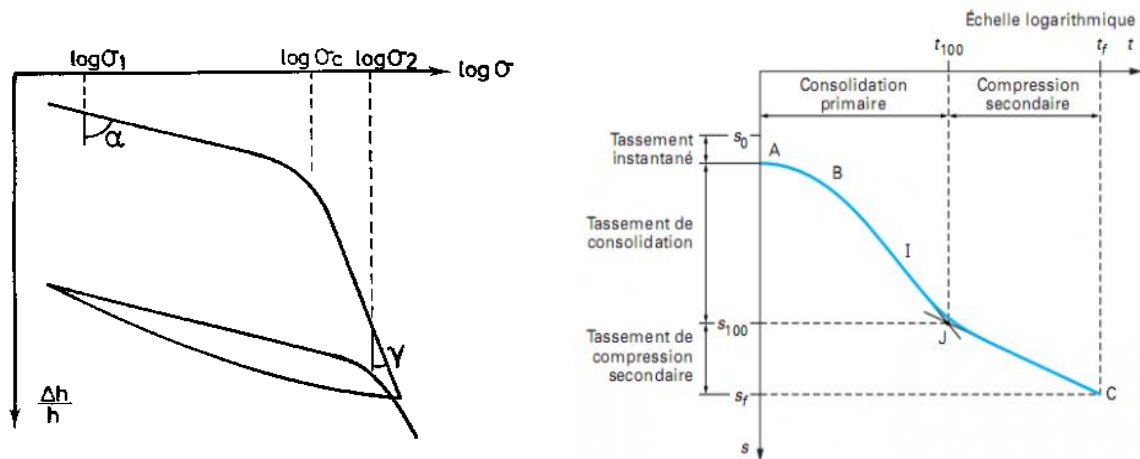


Figure N° 22: principes de essai oedométrique. [69]

La préparation des échantillons est comme les essai de cisaillement utilisé la formule optimale choisie d'après l'essai oedométrique « 30% argile + 70% SD »

**3.3.3.1. Cet essai permet d'établir, pour un échantillon donné, deux types de courbes :**

- Les courbes de consolidation, qui donnent le tassement de l'échantillon en fonction du temps sous application d'une contrainte constante.
- La courbe de compressibilité, contrainte appliquée qui indique le tassement total en fonction du logarithme de la contrainte appliquée.



**Figure N° 23: Courbe de consolidation et courbe de compressibilité**

**3.3.4. Paramètres obtenus à partir de l'essai oedométrique :**

**3.3.4.1. Contrainte de consolidation  $\sigma'c$ :**

Elle correspond au changement de pente sur la branche supérieure du graphique précédent. Les sols dits sous-consolidés sont ceux pour lesquels la contrainte effective verticale est supérieure à  $\sigma'c$  (exemple : vases récentes).

Les sols dits surconsolidés sont ceux pour lesquels la contrainte effective verticale est inférieure à  $\sigma'c$  (exemple : sols anciens érodés).

Les sols normalement consolidés subissent une contrainte effective verticale de l'ordre de  $\sigma'c$

**3.3.4.2. Coefficient de compression :**

$$Cc = \Delta e / \Delta \log \sigma'$$



Ce coefficient  $C_c$  permet de calculer le tassement total à long terme sous un état de charge donné en considérant que pour des contraintes supérieures à la contrainte de consolidation, la variation ( $e, \log s'$ ) est linéaire. Mais lorsque la courbe oedométrique est fournie.

Le résultat d'un essai oedométrique classique consiste à donner :  $\sigma'_c$  (kPa),  $C_v$  (m<sup>2</sup>/s) déterminé pour un niveau de contrainte, et  $C_c$  (sans dimension).

Cet essai permet d'analyser la consolidation d'éprouvettes saturées de sols intacts (échantillons paraffinés), soumises à des charges verticales uniformes, drainées sur les deux faces (inférieure et supérieure) et maintenues latéralement par une paroi rigide.

L'essai permet de tracer une courbe oedométriques : indice des vides «  $e$  » en fonction de «  $\log s$  » d'où on peut déduire :

- **Pression de consolidation  $P_c$ .**
- **Coefficient de tassement  $C_v$ .**
- **Coefficient de gonflement  $C_g$ .**

### 3.3.4.3. Description de la courbe oedométrique :

La courbe comporte trois segments bien distincts. Elle commence par un segment de faible pente pour ensuite s'incliner fortement à l'approche d'une contrainte notée  $\sigma'_c$ . Cette contrainte porte le nom de pression de consolidation : elle représente la contrainte effective maximale que l'échantillon a subie au cours de son histoire géologique.

Pendant le chargement de l'échantillon, quand la pression dépasse la pression de pré consolidation, le tassement s'accroît et l'indice des vides diminue considérablement. La pente du second segment de la courbe est représentée par le symbole  $C_c$  : **c'est l'indice de compression.**

La forme de la courbe de consolidation démontre que dans un dépôt d'argile, tant que la contrainte effective due au poids du sol et à la surcharge ( $\sigma' + \Delta\sigma$ ) demeure inférieure à la pression de pré consolidation ( $\sigma'_c$ ), les tassements restent faibles. Toutefois, si la contrainte effective dépasse la pression de pré consolidation, il risque de survenir dans le dépôt des tassements nuisibles au fonctionnement et à l'intégrité structurale des constructions.

La troisième partie de la courbe met en évidence le gonflement de l'échantillon d'argile qui survient lorsque la pression est relâchée. C'est un léger gonflement élastique du sol qui se traduit par une faible augmentation de l'indice des vides et une légère remontée de la courbe. Même si la charge est totalement retirée, le tassement ne se résorbe jamais complètement. La pente de cette portion de courbe s'appelle indice de gonflement, et elle est représentée par le symbole  $C_g$ .

### 3.3.5. Résultat :

Dans les courbe suivants :

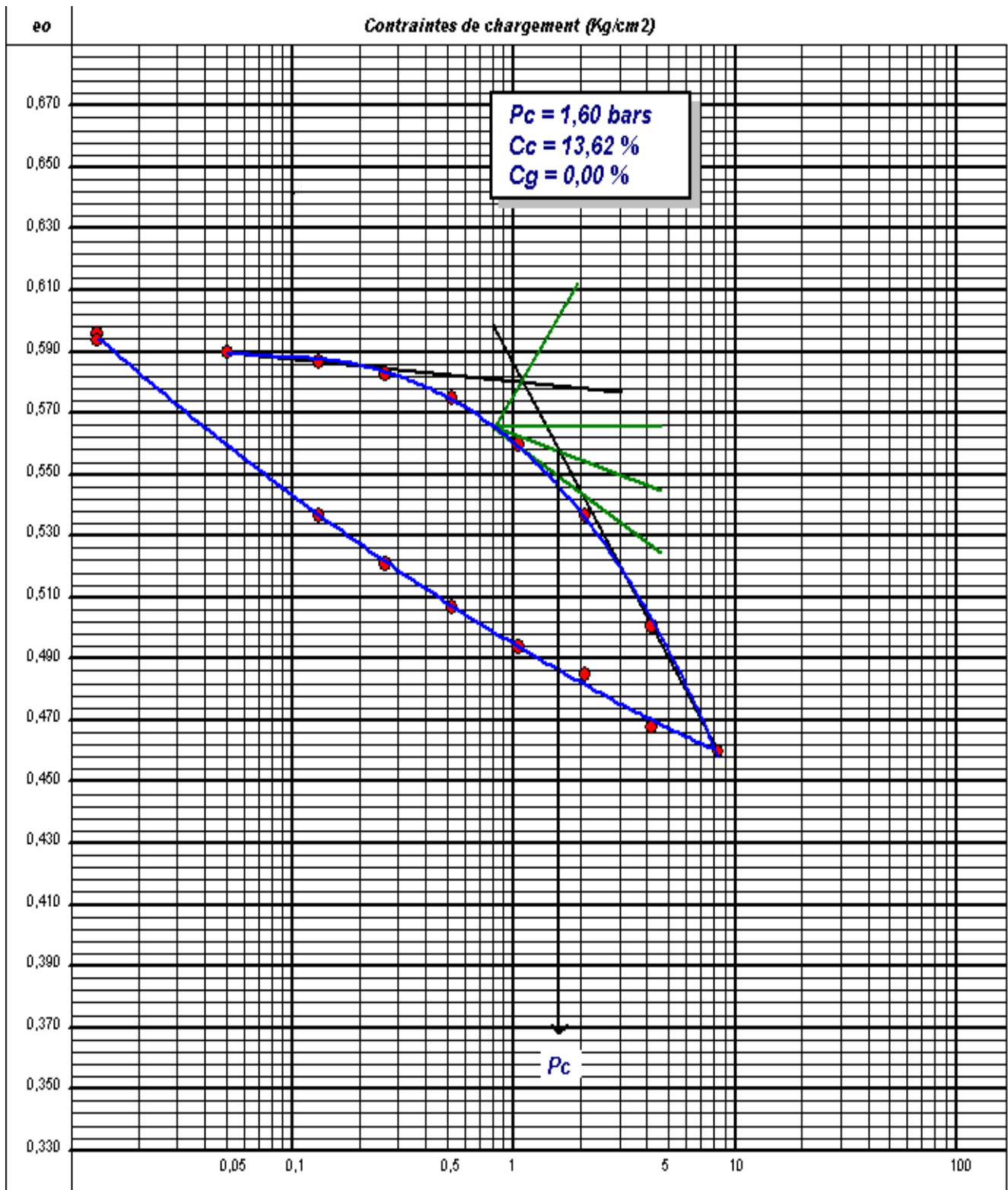


Figure N° 24: Le courbe d'essai oedométrique de melonge(sable/argile)metlili.

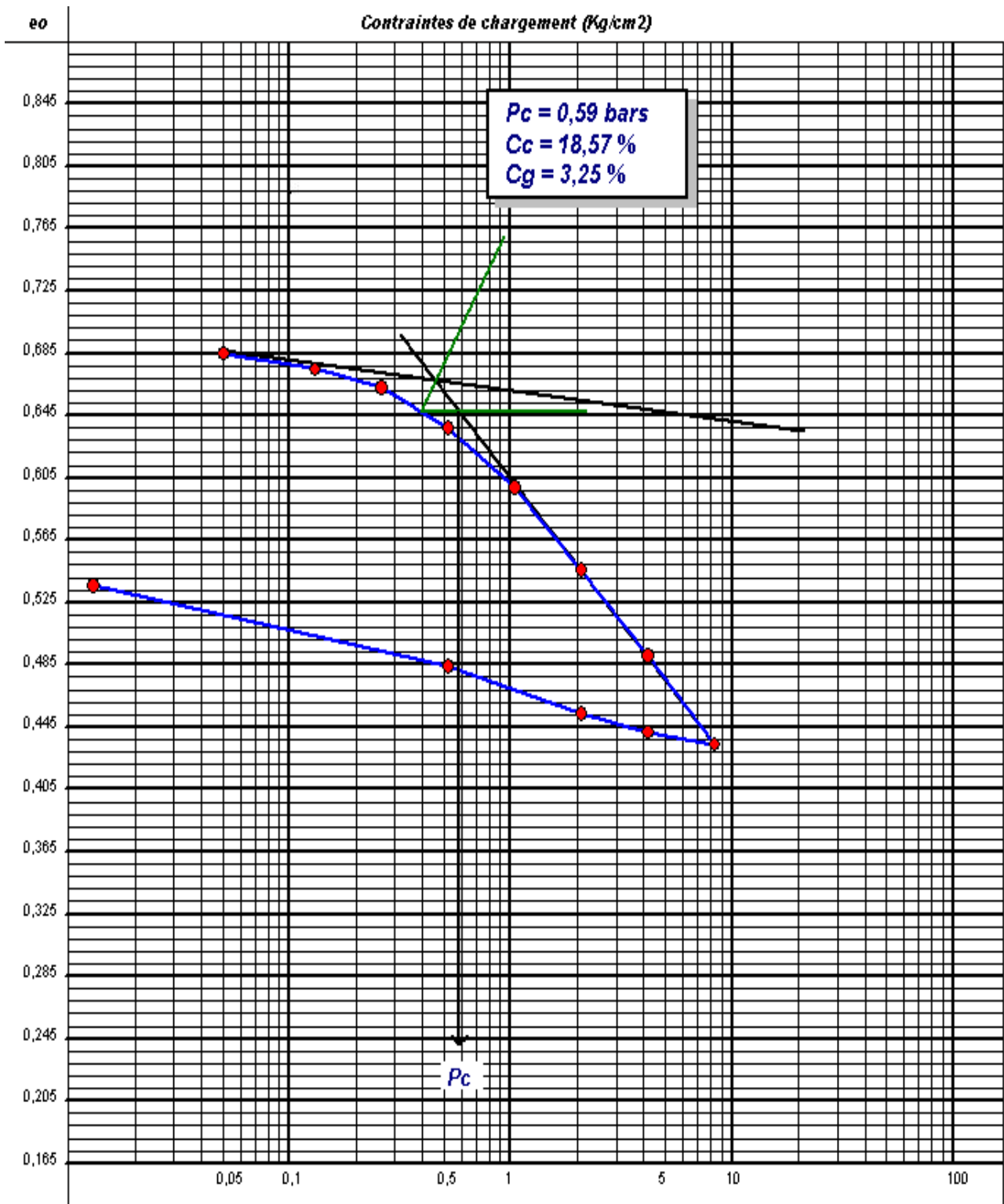


Figure N° 25: Le courbe d'essai oedométrique de melonge(sable/argile)bouhraoua.

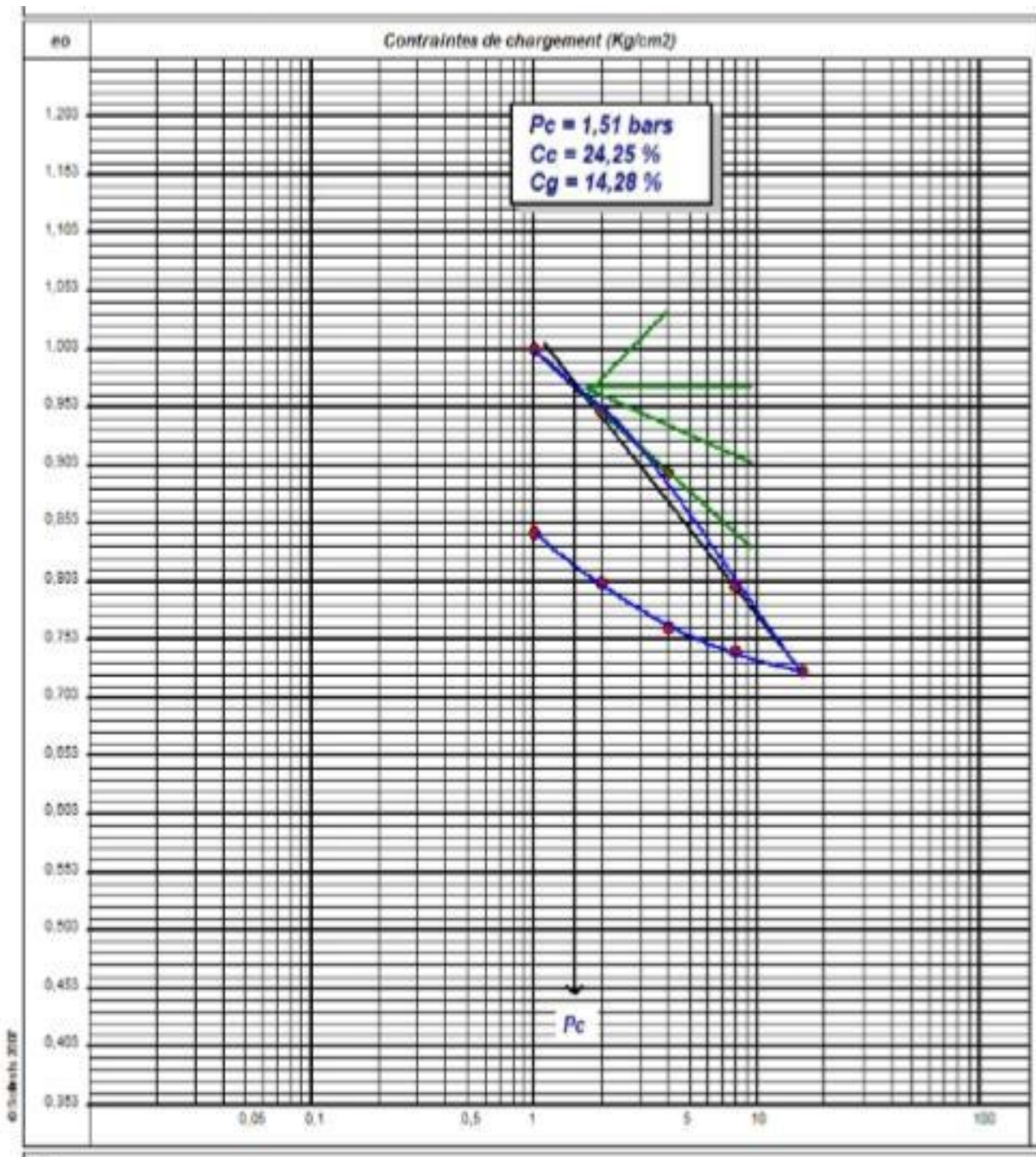


Figure N° 26: le Courbe d'essais oedométrique de Mélange (Sable / Argile) oed Nechou.

## Chapitres IV : programme expérimental et procédures

On remarque sur les résultats des trois courbes suivantes qu'il y a une différence dans le mélange de sol en termes de propriétés physique et mécanique.

**Tableau N° 15: Résultats de les deux échantillon**

les trois échantillon	Caractéristique mécanique		
	Pc(bar)	Cc (%)	Cg (%)
Mélange de Metlili	1.60	13.62	0.40
Mélange de Bouhraoua	0.59	18.57	3.25
Mélange de oed Nechou	1,15	24,25	14,28

**Cc** : coefficient de gonflement.

**Pc** : pression de consolidation.

**Cg** : coefficient de gonflement.

**Tableau N° 16: Coefficients de gonflement (Leonards.1968).**

	Cg
Montmorillonite	0.510
Illite	0.210
Kaolinite	0.060

**Tableau N° 17: Classification selon le rapport  $Cc/(1+ e_0)$ .**

( Philipponnat et Hubert.1997)

$Cc/(1+ e_0) < 0,015$	Sol incompressible
$0,015 < Cc/(1+ e_0) < 0,05$	Sol peu compressible
$0,05 < Cc/(1+ e_0) < 0,2$	Sol moyennement compressible
$Cc/(1+ e_0) > 0,2$	Sol très compressible

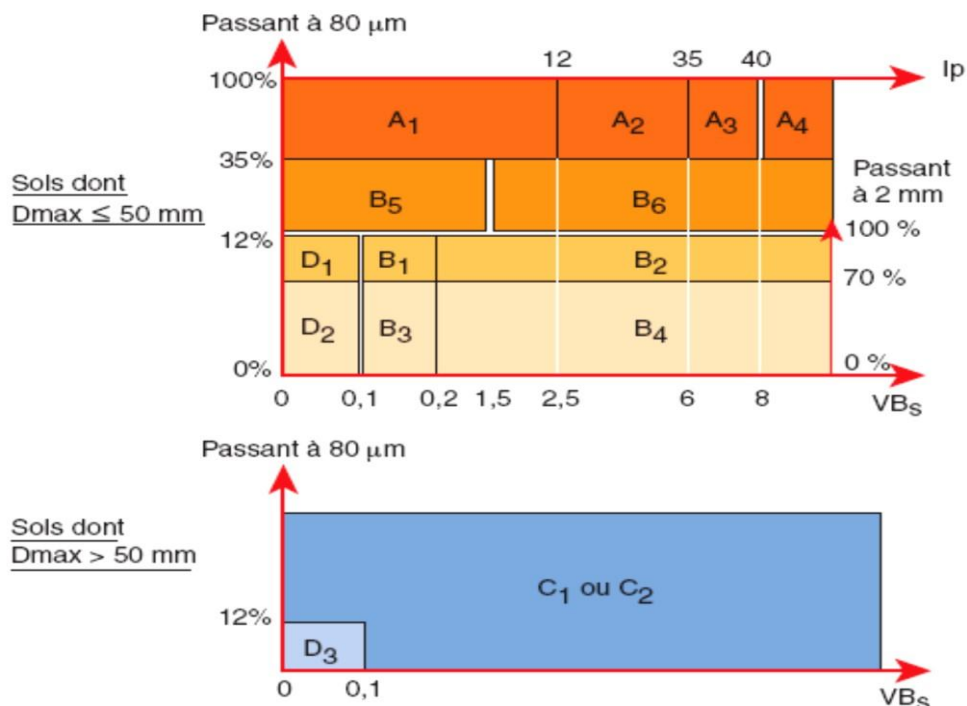
### 3.4. Classification du sol selon le GTR :

L'utilisation des terres en remblai est d'abord directement liée à leur classification et à leur comportement lors de leur mise en place.

Le GTR 92 (Guide des Terrassements Routiers, Réalisation des remblais et des couches de forme, LCPC, SETRA, 1992) et la norme quine découle NF- P 11-300 (septembre 1992) proposent une classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières.

Le premier critère d'identification des sols est la granulométrie. En effet, pour des raisons techniques telles que le malaxage, un seuil à 50 mm a été établi.

Il permet de distinguer : les sols constitués de particules de diamètre inférieur ou égal à 50 mm ; il s'agit des sols de type A, B, D. Ces sols correspondent aux sols fins ; les sols constitués de particules de diamètre supérieur à 50 mm qui correspondent aux sols C, D.



**Figure N° 27: Classification des sols fins selon GTR**

Tableau N° 18: Classification GTR (SETRA-LCPC 1980).

Classe	Définition
A	Sols fins (limons, argile, ...)
B	Sols sableux ou graveleux avec fines (sables et graves argileuses,...)
C	Sols comportant des fines et des gros éléments (alluvions, grossières,...)
D	Sols insensibles à l'eau avec fines (sables et graves propres,...)

La classification des sols fins est basée sur la teneur en argile et la granulométrie du sol :

- VBS : Capacité d'adsorption par le bleu de méthylène ;
- IP : Indice de plasticité par la méthode des limites d'Atterberg ;
- Passant à 80  $\mu\text{m}$  et à 2 mm : pourcentage de particules fines passant aux tamis de 80  $\mu\text{m}$  et 2mm.

✓ **Classification GTR (cas des sols fins) :**

Selon la Classification **GTR** (NF P 11-300) (cas des sols fins), on peut classer les argiles comme suit :

- **Argile Bouhraoua**

$D_{\text{max}} < 50\text{mm}$  ;

Passant à 80 $\mu\text{m}$  =35% ;

$I_p > 12\%$  ;

- **Argile Oued Nechou**

$D_{\text{max}} < 50\text{mm}$  ;

Passant à 80 $\mu\text{m}$  =35% ;

$I_p > 12\%$  ;

- **Argile Metlili**

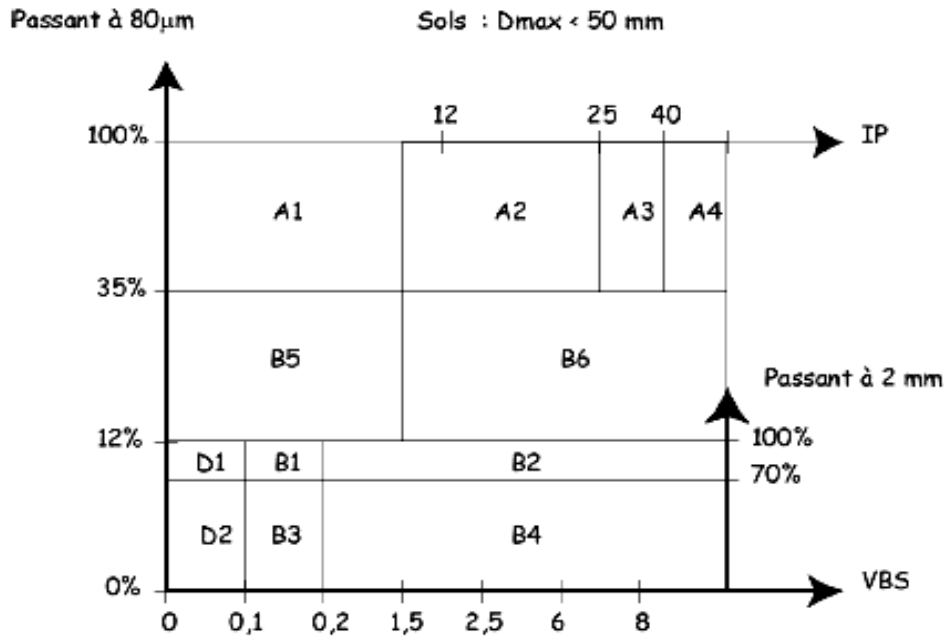
$D_{\text{max}} < 50\text{mm}$  ;

Passant à 80 $\mu\text{m}$  =35% ;



$I_p > 12\%$  ;

Donc selon ces valeurs des caractéristiques géotechniques la classification de notre matériau est **A3** sachant que la classe A3 est « Sols fins » (Figure III-14).



**Figure N° 28: Classification des sols fins selon GTR.**

### 3.5. Classification du sol selon le GRS :

✓ **Classification TRS (technique routière saharienne) :**

Selon la technique routière saharienne notre matériau est classé comme : sable dune/ argile, famille des matériaux fins.

- **mélange de sable /Argile Bouhraoua**

$D_{max} < 50\text{mm}$  ;

Passant à  $80\mu\text{m} = 35\%$  ;

$I_p > 12\%$  ;

- **mélange de sable /Argile Oued Nechou**

$D_{max} < 50\text{mm}$  ;

Passant à  $80\mu\text{m} = 35\%$  ;

$I_p > 12\%$  ;

- mélange de sable /Argile Metlili

$D_{\max} < 50\text{mm}$  ;

Passant à  $80\mu\text{m} = 35\%$  ;

$I_p > 12\%$  ;

#### 4. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons étudié la caractéristiques des sols constitués de sable et d'argile en réalisant des expériences utilisées dans les classifications des sols ( essai équivalent de sable, analyse granulométrique, limite d'atterberg, essai au bleu de méthylène, essai d'œnométrie ).

Donc selon ces valeurs des caractéristiques géotechniques la classification de notre matériau est utilisés on comparant par les spécifications proposés pour l'Algérie par ALLOUL et STRUILLLOU, et on fin on classe notre matériaux sol selon la classification de GTR.

**Chapitres V : Présentation et analyse des résultats d'essais gonflement libre des mélanges optimaux. Sable de dune – Argile – traité au ciment et renforcé par géotextiles**

**1) Introduction :**

Ce chapitre regroupe l'ensemble des résultats de l'essai réalisé sur le sol étudié et leur interprétation, il est organisé sous forme de deux parties :

Une première partie concernant le sol non traité, qui comporte les essais de gonflement libre à partir d'un mélange optimal (70 % Sable et de 30 % d'argile), le sable et l'argile et sont d'abord. Les mélanges optimaux utilisés sont

**Mélange 1** ; sable de dune – marne de Bouhraoua,

**Mélange 2** ; sable de dune – marne d'Oued Nechou

**Mélange 3** ; sable de dune – marne de Metlili

Une deuxième partie portant sur le sol traité, qui comporte les essais de gonflement libre à partir d'un mélange optimal (70 % Sable et de 30 % d'argile) à différents ajouts

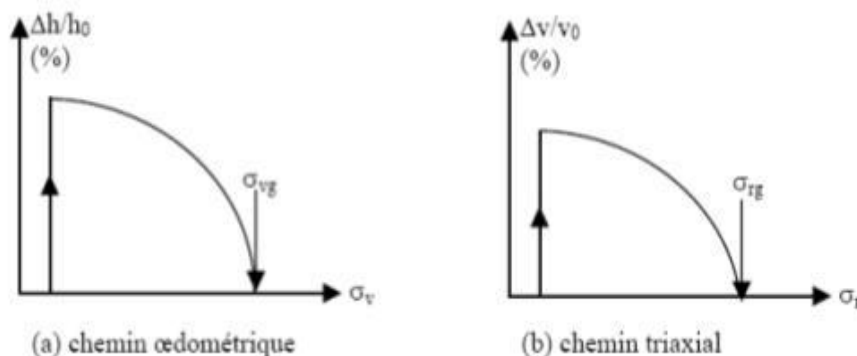
**1. Le ciment** : on ajoute différentes proportions de ciment portland CEM IIB (CPJ 32, 5) dans des teneurs allant de (02, 04, 06 %.) A chaque mélange optimal,

**2. Géotextile** : type non tissé GEO AS30 entreprise de AFITEX

**3. Le ciment – Géotextile** (02, 04, 06 %.)

**2) Méthode de gonflement libre :**

Dans l'essai de gonflement libre, l'échantillon soumis à une faible pression correspondant au poids du piston et de la pierre poreuse, est laissé en contact avec de l'eau. Une fois le phénomène de gonflement stabilisé, l'échantillon quasi-saturé suit un chemin de chargement par paliers avec stabilisation des déformations sous chaque palier. La pression de gonflement correspond à la charge nécessaire à appliquer pour ramener le volume de l'échantillon à sa valeur initiale. Cette méthode peut se faire dans un oedomètre ou un triaxial (figure 29).



**Figure N° 29: Méthode de gonflement libre, (MRAD, 2005)**

Le mode de chargement influence sur la valeur de la pression de gonflement. En effet, GUIRAS et SHANAJI (1996), ont montré que la pression de gonflement déterminée à partir des essais de gonflement libre dépend de la vitesse de chargement. Un chargement rapide, après 24 heures, aboutit à une pression de gonflement plus importante qu'un chargement lent (à la fin

## Chapitres V : Présentation et analyse des résultats d'essais gonflement libre des mélanges optimaux. Sable de dune – Argile – traité au ciment et renforcé par géotextiles

---

de la phase de consolidation primaire (après stabilisation des déformations). Ce comportement a déjà été constaté également par TIROT, 1984).

L'avantage de cette méthode est qu'elle nécessite une seule éprouvette et permet d'obtenir, outre la pression de gonflement et le gonflement libre, la courbe de compressibilité du sol saturé (après gonflement). Cependant, l'inconvénient est qu'elle n'est pas représentative du chemin de contrainte suivi par le sol lorsqu'il subit un gonflement sous confinement (BRACHELY, 1975 . JUSTO et al, 1984 et El SAYED et RABBAA, 1986), cité par MRAD, 2005.

### 3) PROTOCOLES D'ESSAI :

Les essais de gonflement sont menés sur des échantillons intacts secs (à une teneur en eau nulle) à l'aide des oedomètres selon le processus d'essai de gonflement à l'oedomètre (détermination des déformations par chargement de plusieurs éprouvettes) décrit par la norme XP P 94-091 Décembre 1995.

L'essai s'effectue sur plusieurs éprouvettes d'un même échantillon et prélevées sensiblement au même niveau. Chaque éprouvette de sol est placée dans une enceinte cylindrique rigide (oedomètre) et un dispositif de chargement applique sur cette éprouvette un effort axial vertical maintenu constant.

L'essai consiste à appliquer à chaque éprouvette une contrainte verticale différente et à mesurer sa variation de hauteur lorsqu'elle est mise en présence d'eau.

Les valeurs de déformation finale de chaque éprouvette  $\Delta H_f/H_i$  sont reportées sur le diagramme semi- logarithmique afin de déterminer la relation  $\Delta H_f/H_i$  en fonction de  $\log \sigma$ .

La valeur absolue de la pente de cette droite est appelée rapport de gonflement  $R_g$  donc on a la relation :

$$\Delta H_f/H_i = - R_g \log (\sigma_g/ \sigma)$$

Où :  $\Delta H_f$ : la variation de hauteur de l'éprouvette sous la contrainte de l'essai lors de la phase d'imbibition.

$H_i$ : la hauteur juste avant la mise en eau de l'éprouvette sous la contrainte de l'essai

$R_g$ : le rapport de gonflement

$\sigma_g$ : la pression de gonflement du matériau, exprimé en bars

$\sigma$ : la contrainte axiale appliquée à une éprouvette, exprimée en barsm [33]

## **Chapitres V : Présentation et analyse des résultats d'essais gonflement libre des mélanges optimaux. Sable de dune – Argile – traité au ciment et renforcé par géotextiles**

### **4) PRESENTATION DES ESSAIS :**

Les essais de gonflement libre (détermination des déformations par chargement de plusieurs éprouvettes) ont été effectués sur les trois types de mélange optimum 70% sable de dune de Sebseb + 30% Argile (Metlili el Jadida et Oued Nechou et Bouhraoua) en utilisant le ciment et le géotextile et (ciment + géotextile).

#### **a. Les étapes d'essai gonflement libre :**

##### **1. Préparation de l'argile :**

Grind l'argile dans la machine dans la photo (10) et après tamisage dans un tamis d'un diamètre de 2 cm.



**Photo N°(10): Dispositif de meulage**

##### **2. Préparation de l'échantillon à étudier (70% sable + 30% argile)**



**Photo N°(11): La Mélange Optimum (Sable + Argile )**

**Chapitres V : Présentation et analyse des résultats d'essais gonflement libre des mélanges optimaux. Sable de dune – Argile – traité au ciment et renforcé par géotextiles**

---

3. Ajouter de l'eau ou des additifs au mélange. Exemple d'ajout de Ciment



**Photo N°(12):Echantillonde (mélange optimum + Ciment )**

4. L'échantillon est versé dans le moulephoto (V-4) , et placé dans l'appareil de compactage photo (14) .



**Photo N°(13):Le Moule de compactage**



**Photo N°(14):L'appareil de compactage**

5. Couper l'échantillon selon le moule.



**Photo N°(15):Réglement de l'échantillon**

6. Il a placé l'échantillon dans la bête photo (V-6) et l'a placé dans la machine de gonflage photo(V-7) et on le verse sur de l'eau jusqu'à ce qu'il a été rempli.



**Photo N°(16):La boîte que nous avons utilisée**





**Photo N°(17):L'appareil de gonflement**

7. Après gonflement, on enlève l'échantillon et pèse photo (18) et le mettre dans le chauffe-eau. Photo (19) Au bout de 24 heures et l'échantillon a séché, nous pesons encore photo (20).



**Photo N°(18):Poids de l'échantillon humide**



**Photo N°(19):Chauffe-eau**



Photo N°(20):L'échantillon Séchée

Résultat :

- Résultat de mélange optimaux (1) : ( 70% Sable+ 30% Argile de Metlili ) .

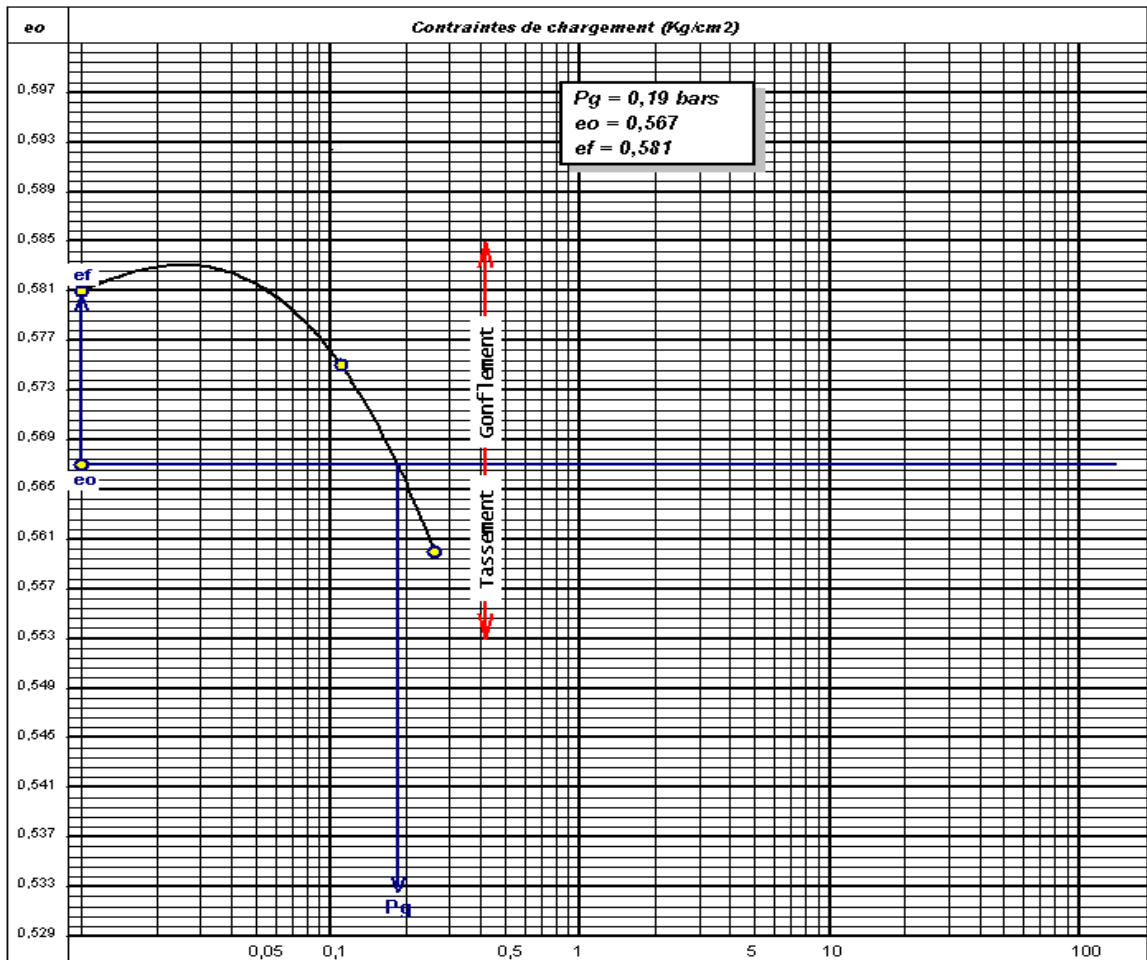


Figure N° 30: La courbe de gonflement libre sur les mélanges optimaux (1)

## Chapitres V : Présentation et analyse des résultats d'essais gonflement libre des mélanges optimaux. Sable de dune – Argile – traité au ciment et renforcé par géotextiles

La prise de gonflement :  $P_{g1} = 0,19$  bars .

**commentaire** : D'après ce que l'on voit sur la figure (30), le mélange optimal (1) : ( sable + l'argile de Metlili) est faible en gonflement .

- Résultat de mélange optimal 1 + ciment :
- 2% de Ciment :

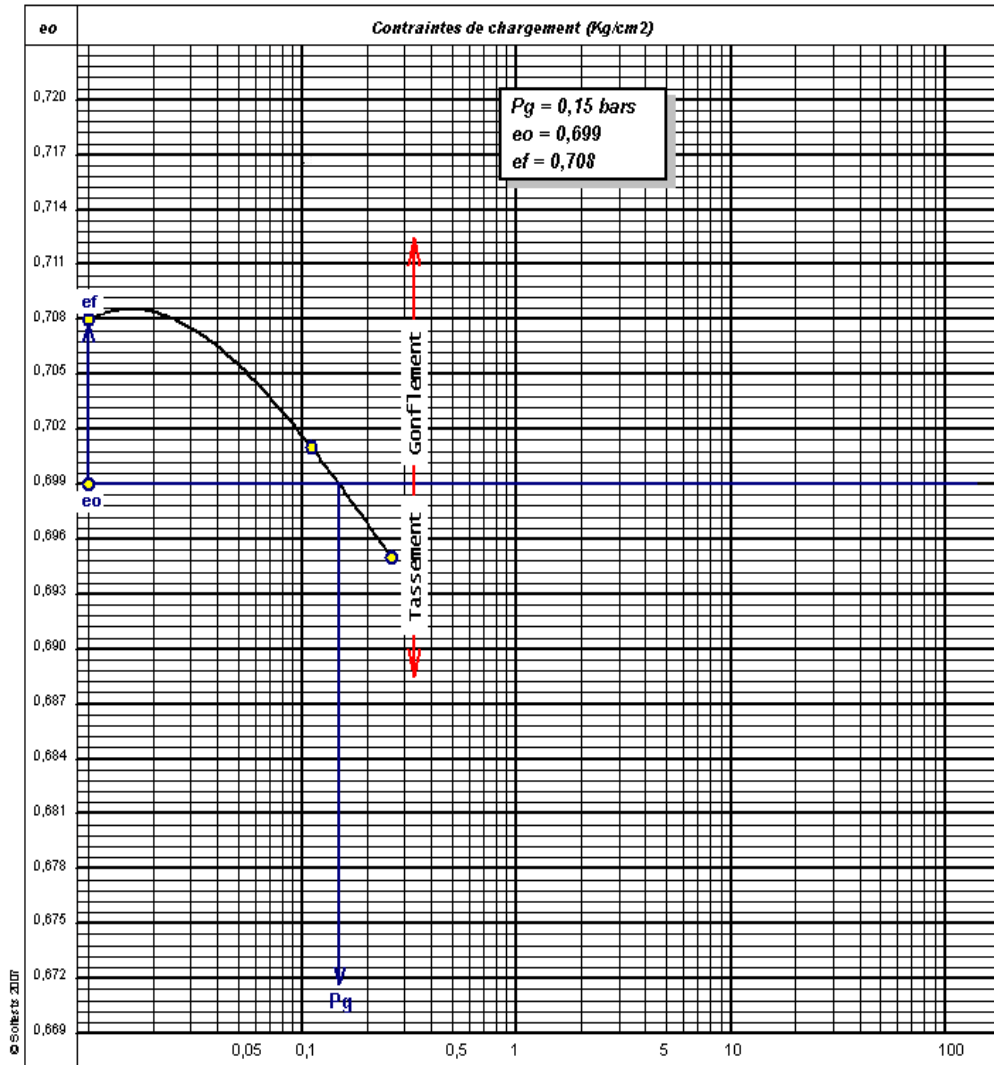


Figure N° 31: La courbe de gonflement libre sur le mélange optimal ( 1) en utilisant 2% Ciment

- La prise de gonflement :  $P_{g2} = 0,15$  bars.

- 4% de Ciment :

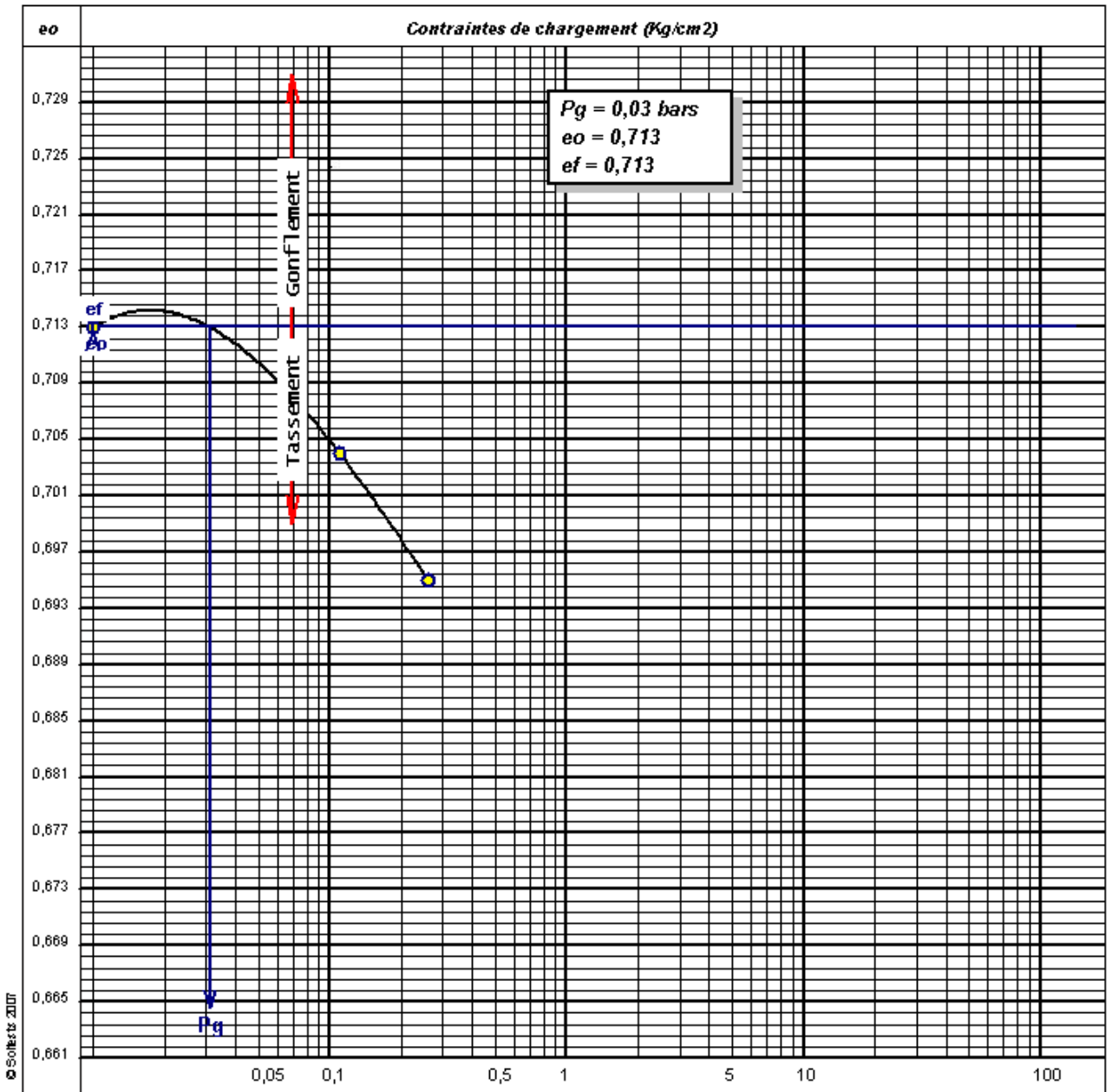


Figure N° 32: La courbe de gonflement libre sur le mélange optimal (1), en utilisant 4% Ciment

La prise de gonflement :  $P_{g3} = 0.03 \text{ bars}$ .

- 6% de Ciment :

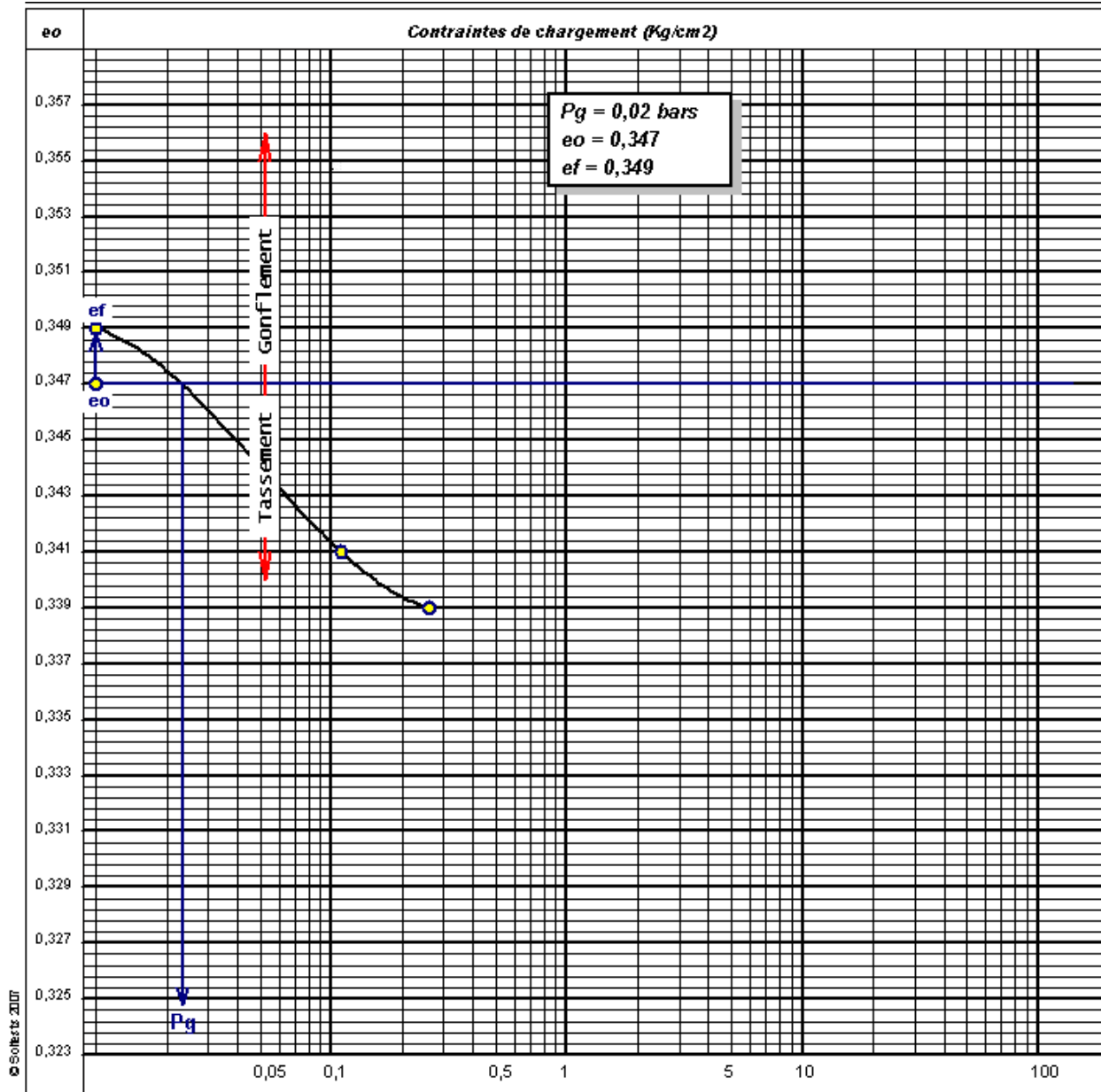


Figure N° 33: La courbe de gonflement libre sur le mélange optimal (1) en utilisant 6% Ciment

- La prise de gonflement :  $P_{g4} = 0,02$  bars.

**Commentaire:** A travers les trois figures ((31) (32) (33)), on remarque qu'il y a une relation directe, plus on augmente la proportion de ciment, plus la stabilité du mélange optimal (1) augmente et plus le gonflement diminue,  $P_{g2\%} < P_{g4\%} < P_{g6\%}$ .

- Résultat de mélange optimale(1)+ géotextile :

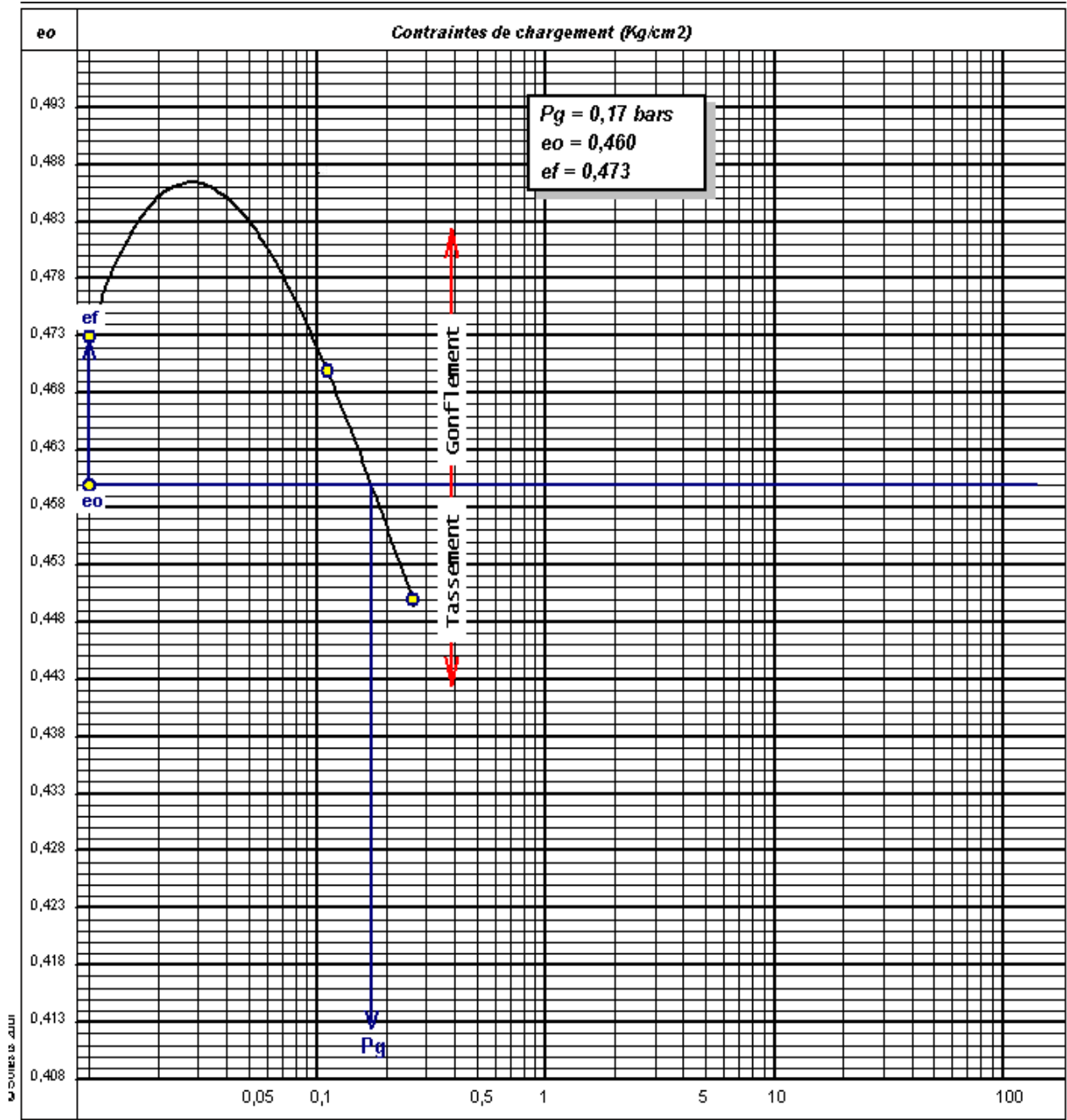


Figure N° 34: La courbe de gonflement libre sur le mélange optimal (1), en utilisant géotextiles

- La prise de gonflement :  $P_g = 0,17$  bars .

**Commentaire :** Selon la figure (34), on remarque que le géotextile a permis de réduire le gonflement du mélange optimal (1).

- Résultat de mélange optimaux ( 1 )+ ciment + géotextiles :
- 2 % de Ciment + géotextiles :

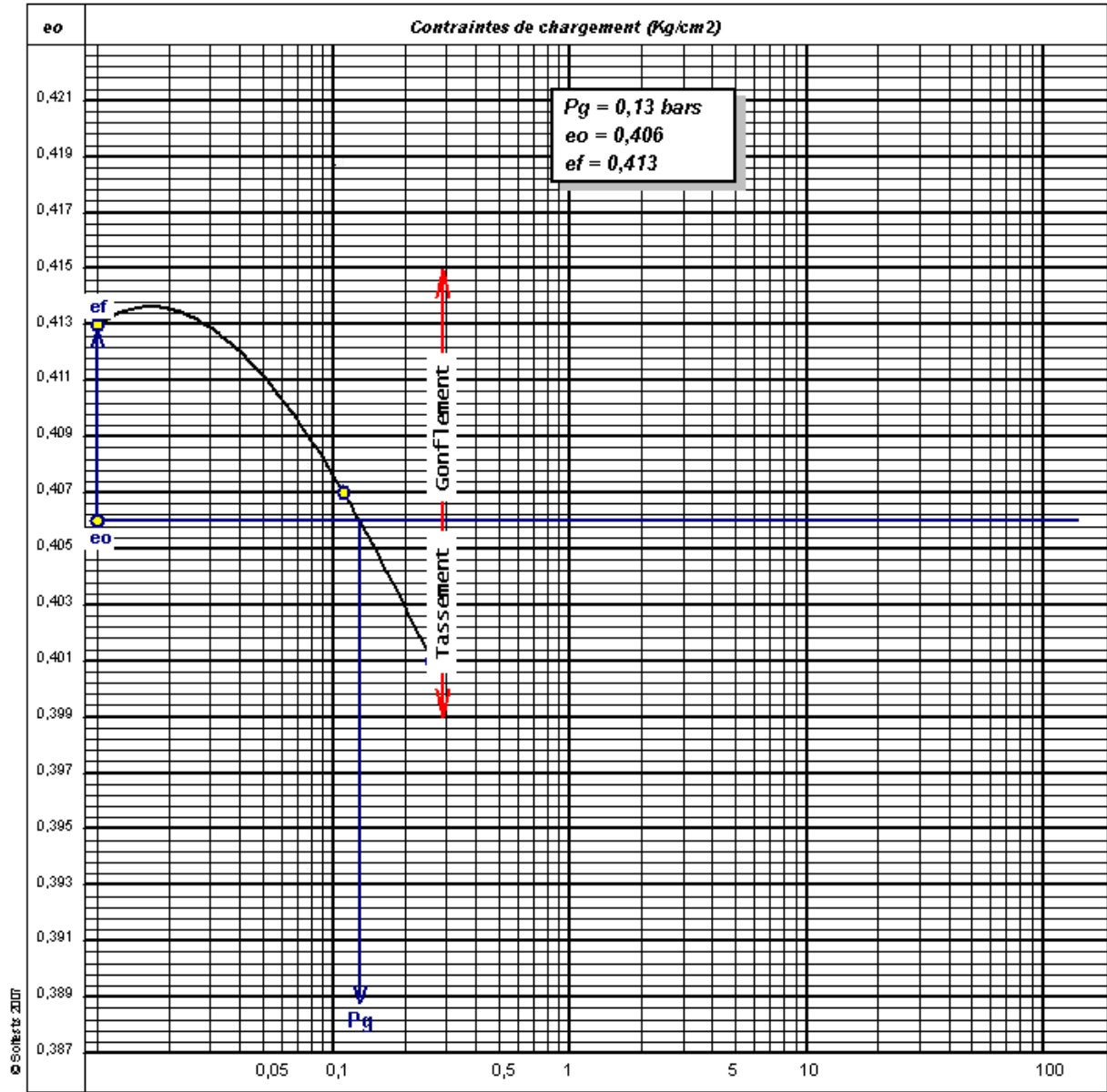


Figure N° 35: La courbe de gonflement libre sur le mélange optimaux (1), en utilisant géotextiles + 2% Ciment.

- La prise de gonflement :  $P_g = 0,13$  bars.

- 4% de ciment+ géotextiles :

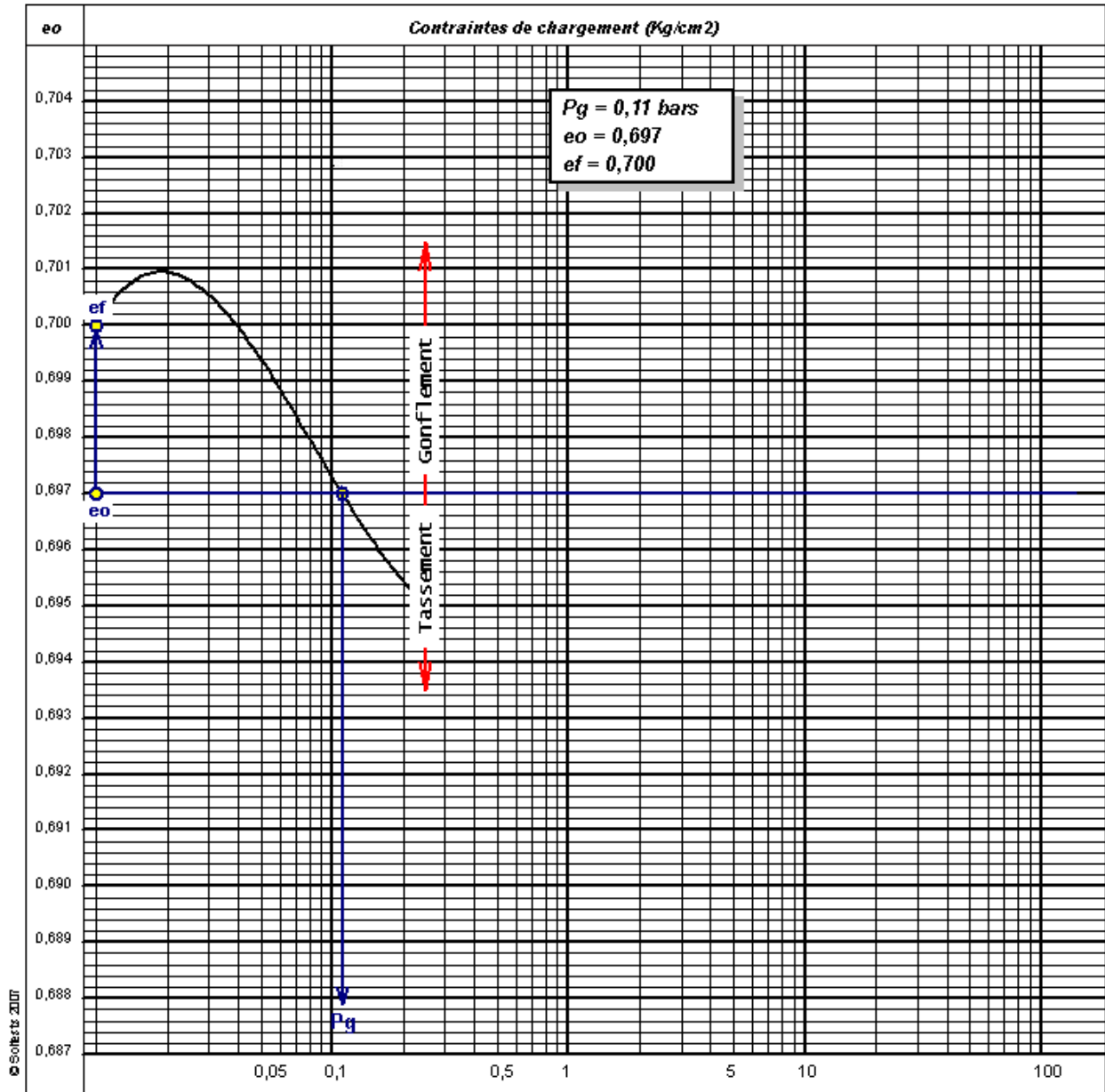


Figure N° 36: La courbe de gonflement libre sur le mélange optimaux (1), en utilisant géotextiles + 4% Ciment.

- La prise de gonflement :  $P_g = 0,11$  bars.



- 6% de Ciment + géotextiles :

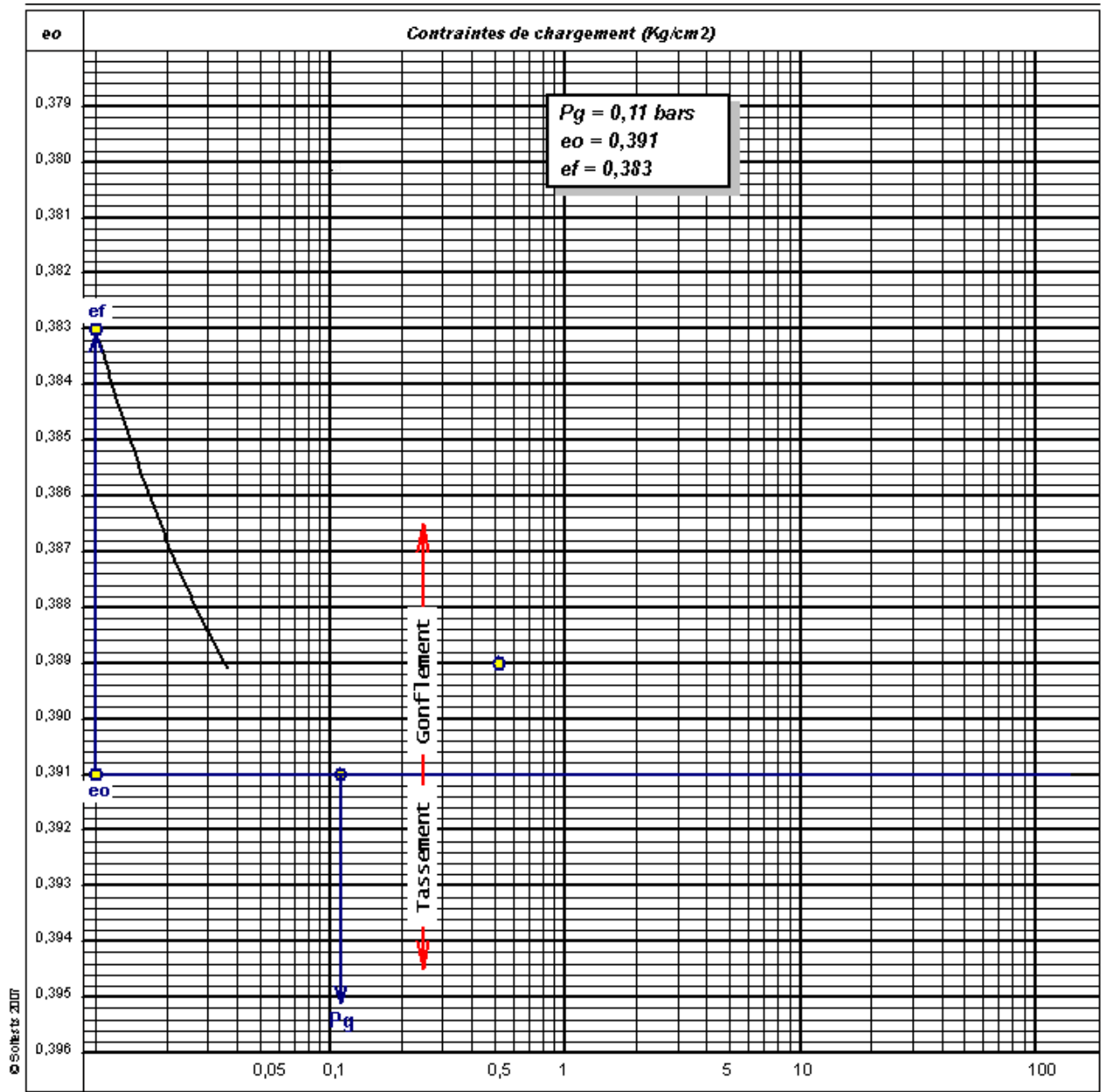


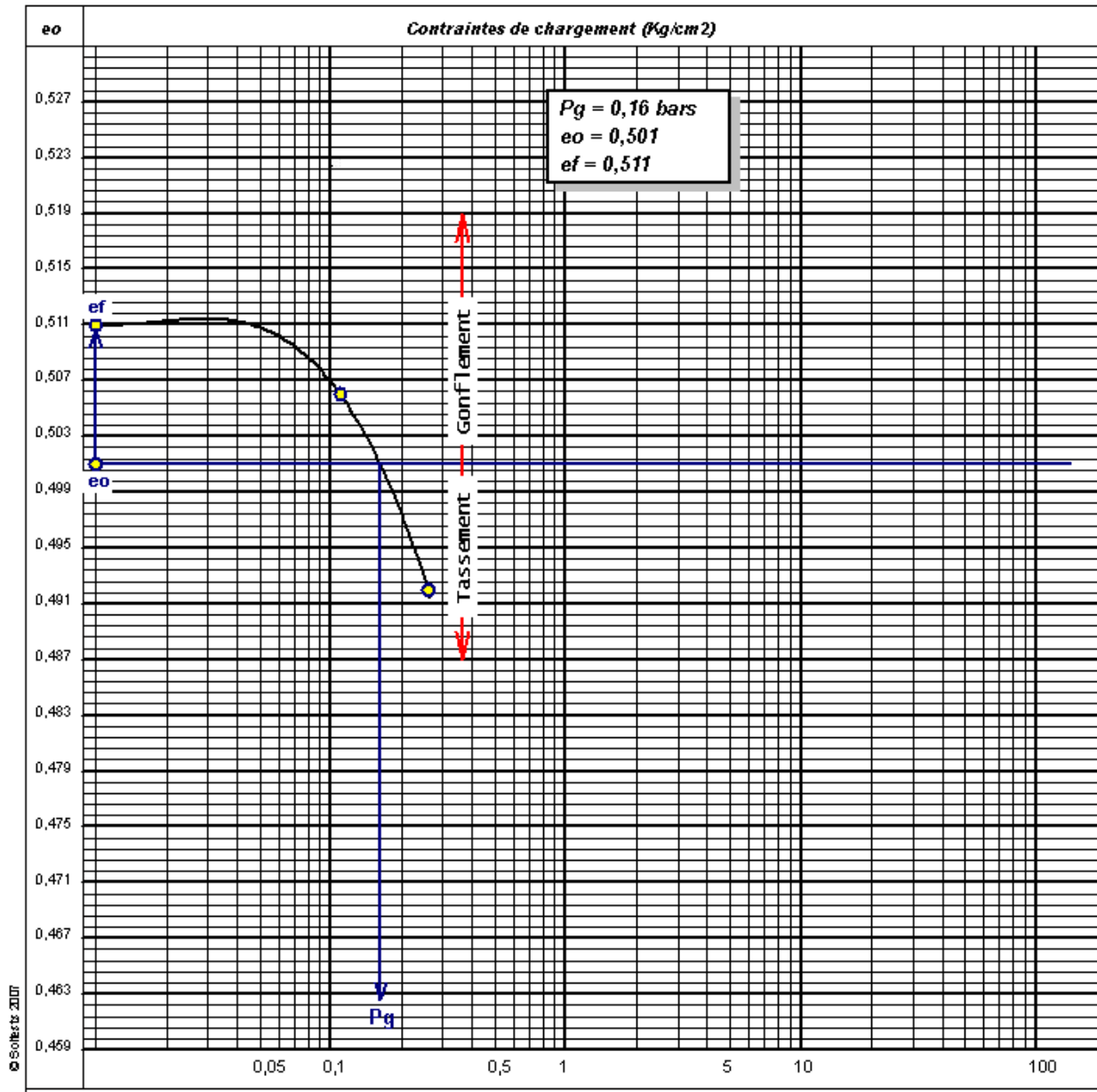
Figure N° 37: La courbe de gonflement libre sur les mélanges optimaux (1), en utilisant géotextiles + 6% Ciment

La prise de gonflement :  $P_g = 0,11 \text{ bars}$ .

**commentaire:** A travers la figure ((35) (36) (37)), on remarque que le géotextile diminue légèrement l'efficacité du ciment à stabiliser le mélange optimal (1), mais ce mélange de ciment géotextile reste efficace et donne de bons résultats.

**Chapitres V : Présentation et analyse des résultats d'essais gonflement libre des mélanges optimaux. Sable de dune – Argile – traité au ciment et renforcé par géotextiles**

- Résultat de mélange optimaux (2) : ( 70% Sable + 30 % Argile Bouhraoua) .



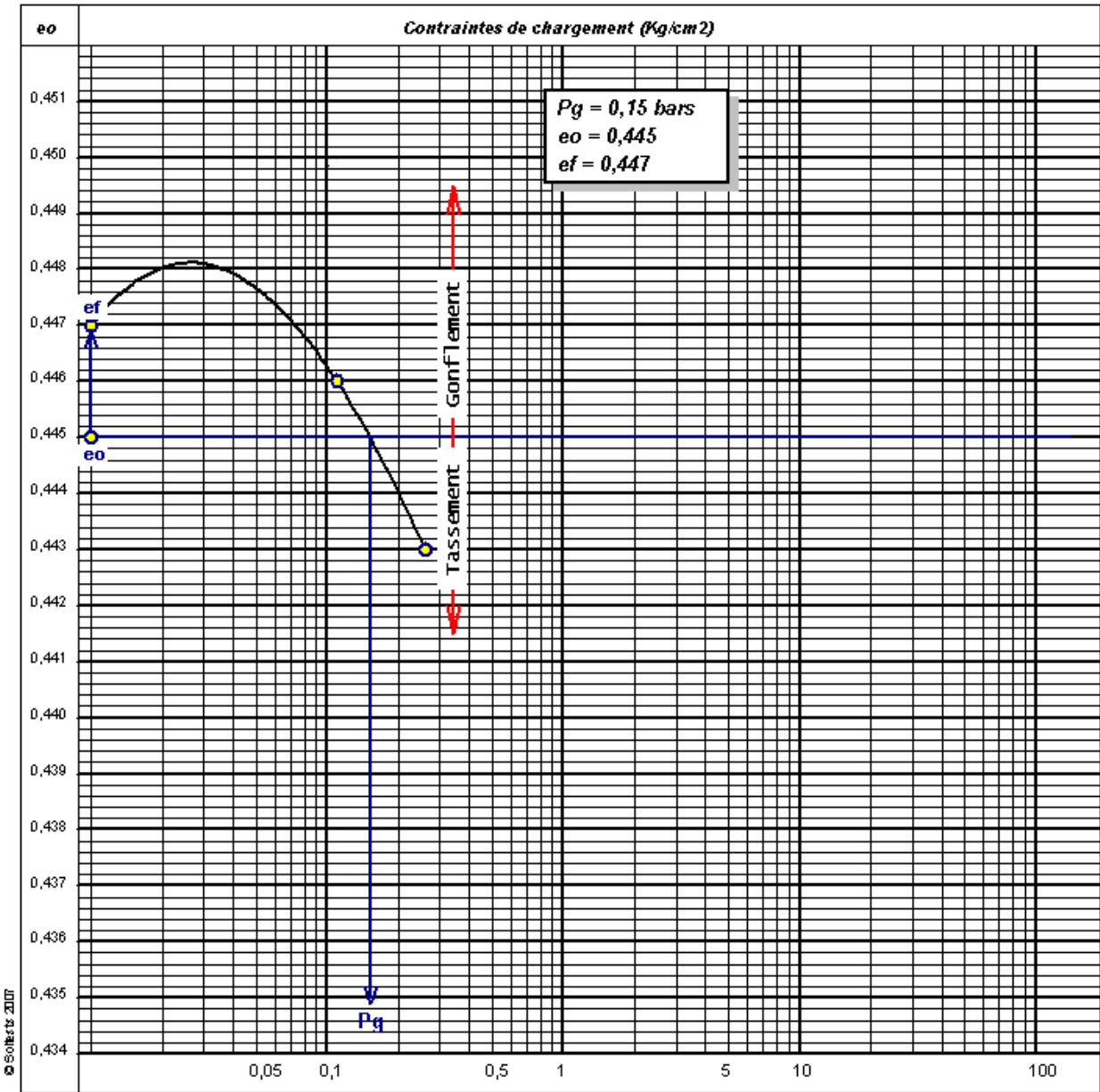
**Figure N° 38: La courbe de gonflement libre sur le mélange optimaux (2)**

**La prise de gonflement :**  $P_g = 0,16 \text{ bars}$ .

**commentaire:** D'après ce que l'on voit sur la figure (38), le mélange optimaux (2) : ( sable + l'argile de Bouhraoua ) de gonflement moyen.

**Chapitres V : Présentation et analyse des résultats d'essais gonflement libre des mélanges optimaux. Sable de dune – Argile – traité au ciment et renforcé par géotextiles**

- Résultat de mélange optimaux (2) + Ciment:
- 2 % de Ciment + géotextiles.



**Figure N° 39: La courbe de gonflement libre sur les mélanges optimaux (2), en utilisant 2% Ciment.**

**La prisson de gonflement :  $P_g = 0,15$  bars.**

- 4% de Ciment :

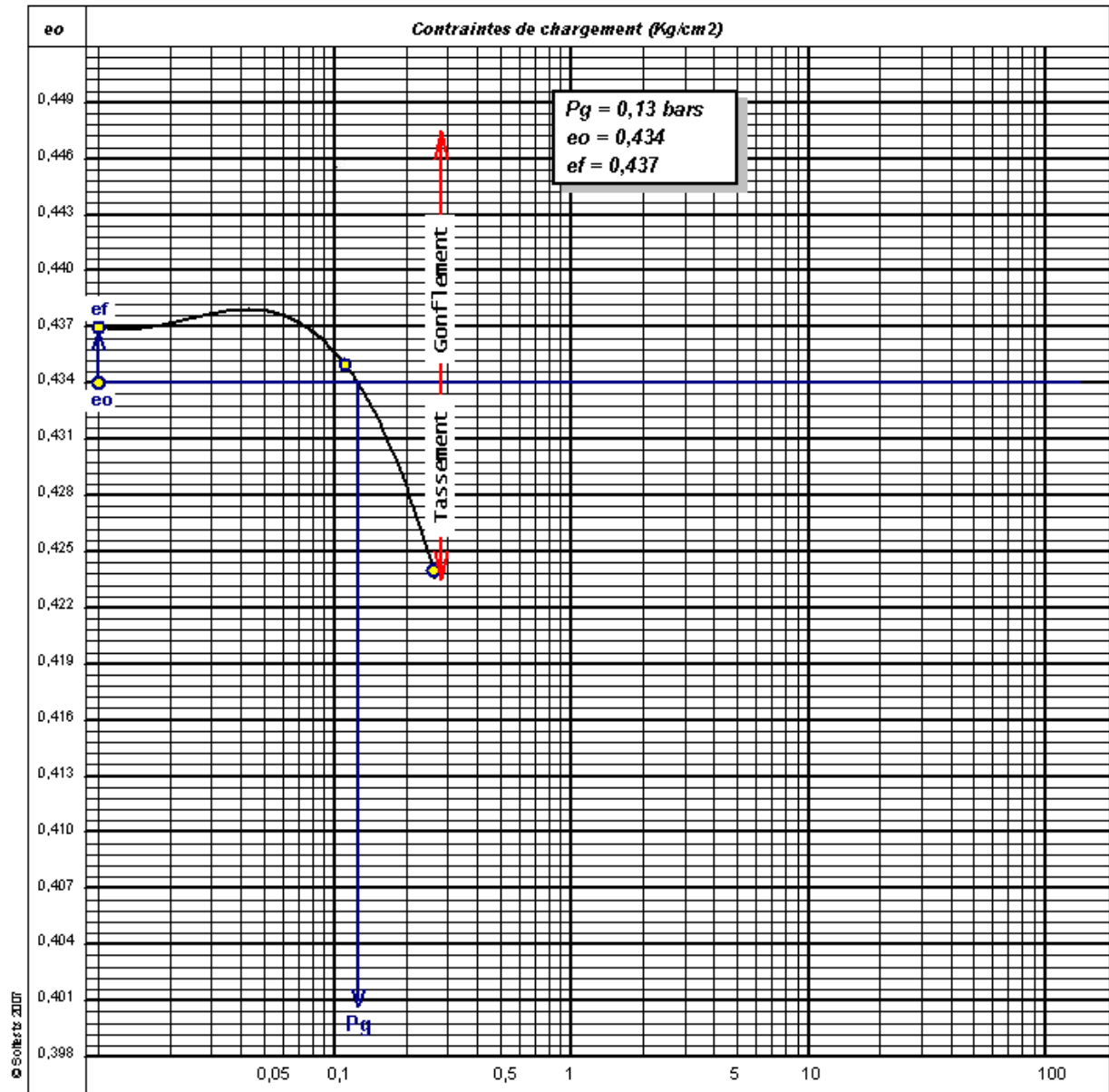


Figure N° 40: La courbe de gonflement libre sur le mélange optimaux (2), en utilisant 4a% Ciment

La prise de gonflement :  $P_g = 0,13 \text{ bars}$ .

- 6 % de Ciment :

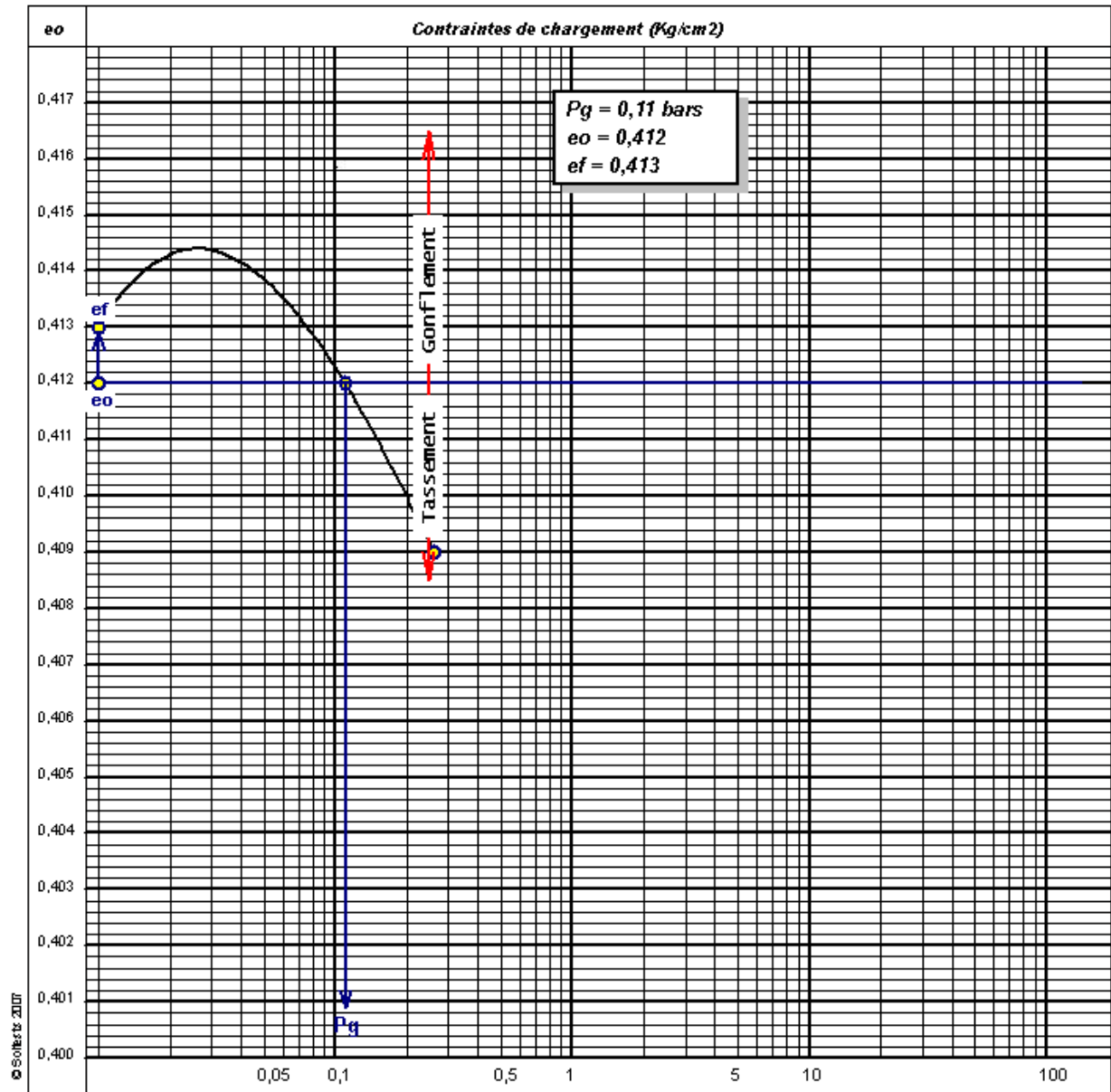


Figure N° 41: La courbe de gonflement libre sur le mélange optimal (2), en utilisant 6% Ciment

**La prise de gonflement :**  $P_g = 0,11$  bars .

**Commentaire :** A travers les trois figures ((39) (40) (41)), on remarque qu'il y a une relation directe, plus on augmente la proportion de ciment, plus la stabilité du mélange optimal (2) augmente et plus le gonflement diminue,  $P_g 2\% < P_g 4\% < P_g 6\%$  .

- Résultant de mélange optimale ( 2 )+ géotextiles:

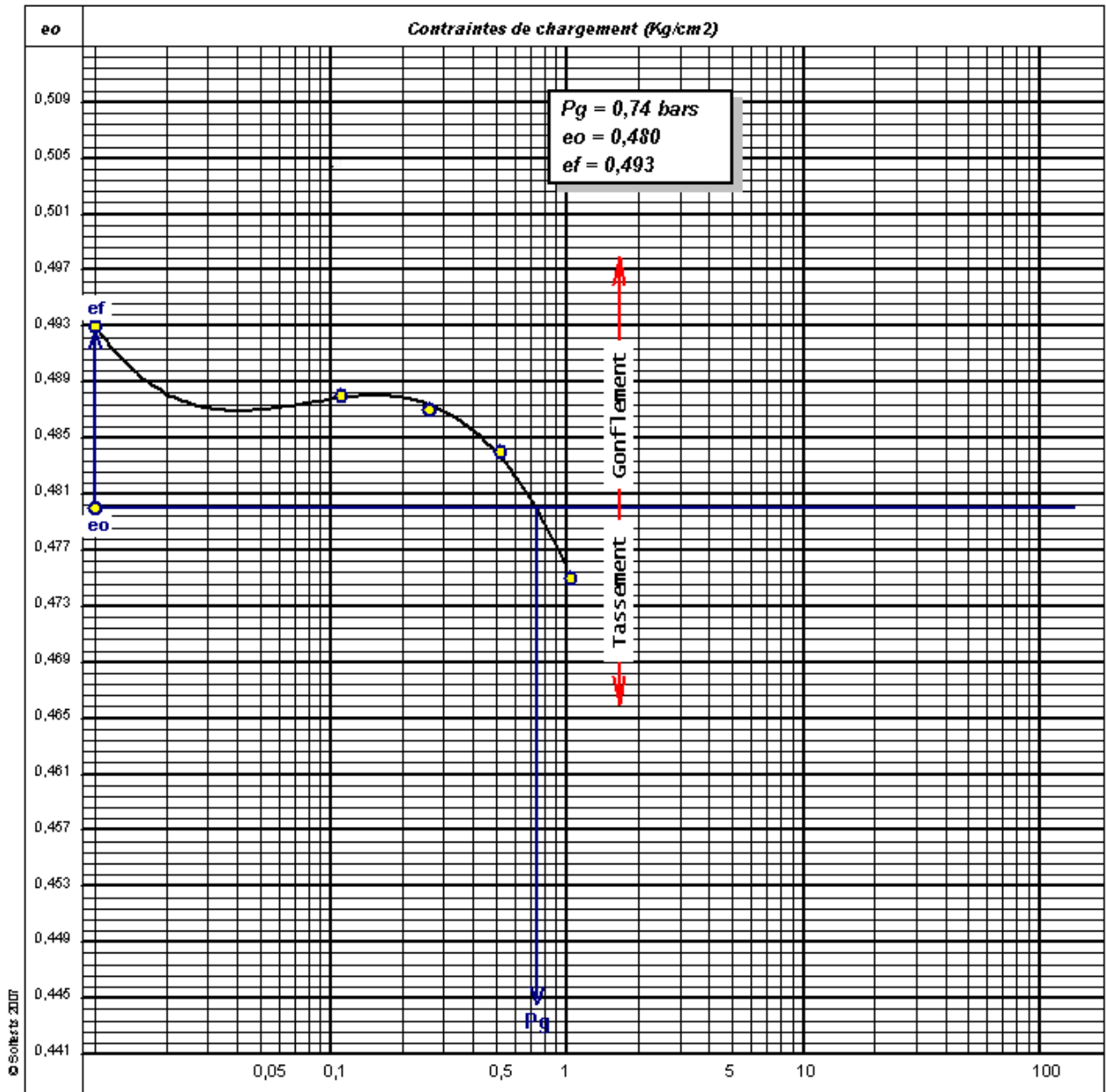


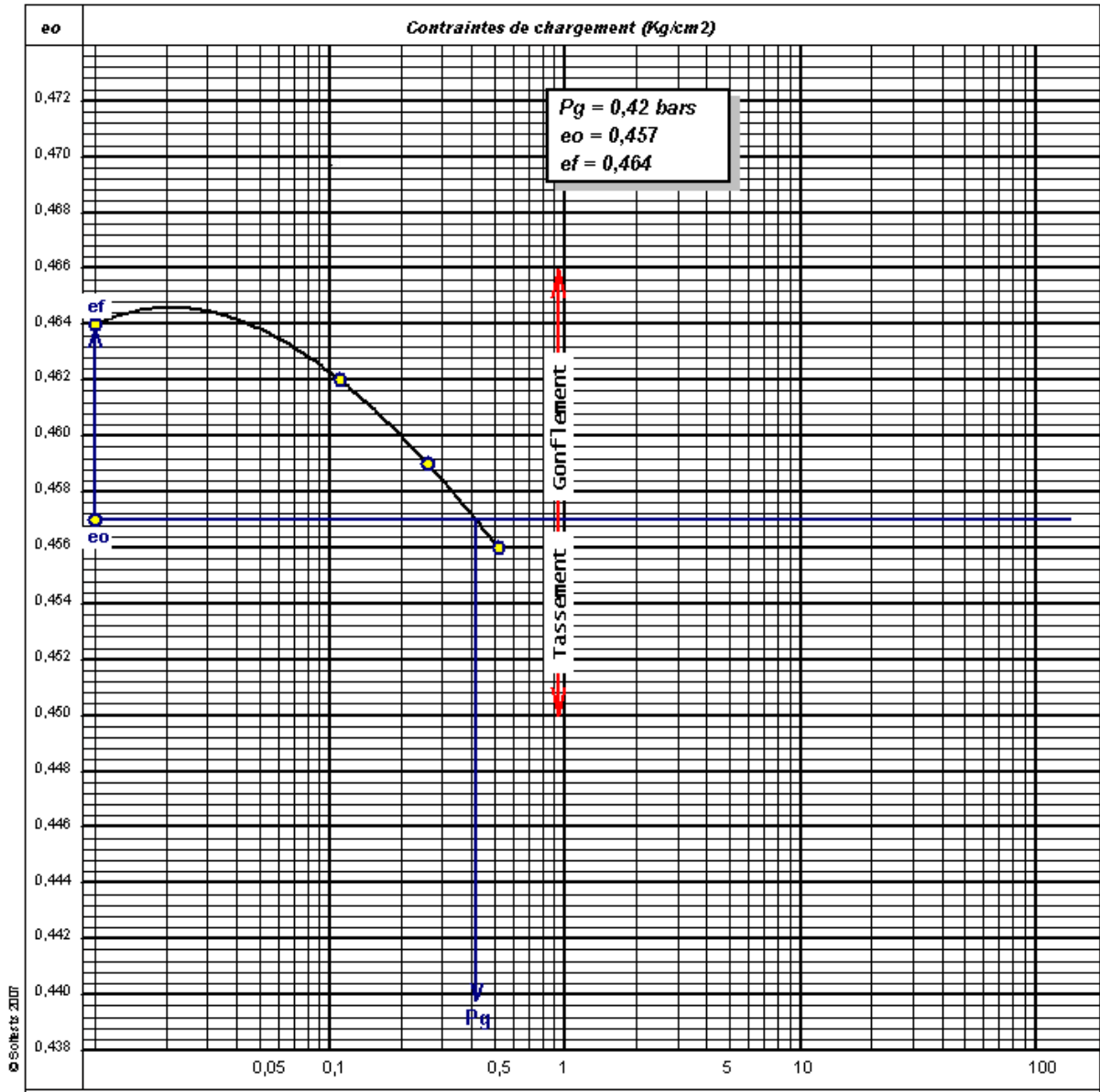
Figure N° 42: La courbe de gonflement libre sur le mélange optimal (2), en utilisant géotextiles

La prise de gonflement :  $P_g = 0,74$  bars.

**Commentaire :** Selon la figure (42), on remarque que le géotextile a permis de réduire le gonflement du mélange optimal (2) .

**Chapitres V : Présentation et analyse des résultats d'essais gonflement libre des mélanges optimaux. Sable de dune – Argile – traité au ciment et renforcé par géotextiles**

- Résultant de mélange optimaux ( 2 )+Ciment+ géotextiles.
- 2 % de Ciment + géotextiles :



**Figure N° 43: La courbe de gonflement libre sur le mélange optimaux (2), en utilisant géotextiles + 2% Ciment**

**La prise de gonflement :  $P_g = 0,42$  bars.**

- 4 % de Ciment + géotextiles :

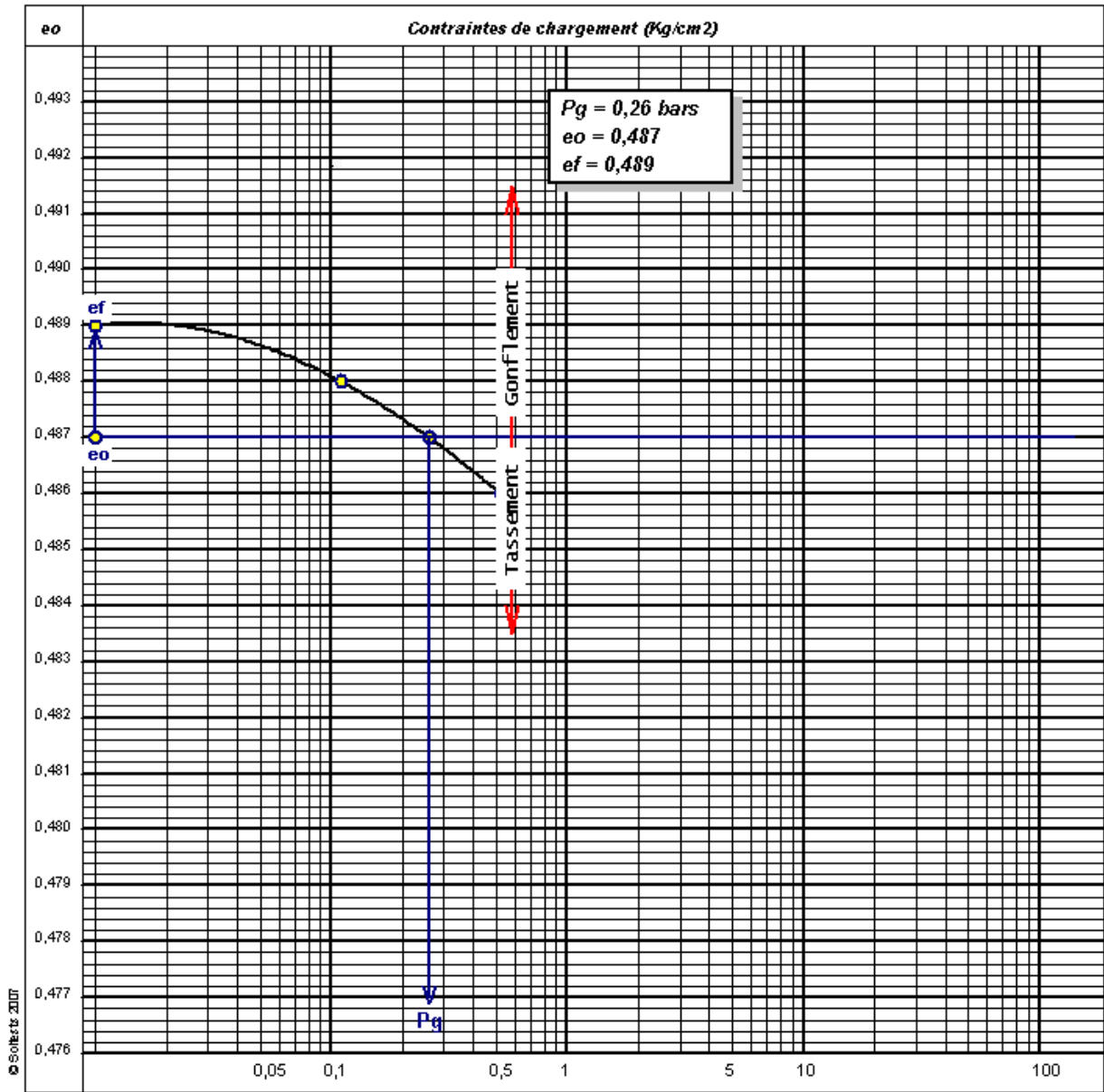


Figure N° 44: La courbe de gonflement libre sur le mélange optimaux (2), en utilisant géotextiles + 4% Ciment

La prise de gonflement :  $P_g = 0,26$  bars .



- 6 % de Ciment + géotextiles :

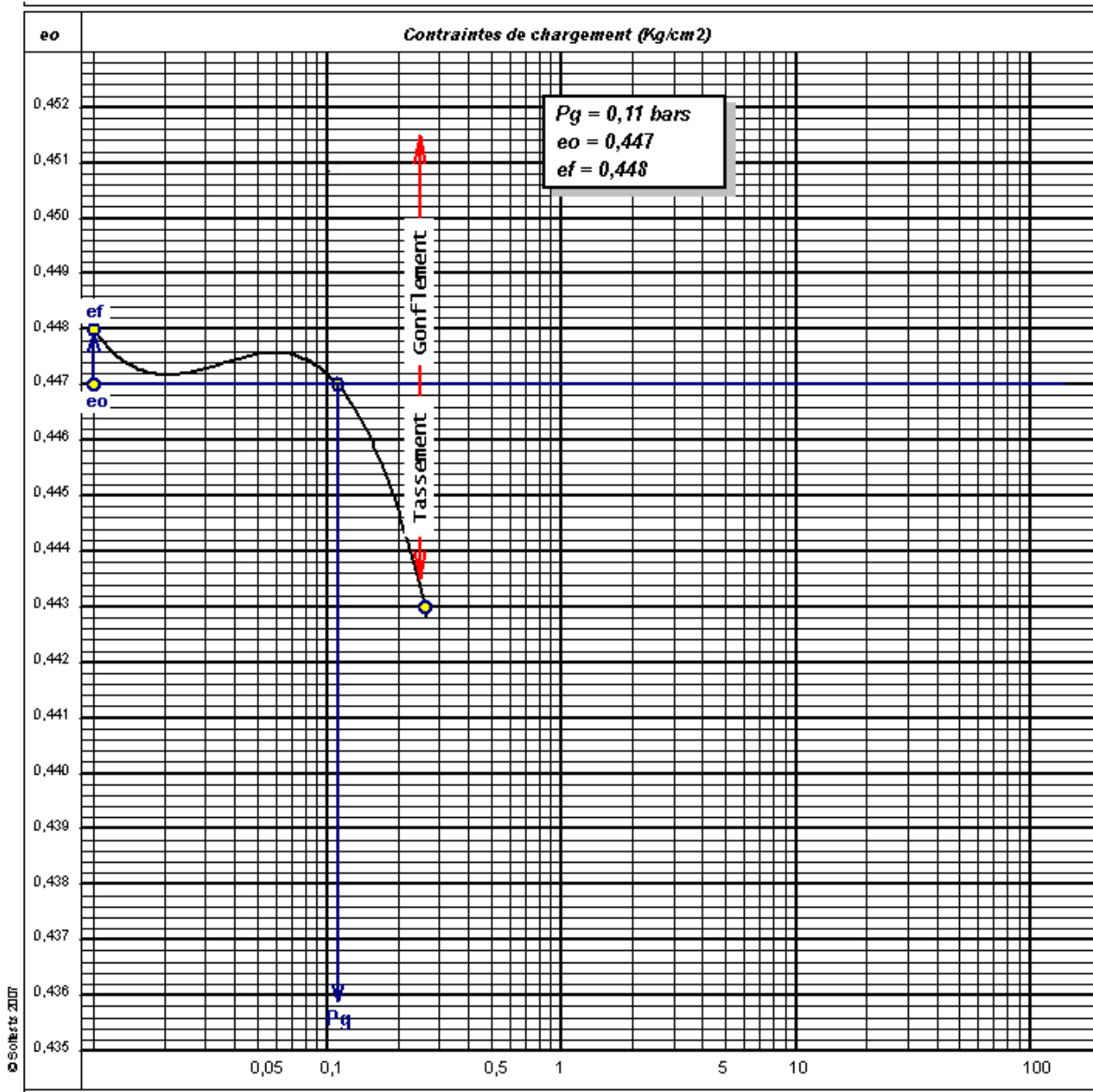


Figure N° 45: La courbe de gonflement libre sur le mélange optimal (2), en utilisant géotextiles + 6% Ciment

La prise de gonflement :  $P_g = 0,11$  bars .

**Commentaire:** A travers la figure ((34) (44) (45)), on remarque que le géotextile diminue légèrement l'efficacité du ciment à stabiliser le mélange optimal (2), mais ce mélange de ciment géotextile reste efficace et donne de bons résultats.

- Résultat de mélange optimaux ( 3 ) : ( 70 % Sable+30 % Argile de oeuud Nechou)

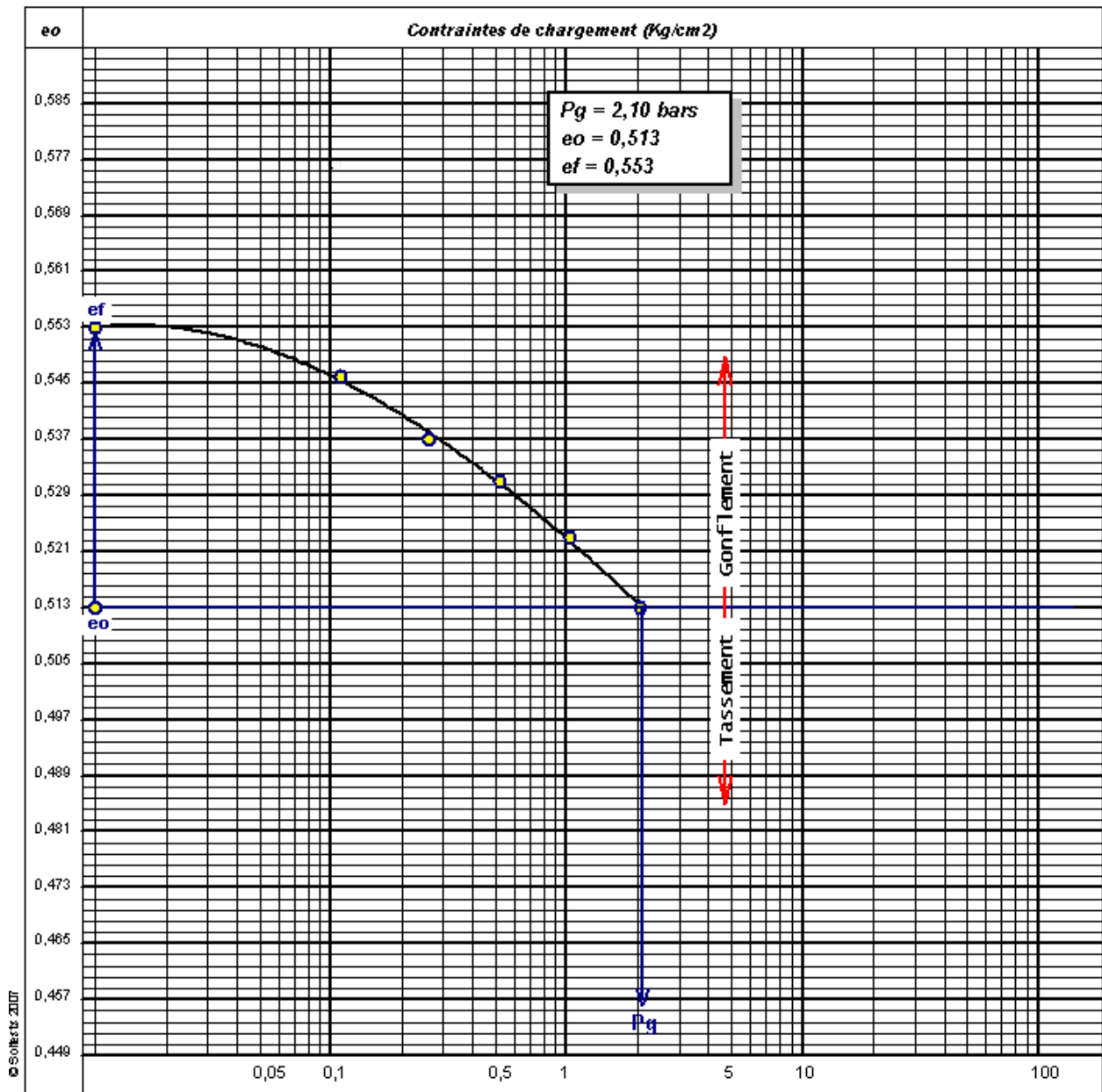


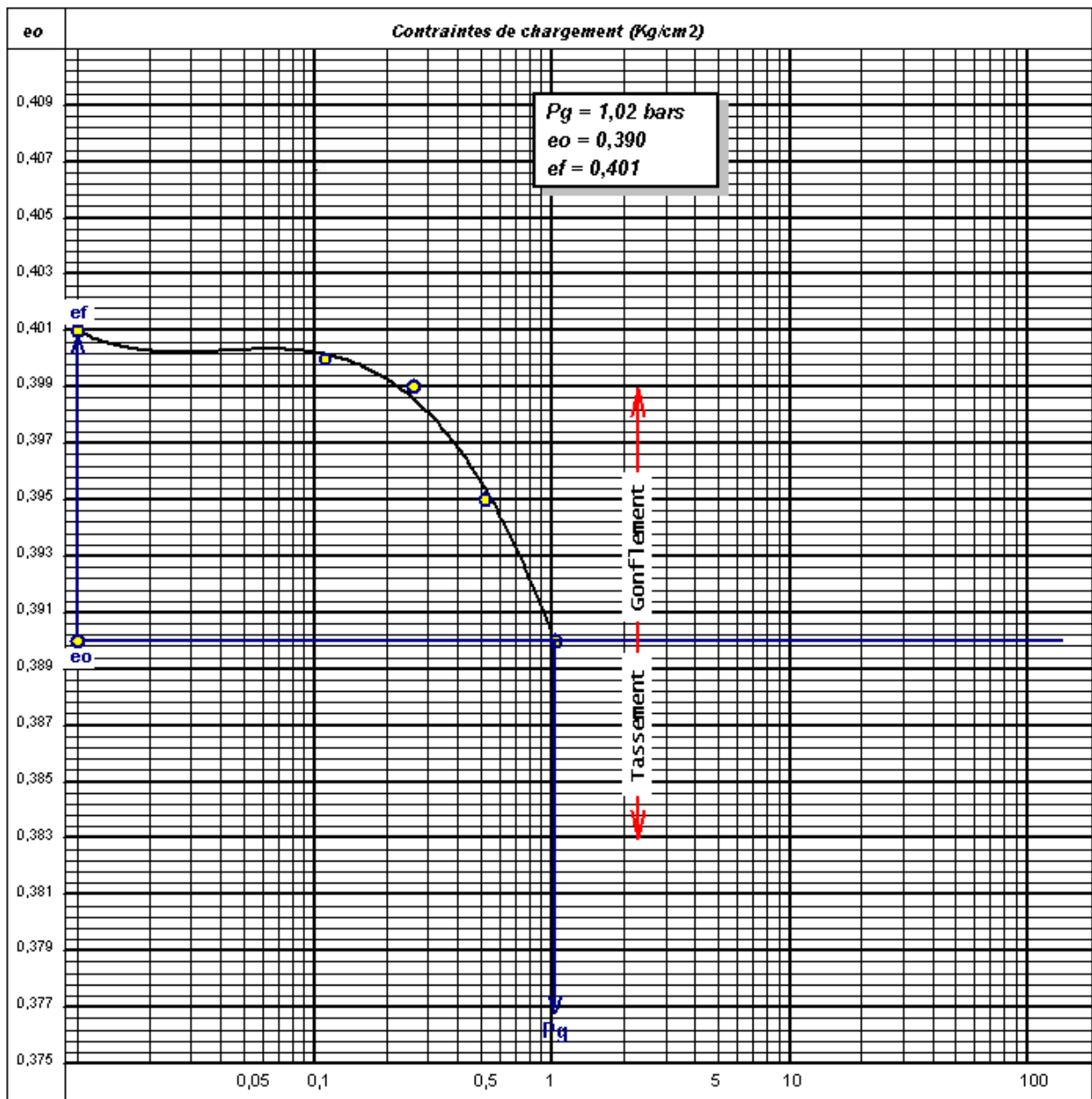
Figure N° 46: La courbe de gonflement libre sur le mélange optimaux (3)

Le poids de gonflement :  $P_g = 2, 10$  bars .

**Commentaire:** D'après ce que l'on voit sur la figure (46), le mélange optimaux (3) : ( sable +l'argile de oeuud Nechou) et très gonflé .

**Chapitres V : Présentation et analyse des résultats d'essais gonflement libre des mélanges optimaux. Sable de dune – Argile – traité au ciment et renforcé par géotextiles**

- Résultat de mélange optimaux ( 3 ) + Ciment :
- 2 % de Ciment.

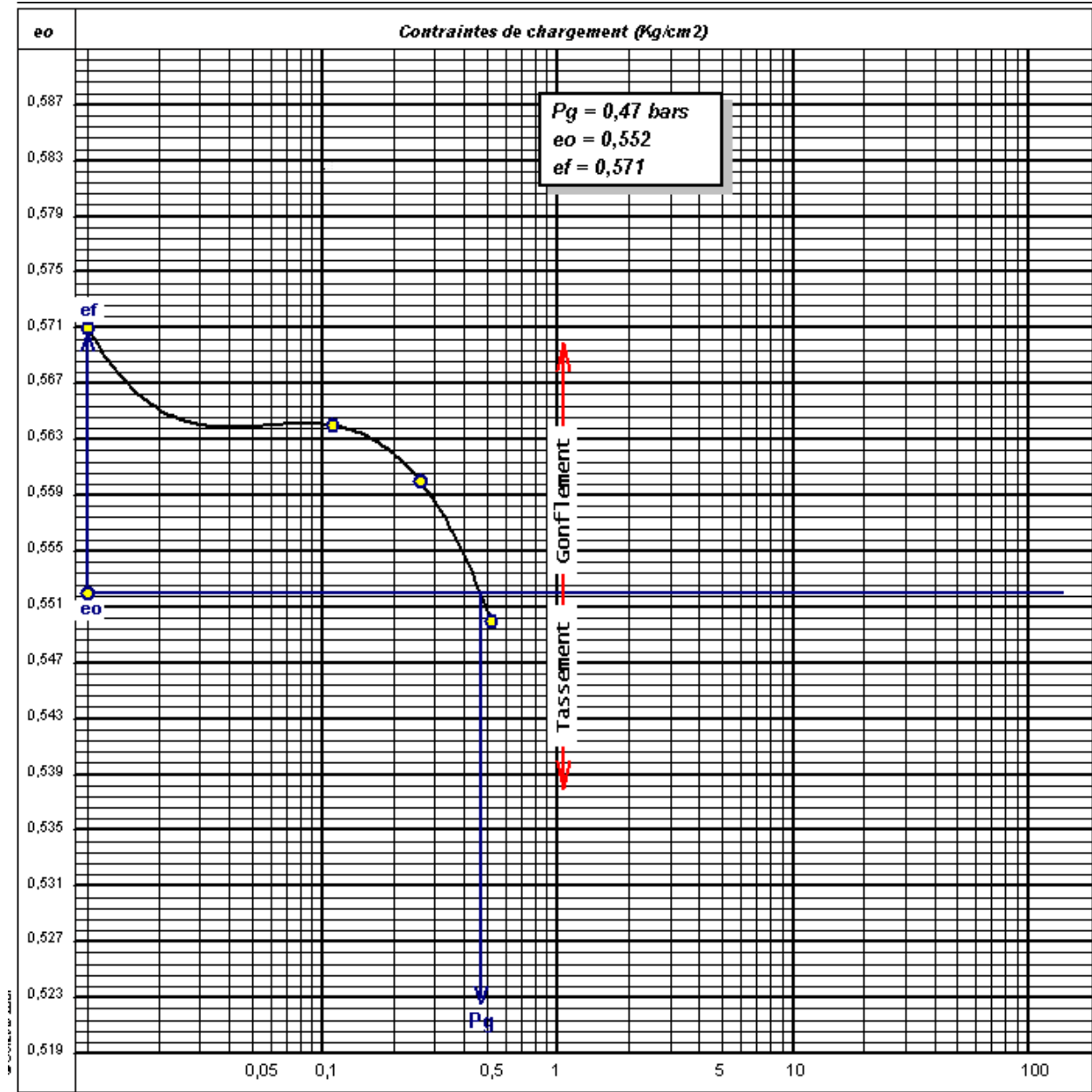


**Figure N° 47: La courbe de gonflement libre sur le mélange optimaux (3), en utilisant 2% Ciment.**

**La prise de gonflement :  $P_g = 1.02$  bars.**

**Chapitres V : Présentation et analyse des résultats d'essais gonflement libre des mélanges optimaux. Sable de dune – Argile – traité au ciment et renforcé par géotextiles**

- 4 % de Ciment.

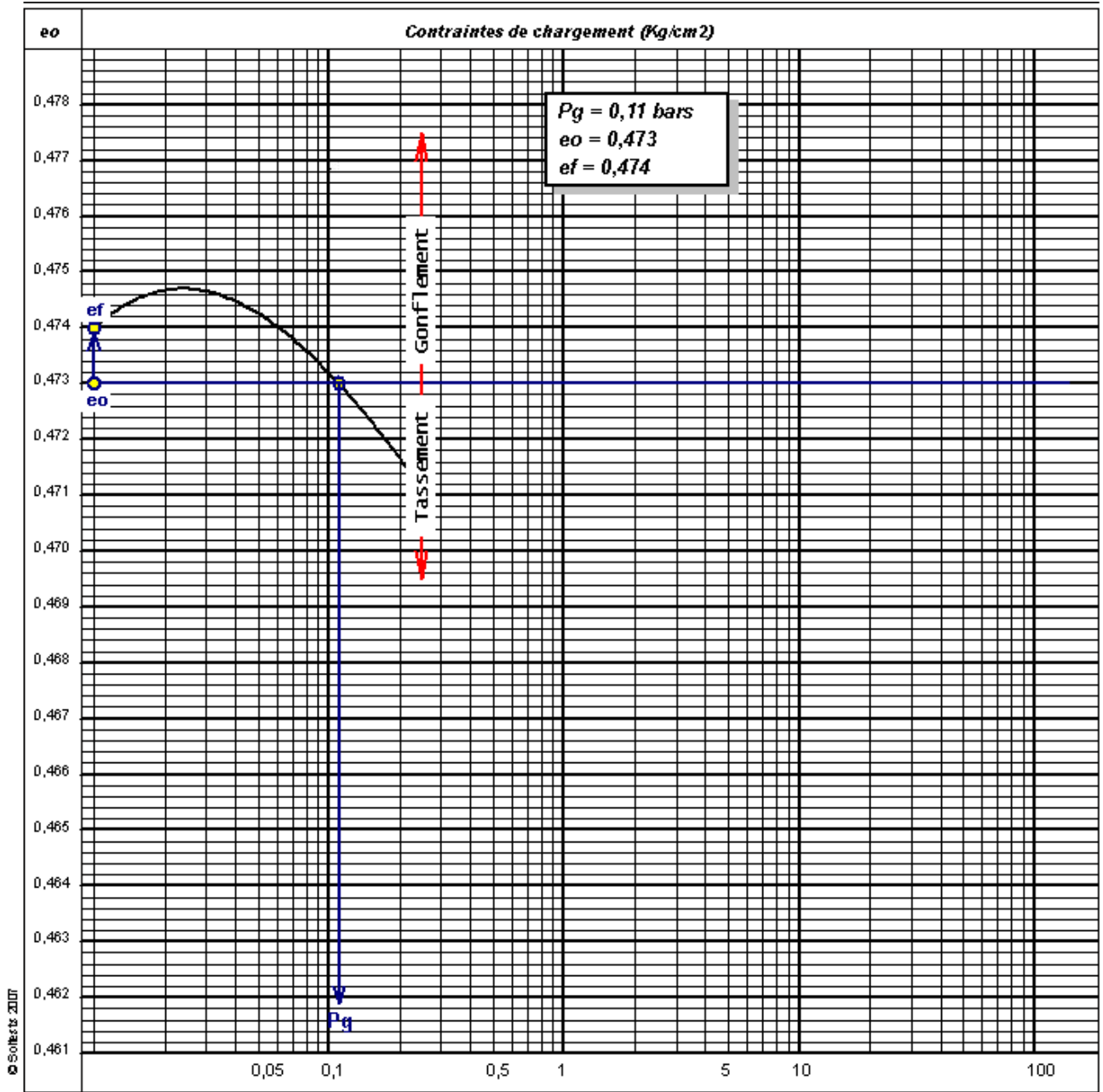


**Figure N° 48: La courbe de gonflement libre sur le mélange optimaux (3), en utilisant 4a% Ciment**

**La priseon de gonflement :  $P_g = 0,47 \text{ bars}$ .**

**Chapitres V : Présentation et analyse des résultats d'essais gonflement libre des mélanges optimaux. Sable de dune – Argile – traité au ciment et renforcé par géotextiles**

- 6 % de Ciment :



**Figure N° 49: La courbe de gonflement libre sur le mélange optimaux (3), en utilisant 6% Ciment**

**La prise de gonflement :**  $P_g = 0,11 \text{ bars}$ .

**Commentaire:** A travers les trois figures ((47) (48) (49)), on remarque qu'il y a une relation directe, plus on augmente la proportion de ciment, plus la stabilité du mélange optimal (3) augmente et plus le gonflement diminue,  $P_{g\ 2\%} < P_{g\ 4\%} < P_{g\ 6\%}$ .

- Résultat de mélange optimaux ( 3 ) + géotextiles :

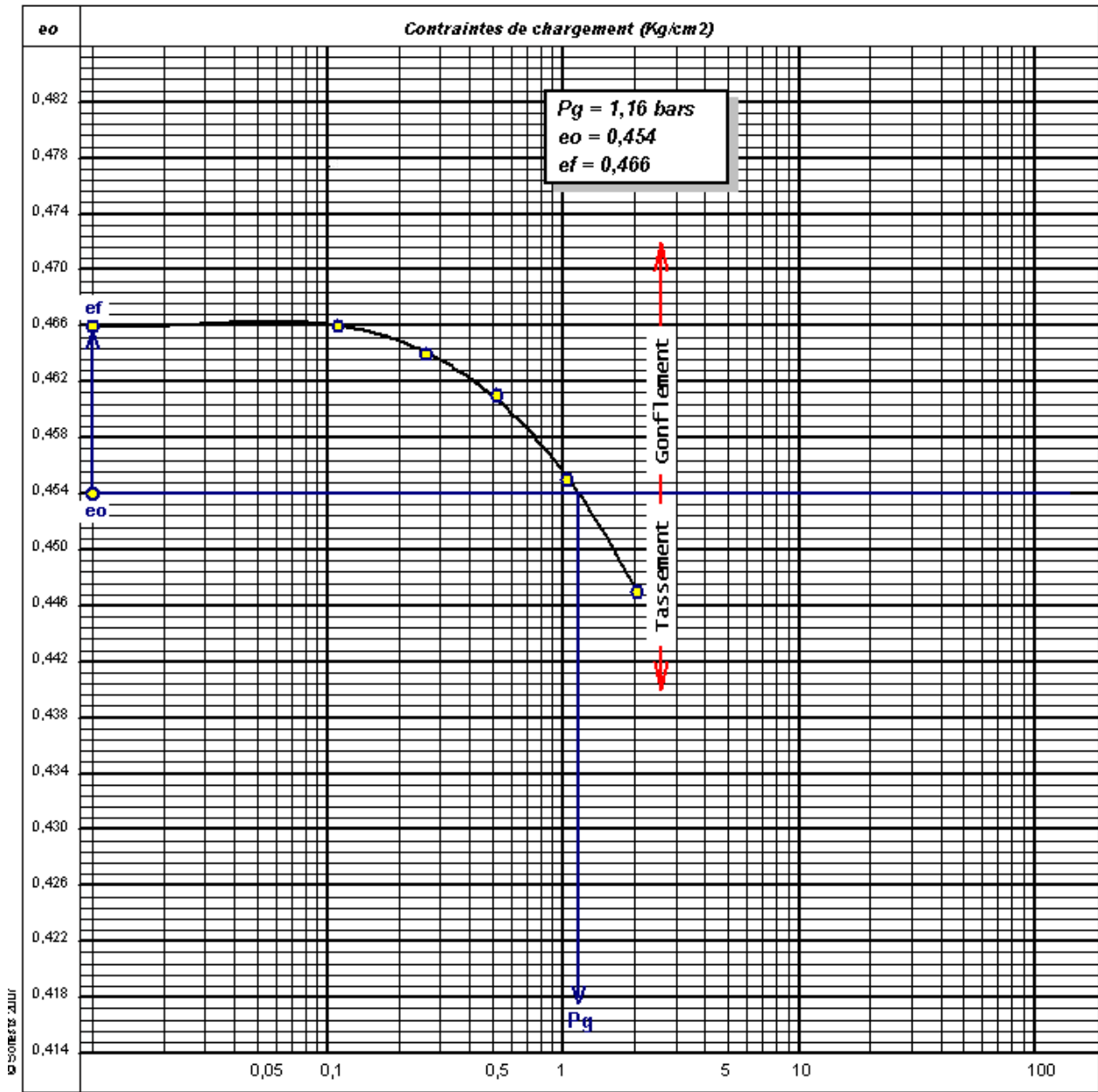


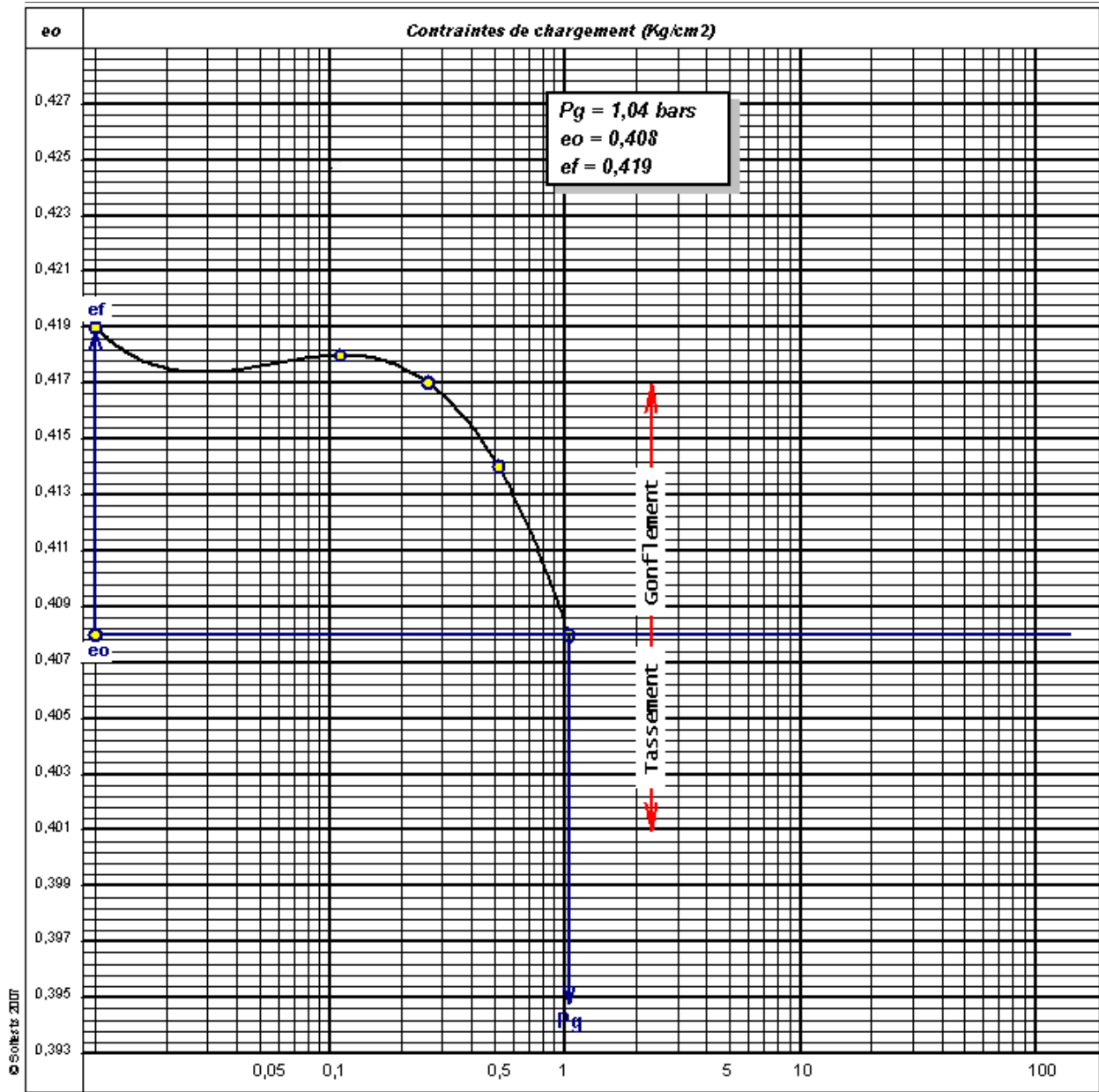
Figure N° 50: La courbe de gonflement libre sur le mélange optimaux (3), en utilisant géotextiles

La prisseon de gonflement :  $P_g = 1,16$  bars.

**Commentaire:** Selon la figure (50), on remarque que le géotextile a permis de réduire le gonflement du mélange optimal (3).

**Chapitres V : Présentation et analyse des résultats d'essais gonflement libre des mélanges optimaux. Sable de dune – Argile – traité au ciment et renforcé par géotextiles**

- Résultat de mélange optimaux 3 + Ciment+ géotextiles:
- 2 % de Ciment + géotextiles :

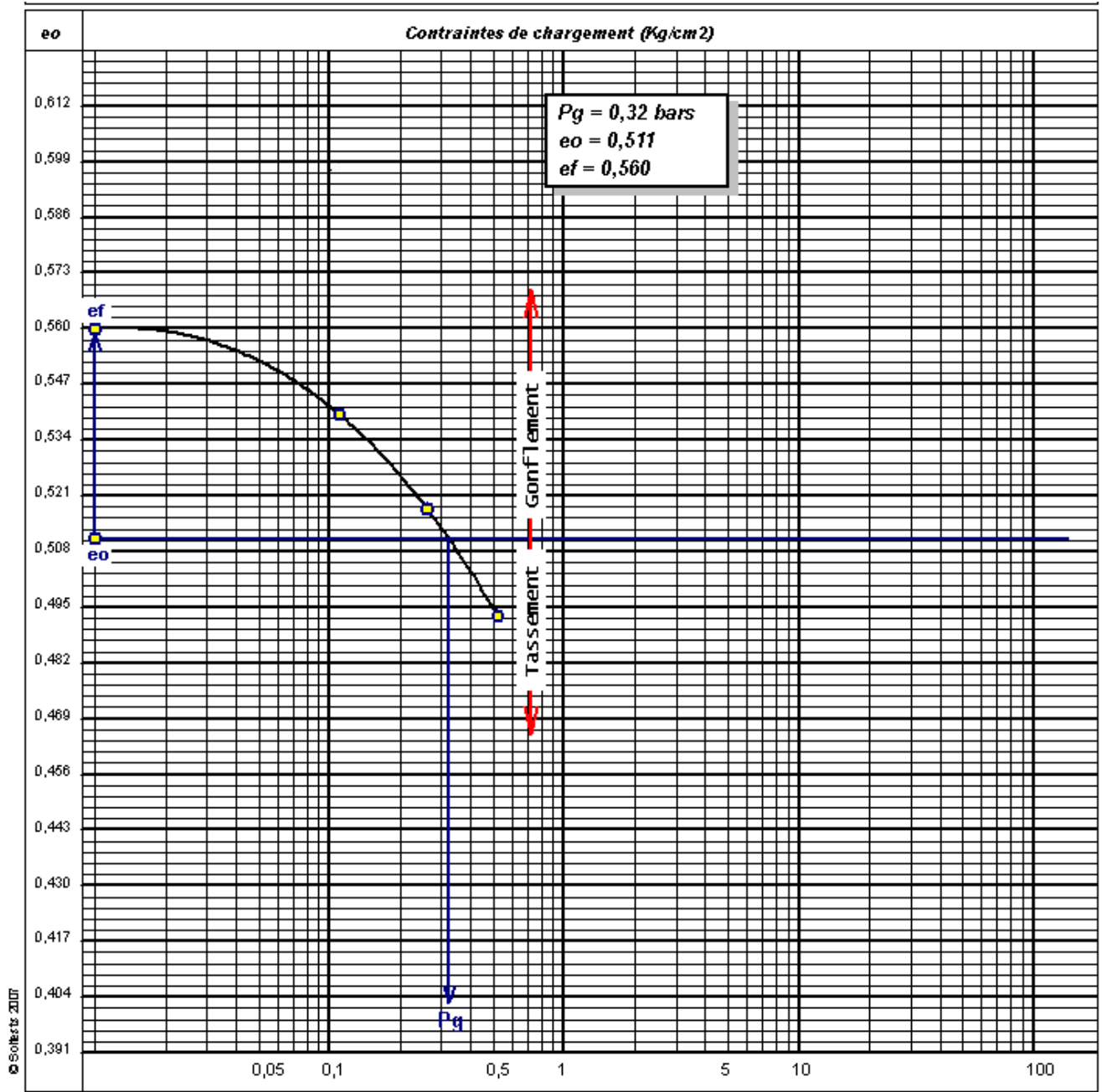


**Figure N° 51: La courbe de gonflement libre sur le mélange optimaux (3), en utilisant géotextiles + 2% Ciment**

**La prise de gonflement :  $P_g = 1,04$  bars.**

**Chapitres V : Présentation et analyse des résultats d'essais gonflement libre des mélanges optimaux. Sable de dune – Argile – traité au ciment et renforcé par géotextiles**

- 4 % de Ciment + géotextiles.



**Figure N° 52: La courbe de gonflement libre sur le mélange optimaux (3), en utilisant géotextiles + 4% Ciment.**

**La prise de gonflement :  $P_g = 0,32$  bars.**



- 6 % de Ciment + géotextiles.

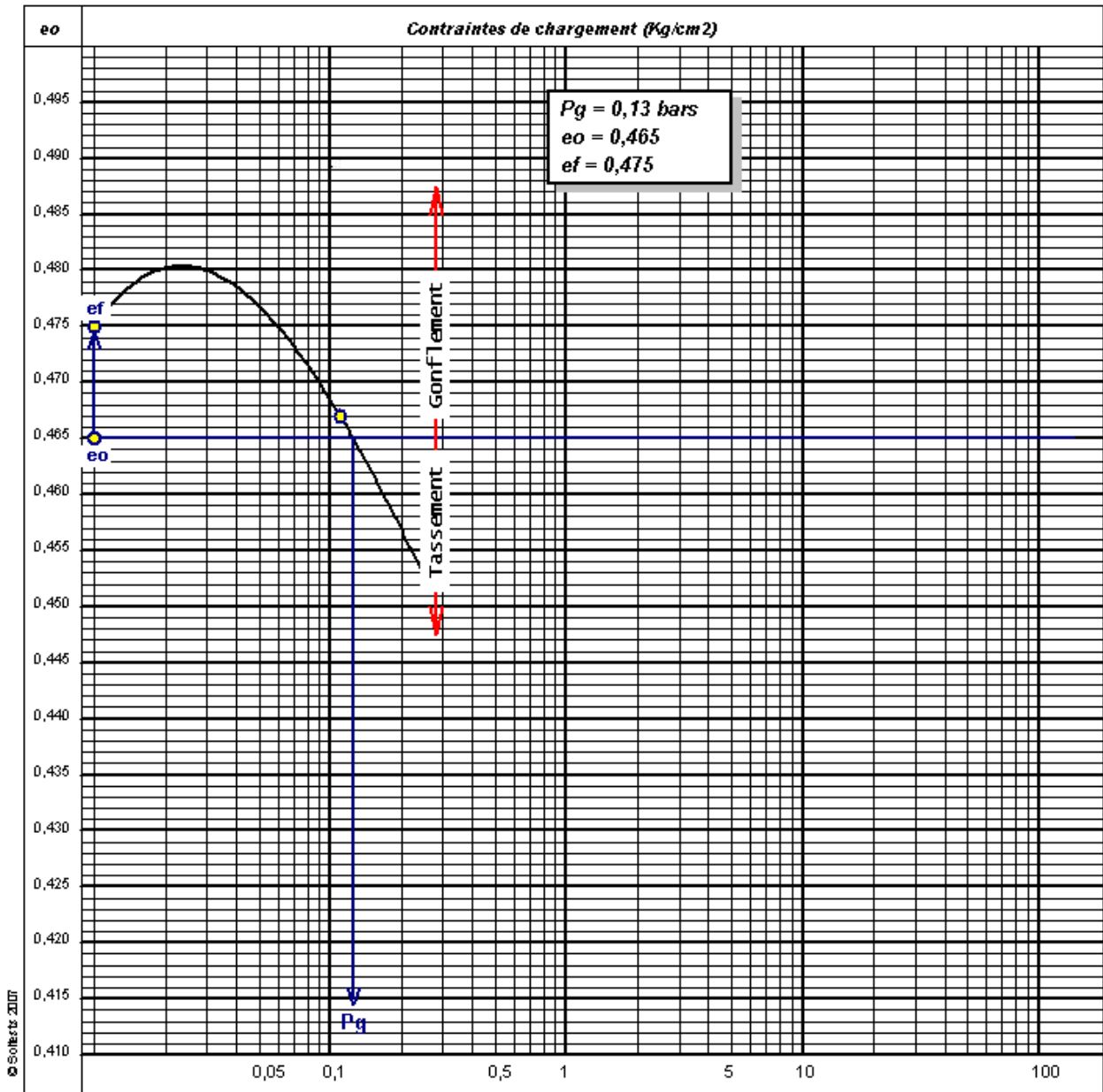


Figure N° 53: La courbe de gonflement libre sur le mélange optimal (3), en utilisant géotextiles + 6% Ciment

La prise de gonflement :  $P_g = 0,13 \text{ bars}$ .

**Commentaire:** A travers la figure ((51) (52) (53)), on remarque que le géotextile diminue légèrement l'efficacité du ciment à stabiliser le mélange optimal (3), mais ce mélange de ciment géotextile reste efficace et donne de bons résultats.

**Chapitres V : Présentation et analyse des résultats d'essais gonflement libre des mélanges optimaux. Sable de dune – Argile – traité au ciment et renforcé par géotextiles**

**Tableau N° 19: La Résultante de la Prisseon de gonflement libre Pg de mélange optimaux ( 70% Sable + 30% Argile )**

	Mélange optimale (1)	Mélange optimale (2)	Mélange optimale (3)
Pg ( bars )	<b>0, 19</b>	<b>0, 16</b>	<b>2, 10</b>

**Pg** : prisseon de gonflement .

- **Mélangeoptimaux(1)** : 70% Sable + 30 Argile de Metlili.
- **Mélange optimaux (2)** : 70% Sable + 30 Argile de Bouhraoua.
- **Mélange optimaux (3)** : 70% Sable + 30 Argile deecoud Nechou.

**Tableau N° 20: La résultante de la prisseon de gonflement libre Pg de mélange optimaux + Ciment.**

	Prisseon de gonflement : Pg ( bars )		
Ciment	Mélange optimaux (1)	Mélangeoptimaux (2)	Mélange optimaux(3)
2%	<b>0, 15</b>	<b>0, 15</b>	<b>1, 02</b>
4%	<b>0, 03</b>	<b>0, 13</b>	<b>0, 47</b>
6%	<b>0, 02</b>	<b>0, 11</b>	<b>0, 11</b>

**Tableau N° 21: La résultante de la prisseon de gonflement libre Pg de mélange optimaux + géotextiles**

	Prisseon de gonflement : Pg ( bars )		
	Mélange optimaux (1)	Mélange optimaux (2)	Mélange optimaux (3)
Géotextiles	<b>0, 17</b>	<b>0, 74</b>	<b>1, 16</b>

**Tableau N° 22: La résultante de la prisseon de gonflement libre Pg de mélange optimaux + Ciment + géotextiles**

	Prisseon de gonflement Pg ( bars )		
Géotextiles + Ciment	Mélange optimaux (1)	Mélange optimaux (2)	Mélange optimaux(3)
2%	<b>0, 13</b>	<b>0, 42</b>	<b>1, 04</b>
4%	<b>0, 11</b>	<b>0, 26</b>	<b>0, 32</b>
6%	<b>0, 11</b>	<b>0, 11</b>	<b>0, 13</b>

### **5) Conclusion**

Ce chapitre étudie l'effet de l'ajout de ciment, géotextile et ciment avec géotextile sur les propriétés physiques du mélange optimal ( 70% sable + 30% argile ).

- le ciment a donné une très forte efficacité de réduction du gonflement, par rapport au géotextile et au mélange de géotextile ciment.
- Et le mélange optimal le plus stable est le mélange optimal ( **1** ) par rapport aux mélanges optimaux ( **2** ) et ( **3** ) qui ont donné la plus grande valeur de gonflement.

## **Conclusion Général**

## Conclusion générale

Les mélanges sable/bentonite (S/A) sont fréquemment utilisés comme tuf de la couche de base et couche dans la construction de techniques routier, particulièrement en l'absence de sols naturels imperméables. L'essai de gonflement libre qui permet de déterminer les paramètres de gonflements tels que (pression, amplitude et taux de gonflement) sur trois mélanges optimaux destinés pour les couches d'assise.

Ce travail a permis d'étudier expérimentalement, pour de gonflement libre des trois mélanges optimaux sable-argile (30%). L'argile ou le marne utilisée dans les mélanges vient de (Bouhraoua, d'Oued Nechou,) et de sable de dune de sable (région de Ghardaïa).

Une première partie concernant le sol non traité et non renforcé, qui comporte les essais pour de gonflement libre, pour un seul paramètre (pression de gonflement).

Une deuxième partie portant sur le sol traité et renforcé à différents ajouts de matériaux, ciment (type CPJ 42,5) à différentes proportions de ciment portland dans des teneurs allant de (02,04,06 %) à chaque mélange optimal, puis ces trois mélanges optimaux renforcés par Géotextile (type non tissé GEO AS30) d'acheté à l'entreprise de AFITEX, et finalement les trois mélanges optimaux traités et renforcés par le ciment – Géotextile (02,04,06 %).

Les principaux résultats expérimentaux montrent que les essais de cisaillement que à retenir de la série d'essais menés sur les deux mélanges sont :

### **1. Résultats pour les deux mélanges optimaux pour l'essai de gonflement libre Sur un seul paramètre pression de gonflement**

- les résultats montrent que une augmentation pour le mélange 1 ( $P_g = 0,19$  Mpa) mieux que le mélange 2, ou mélange 3 ( $P_{g2} = 0.16$ ,  $P_{g3} = 2.1$ ) Mpa

### **2. Résultats l'essai de gonflement libre pour des mélanges 1, et 2 et 3 avec ciments à différents pourcentage (02 et 04 et 06%):**

- les résultats montrent que une augmentation pour le mélange 1 à différents pourcentage ( $P_{g2\%} = 0.15$ ,  $P_{g4\%} = 0.03$ ,  $P_{g6\%} = 0.02$  Mpa) pour le mélange 1 montrent que l'ajout de de 6 % de ciment provoque une augmentation de la résistance au gonflement ( $P_{g6\%} = 0.02$  Mpa)
- les résultats montrent que une augmentation pour le mélange 2 à différents pourcentage ( $P_{g2\%} = 0.15$ ,  $P_{g4\%} = 0.13$ ,  $P_{g6\%} = 0.11$  Mpa) pour le mélange 2 montrent que l'ajout de de 6 % de ciment provoque une augmentation de la résistance au gonflement ( $P_{g6\%} = 0.11$  Mpa),
- les résultats montrent que une augmentation pour le mélange 3 à différents pourcentage ( $P_{g2\%} = 1.2$ ,  $P_{g4\%} = 0.47$ ,  $P_{g6\%} = 0.11$  Mpa) pour le mélange 2 montrent que l'ajout de de

## Conclusion générale

---

6 % de ciment provoque une augmentation de la résistance au gonflement (  $P_{g6\%} = 0.11\text{Mpa}$  ),

### 3. Résultats l'essai de gonflement libre pour des mélanges 1 , et 2 et 3 ajout de géotextile ;

- les résultats montrent que une augmentation pour le mélange 1 que l'ajout géo provoque une augmentation de la résistance au gonflement (  $P_g = 0.17\text{Mpa}$  ),
- les résultats montrent que une augmentation pour le mélange 2 que l'ajout géo provoque une augmentation de la résistance au gonflement (  $P_g = 0.47\text{Mpa}$  ),
- les résultats montrent que une augmentation pour le mélange 3 que l'ajout géo provoque une augmentation de la résistance au gonflement (  $P_g = 1.16\text{Mpa}$  ),

### 4. Résultats l'essai de gonflement libre pour des mélanges 1 , et 2 et 3 ajout de géotextile –ciment ;

- les résultats montrent que une augmentation pour le mélange 1 a géo et différents pourcentage ( $P_{g2\%} = 0.13$ ,  $P_{g4\%} = 0.11$ ,  $P_{g6\%} = 0.11\text{Mpa}$ ) pour le mélange 2 montrent que l'ajout de de 6 % de ciment provoque une augmentation de la résistance au gonflement (  $P_{g6\%} = 0.11\text{Mpa}$  ),
- les résultats montrent que une augmentation pour le mélange 2a géo différents pourcentage ( $P_{g2\%} = 0.42$ ,  $P_{g4\%} = 0.26$ ,  $P_{g6\%} = 0.11\text{Mpa}$ ) pour le mélange 2 montrent que l'ajout de de 6 % de ciment provoque une augmentation de la résistance au gonflement (  $P_{g6\%} = 0.11\text{Mpa}$  ),
- les résultats montrent que une augmentation pour le mélange 3 a géo différents pourcentage ( $P_{g2\%} = 1.04$ ,  $P_{g4\%} = 0.32$ ,  $P_{g6\%} = 0.13\text{Mpa}$ ) pour le mélange 2 montrent que l'ajout de de 6 % de ciment provoque une augmentation de la résistance au gonflement (  $P_{g6\%} = 0.13\text{Mpa}$  ),

## **Bibliographies**

## Bibliographies

---

- [1]:**Balhachemi Sarra.** "La valorisation de sable de dune (sable de Naama) Durabilité et comportement mécanique". Universitaire Belhadj Bouchaïb d'Ain T'émouchent. Mémoire magister.p.48.49.
- [2]:**Boudjemaa Yamina & Djilani Souad.** "Micro-Béton à base de sable mixte ( sable de dune et Sable concassées ) avec poudre de marbre et adjuvant ". Université Mohamed BOUDIAF. M'sila 2018/2019.
- [3]: **Ben ouakhir Abdel Hakim."** Utilisation du sable de dunes en technique routière Etude bibliographique". Université Khider Mohamed a- Biskra. Mémoire magister.p.35.36.
- [4]: **ARDJANI KAMEL."**Caractérisation d'un mortier à base de sable de dune avec caoutchouc". Université 8 Mai 1945 Guelma. Mémoire magister.p.15.
- [5]: **SOUILMI Samiha."** Etude des caractéristiques physicochimiques du sable des dunes (cas sites d'Adrar)". Université Ahmed Draïa Adrar. Mémoire master .p.5.
- [6]: **GUENDOZ MOHAMMED ZAKARYA."** Etude de l'Adsorption de FER (Fe<sup>3+</sup>) en Solution Aqueuse sur Kaolin". Université Larbi Ben M'hidi (OUM EL BOUAGHI).mémoire master.p.14.
- [7]:**Djoudi A.KEDJAH A.RAOUF(2015)."**Stabilisation des sols gonflants".Université SOUK AHRAS- Master en Géotechnique.
- [8]: **KHEMISSA Mohamed.** Détermination des modules de déformation d'une argile expansive reconstituée à faible énergie de compactage. Université Mohamed Boudiaf - M'sila. Présenté pour l'obtention d'un diplôme de Master.p.9.
- [9]: **M. HATTAB.** Approche Multi-échelle et Multi-physique du comportement des argiles. Master civil Parcours CMGS.p.10
- [10]: **Frédéric BULTEL. (2001)."** Prise en compte du gonflement des terrains pour le dimensionnement des revêtements des tunnels" .Thèse pour obtenir le grade de Docteur de l'école nationale des ponts et chaussées. p.10.
- [11]:**Melle Djefal Lemya."**élimination par adsorption sur argil locale, des ions métalliques contenus dans les eaux de rejet industriel de la région de Annaba". Mémoire magister.
- [12]: **Lakhdar MEKKI. (2018)."** Comportement d'une argile expansive fortement sur consolidée". Thèse Présentée pour l'obtention du diplôme de Doctorat en sciences.p.7.
- [13]: **Abdelhadi EL HACHMI."** Argile et minéraux argileux: propriétés physico-chimiques et propriétés et propriétés colloïde".Université Abdelmalek Essaadi.mémoire magister.p.18
- [14]: **Armines – Centre de Géosciences :** Roger Cojean, Martine Audiguier, Zemen Geremew, Saoussen Laribi, Isabelle Thévenin Ecole des Ponts Paris Tech – UR Navier – Géotechnique : Yu-Jun Cui, Anh-Minh Tang, An-Ninh Ta CSTB : Jean-Vivien Heck, Nicolas Taillefer UPE-MLV/OTIG : Benoît Desfontaines, Frédéric Kaveh, Bénédicte Fruneau.



## Bibliographies

---

- [15]:**Torchi Souhila Chennoufi.** "Effet de l'activation chimique de la montmoullonte sur la potocatalyse des colorants". Université de Biskra. Mémoire magister.
- [16]:**Boukhatem Sabrin.** "Etude de l'élimination d'un pesticide en solution aqueuse par un argil organophile". Université Abdlhamid Ben Badis-Mostganem.
- [17]:**Camille Truche(2010).**" Caractérisation et quantification des minéraux argileux dans les sols expansifs par spectroscopie infrarouge aux échelles des laboratoires et du terrain" Thèse Doctorat De l'université De Toulouse.p.57.
- [18]: **Ann.agron.1975.26 (4).**"Principes de détermination qualitative des minéraux argileux a l'aide des rayons X" .p.364.365.
- [19]:**F.X .DELOYE. (1930).**"Analyse minéralogique Application aux bétons ducris en liaison avec la pérennité des ouvrages "laboratoire central des ponts et chaussées.P.12.
- [20]: **Frédérique BARDOT.**" Les minéraux argileux et leur hétérogénéité superficielle : Influence de la nature des cations compensateurs de l'illite sur les mécanismes d'adsorption de gaz" Thèse présentée à Laboratoire environnemental et minéralurgie, UMR 7569 l'Institut National Polytechnique de Lorraine pour l'obtention du titre de Docteur de l'LN.P.L.P.32.
- [21]Boumediene: **AISSIOU Fatma Zohra:**" Étude du phénomène de gonflement d'un sol argileux " .Univerite des sciences et de la technologie Houari Mémoiremagister.p.15-16.
- [22]: **JHossein nowamooz.** Institut national polytechnique de lorraineretrait/gonflement des sols argileuxCompactes et naturels 19 decembre 2007
- [23]: **Balhachemi Sarra.** "La valorisation de sable de dune (sable de Naama) Durabilité et comportement mécanique". Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain T'émouchent. Mémoire magister.p.48.49.
- [24]: **Robin Hopkins (2022).**" Types De Dunes De Sable.
- [25]: **ARDJANI KAMEL.**"Caracterisation d'un mortier à base de sable de dune avec caoutchouc ". Université 8 Mai 1945 Guelma. Mémoire magister.p.15.
- [26]: **SOUILMI Samiha.**" Etude des caractéristiques physicochimiques du sable des dunes (cas sites d'Adrar)". Université Ahmed Draïa Adrar. Mémoire master .p.5.
- [27]: **Ben ouakhir Abdel Hakim:**" Utilisation du sable de dunes en technique routière Etude bibliographique". Université Khider Mohamed a- Biskra. Mémoire magister.p.35.36.

## Bibliographies

---

[22]: **Jean-François SERRATRICE.**" Les essais de gonflement". Laboratoire régional des Ponts et Chaussées d'Aix-en-Provence.P.65

[23]: **MEDJNOUN Amal.**" Caractérisation et estimation du gonflement des argiles algériennes, cas des argiles de Médéa".Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.p.5.

[24]: **Mansouri Fatima Zohra.**" Amélioration, Stabilisation et renforcement d'argile d'Adrar. Université Ahmed Draia Adrar. Mémoire master 8.

[25]:**BEKHOUCHE Hizia.** "Traitement par le ciment des sols gonflants non saturés (cas le région des Aurès)"Université Batna 2-Mostefa ben Boulaid. Thèse doctorat p.18.

[26]: **BOUCHRA SIRADJ & SAMIRA HAMZA** " Eude de la stabilisation au gonflement d'un sol argileux par l'ajout de sable de dune . Université de GHARDAÏA 2016/2017.

[27]: **KANDLI Ramande.**" Etude Théorique de Phénomène de Gonflement et Leur Stabilisation Application à la Région d'In Amenas". Université d'ADRAR. Thèse master.p.23\_24.

[28]: **BEKHITI Melik.**" Contribution théorique et expérimentale à l'étude de stabilisation des argiles gonflantes par ajout de granulats de caoutchouc des pneus usagés. Université Djilali Liabès.Thèse doctorat.p.16.

[29]: **Melle. BENBAYER Chahinez.**" NANOCOMPOSITES A BASE D'ARGILE ET DE SURFACTANTS POLYMERISABLES (SURFMERS) Synthèse et propriétés". Université d'Oran Es-Senia.Thèse Doctorat.p.28

[30]: **DERAFA Garmia.**" nthese et caractérisation de montmorillonite modifiée : Application à l'adsorption des colorants cationiques". UNIVERSITE FERHAT ABBAS- SETIF-1.Thèse magister p.22.23.

[31]:**Fary DIOME.**"Rôle de la structure du sol dans son fonctionnement hydrique Sa quantification par la courbe de retrait.Université Cheikh Anta Diop de Dakar.p.4

[32]:**Bahia LOUAFI.**"Etude des mecanismes physique de la stabilisation des sols expansifs par additifs à aspect inerte.Université hawari Boumadian.p.32.33.

## Bibliographies

---

[33]: **AMIEUR Abdenacer.** "Contribution à l'étude de gonflement des argiles en fonction de la nature d'eau (eau potable, eau drainage et eau usée). Université KASDI MERBAH. Mémoire Magister 29.

[34]: **Fatima Zohra AZZOUZ.** "Contribution à l'étude de la stabilisation chimique de quelques argiles gonflants de la région de Tlemcen". Université Abdou Bekr Belkaid. Mémoire Magister .p31.

[35]: **KHENNOUF Abdelaziz.** " Modélisation du comportement des fondations superficielles dans un massif de sol gonflant, cas de la région de Sefiane" Thèse doctorat 3 ème Cycle LMD. Université Batna 2 – Mostefa Ben Boulaïd. P 31.

[36]: **BENAISSA Mohamed.** " Étude expérimentale sur la stabilisation des sols gonflants de la région de Mostaganem et de Relizane". Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem. Thèse Magister. p.44.

[37]: **Hossein NOWAMOOZ.** " Retrait/Gonflement des sols argileux compactes et naturels". École Nationale Supérieure de Géologie Laboratoire Environnement, Géo mécanique & Ouvrages École Doctorale 22.

[38]: **BELLATRACHE Youcef.** " Comportement des argiles naturelles et traitées d'Ain Amenas en fonction de la teneur en eau". Université Kasdi Merbah – OUARGLA. Mémoire magister 29.

[39]: **Dègnimassoun Bertrand Edgar GBAFFONOU.** " Étude de la compressibilité à l'oedometre des sols argileux intacts de la région Ouest de la dépression de la Lama : commune de houeyogbe". Université D'Abomey-Calavi. Mémoire magister P 47.

[40]: **MISSOUM Touatia.** " Stabilisation avec la chaux d'un sol gonflant reconstitué au laboratoire". Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem. Thèse master (2020). p38.

[41]: **ESPUÑA USAN, Gerard (2010).** " Analyse du phénomène de retrait gonflement des milieux argileux: impact environnemental et impact de la sécheresse sur le bâti. Université de catalunya. P 19.

[42]: **BOUDJABI. Issam.** " Stabilisation des sols fin par ajouts de sable ". Université L'ARBI BEN M'HIDI Oum EL BOUAGHI. Mémoire master. P 9.

## **Bibliographies**

---

- [43]: **PORTER A CONNAISSANCE COMMUNAI** (2011)." Retrait-gonflement des sols argileux".
- [44]: **BONTOUCHE SILYOUNA** " stabilisation d'un sol argileux par traitement à la chaux et au ciment " Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou 2017/2018.
- [45]: **ZAYNEB BELABBACI** "Stabilisation des sols gonflants " université Aboubekr Belkaïd Tlemcen. Novembre 2014.
- [46] : **KELANEMER & ABOUBEKR** " Stabilisation du gonflement à la chaux au appliquée aux couches forme chaussées routiers " Université M'Hamed Bougara Boumerdes 2015/2016.
- [47]: **BOUDJABLISSAM** " Stabilisation des sols fin par ajouts de sable Universités L'arbi Ben M'hidioum El Bouaghi 2019/2020.
- [48]: **ALSO, E .E.& DELAGE, P**,1975. Etude en laboratoire dugonflement de l'argile de la Flandres. Thèse de doctorat, école centrale de Lille
- [49]: **Lautrin.D.** (1987). «Une procédure rapide d'identification des argiles». Bulletin L.C.P.C, N° 152, p.76.
- [49]: **MATEO, M.**, 1964. Recherches sur la stabilisation des sols par la chaux en les cendres volantes. Publié dans les comptes-rendus du congrès, Madrid, Espagne.
- [50]: **NALBANTOGLU, Z. & GUCBILMEZ, E.**, 2002.Utilization of an Industrial Waste in Calcareous Expansive Clay Stabilization. Geotechnical Testing Journal, Vol. 25, pp. 78-84.
- [51] : **Association Française de normalisation.** « Ciments et chaux », Paris, Afnor, 2003
- [52]: **Ecole d'Avignon.** « Technique et pratique de la chaux », Paris, Eyrolles, 2003
- [53]: **Farah LAZZALI.** « Contribution à l'étude de la stabilisation d'un sol gonflant (bentonite) par apport de chaux, thèse de magister, université des sciences et de technologie Houari Boumediene, 1997
- [54]: **Hugo HOUBEN, Hubert GUILLAUX.** « Traité de construction en terre », Parenthèses, Juin 1995.
- [55] : **MOTASEM AHMED TOS & HADJADJ TAYEB** "Caractérisation d'une argile expansive traitée par différents types de ciment et reconstituée à forte énergie de compactage Université Mohamed Boudiaf - M'SILA

## Bibliographies

---

- [56] : **BENSALEM Ahmed**.caractérisation et exploitation de l'argile debenazzouz dans la construction routière. Thèse pour l'obtention du Diplôme de Magister Option Géotechnique.université badjimokhtar-annaba. année 2010
- [57] : **Chenini Mohamed Zouhir &Bellahcene Tahar** " Étude de un comportement mécaniques d'un mélange sable de dune et argile de wilaya Ghardia renforcer géotextiles. Université Ghardia 2020/2021
- [58] : **AFNOR, 1996. Sols : reconnaissance et essais - Analyse granulométrique -Méthode par tamisage à sec après lavage.NF P 94-056**
- [59] :**Khalidi Abdelhanid** "Etute de l'influence de la granulometrique sur le Taux et l'amplitude de l'affaissement des sols de doubler consolidation. Université Hadi takhar Batna 2009/2010.
- [60] : **Presse de l'école national des ponts et chaussées LCPC** : «béton de sable ; caractéristiques et pratique» P237, 1994
- [61] :**Atoub Souad** "Étude des proprites geotechniques des agrégats de la série turono-coniacienne du djebel ich-ali (Wilaya de Batna) Université Hadj Lakhdar – Batna .02/07/2014 .
- [62] : **DAD CELIA** " Étude comparative du sable de dune en substitution du sable de rivière : cas de mortiers formalisés. Université Loulous Mammeri de Tizi- Ouzou 2018/2019.
- [63] :**Massinissa Kossaila saadi** "stabilisation des sols gonflants avec la chaux. Cas de la région de Milan . Université Lardi Ben M'HADIOUM BOUAGH 2016/2017.
- [64] : **BELATAR AHMED SIRADJ EDDIN & BEROMAN RAFIK RIAD REBCH** " Étude de expérimentale des mélange sable de dune – bentonite : leurs performances comme barraiér de confinement dans les centres d'enfouissement technique. Université Ziane Achour 02/06/2017.
- [65] : **SKEMPTON.A.W.** (1953). " The collaidal activity of clys ". Proceedings of the Third International conférence on soil Mechanis and Foundation Engineering voll.1.pp57-61.
- [66] : **EDIL.T.B ET ALANAZY** (1992) " latéral swellingpressure " 7th Dattas U. S. A, vol 1p ( 227-323).
- [67] : **SERRATRICE J.F** (1996). Le essai de gonflement . Bulletin des laboratoires des pont et chaussées 204 juillet- Août 1996.
- [68]: **ZOUIZZA ACHRAF & RAHMOUNI ABDELLAH & ABOUFARISS ALI** . Rapport desert Tp de MDS École Hassania de travaux publics.
- [69]: **MPL-FI-10** Arvor –geo.fr indice a du 29-10-11.
- [70]: **Bourokba.S.** (2001). «Contribution à la stabilisation chimique de quelques argiles gonflantes de la région d'Oran ». Thèse de Magister (Université des Sciences et de la Technologie d'Oran, Algérie .2001).

## Bibliographies

---

[71]: **Hang.S.** (1984). « Identification of expansive soils by specific surface area values ». Fifth International Conference on Expansive soils, Adelaide, South Australia, May 21-25.

[72] : **AFNOR**, « Norme française sol: reconnaissance et essais»:

**NFP 94- 041:** Analyse granulométrique, méthode de tamisage par voie humide

**NFP 94- 050:** «Détermination de la teneur en l'eau pondérale des matériaux- Méthode par étuvage».

**NFP 94- 051:** Détermination des limites d'Atterbeg la limite à la coupelle – limite de plasticité au rouleau.

**NFP 94- 057:** «Analyse granulométrique des sols par sedimentométrie ».

**NFP 94- 068:** «Détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un sol par l'essai à la tache ».

**NFP 94- 091:** *«Essai de gonflement à l' oedomètre » détermination des déformations par chargement de plusieurs éprouvettes.*

## **Les Annexes**

**ANNEXE 01 : analyse granulométrique par tamisage.**

**Voie humide      Echantillon N° 02 : Argile Bouhraoua**

Masse sec de l'échantillon à analyser (après étuvage) : M=1000g

Poids de l'échantillon	Tamis (mm)	Poids refus partiels (g)	Poids refus cumulés (g)	Poids refus cumulés (%)	Complément à 100	Tamisats (%)
1000 g	5	4.93	4.93	0.49	99.51	100
	2	3.74	10.67	1.07	98.93	99
	1	2.46	13.13	1.31	98.69	99
	0.4	2.30	15.43	1.54	98.46	98
	0.2	2.10	17.53	1.75	98.25	98
	0.1	1.55	19.08	1.91	98.09	98
	0.08	0.57	19.65	1.97	98.04	98

**ANNEXE 02 : analyse sedimentometrique**

T (C°)	Temp s	Durée de chute	Lecture de densimètre R'	Correction (c)	Lecture corrigée R1=R'+c	Diamètre (D)	% des éléments(D) sur l'ensemble de l'échantillon
32.20	8h00	30	21.50	2.972	24.472	0.075	98
32.20	8h01	01	21.50	2.972	24.472	0.055	98
32.20	8h02	02	21	2.972	23.972	0.038	96
32.20	8h05	05	21	2.972	23.972	0.025	96
32.10	8h10	10	20	2.941	22.941	0.017	92
32.10	8h20	20	19	2.941	21.941	0.012	88
32.10	8h40	40	17.50	2.941	20.441	0.008	82
30.40	9h20	80	16.50	2.152	18.652	0.006	75
30.40	10h40	160	16	2.152	18.152	0.004	73
28	13h20	320	15	1.770	16.770	0.003	67
26	24h	1440	10	1.200	11.200	0.002	45
32	48h	-	5.5	2.710	8.21	0.001	33



**ANNAXE 02 : limite d'Atterberg**

**Liquidité -Plasticité**

**Echantillon N°02 :Argile Bouhraoua**

• **Limite de liquidité**

	1 Essai		2 Essai		3 Essai	
Nombre de coups	19		27		29	
N° de la tare	170	262	294	207	253	355
Poids total humide	21.31	18.79	19.80	18.10	20.16	20.17
Poids total sec	17.59	16.26	16.76	15.99	16.91	17.04
Poids de la tare	14.04	13.86	13.81	13.95	13.68	13.93
Poids de l'eau	3.72	2.53	3.04	2.11	3.25	3.13
Poids du sol sec	3.55	2.4	2.95	2.04	3.23	3.11
Teneur en eau (%)	104.79	105.42	103.05	103.43	100.62	100.64
Moyenne	105.10		103.24		100.63	
Limite de liquidité	102.72					

• **Limite de plasticité**

	1 Essai	2 Essai	3 Essai
N ° de la tare	R	X10	T3
Poids total humide	36.84	36.4	36.30
Poids total sec	36.52	36.11	36.03
Poids de la tare	35.84	35.50	35.47
Poids de l'eau	0.32	0.29	0.27
Poids de sol sec	0.68	0.61	0.56
Teneur en eau (%)	47.06	47.54	48.21
Limite de plasticité	47.60		

**Les Annexes**

**ANNAXE 03 : Essai volume et bleu de méthylène d'argile Argile Bouhraoua**

Prise d'essai Mh=50g			Volume de bleu injecte dans la prise d'essai V= 264 m3  Valeur au bleu de la prise d'essai passant a :  $VB=V/Ms= 264/44.03= 5.50$
Calcul de la teneur en eau			
Tare N°	T	S77	
PT	112.65	117.15	
Ph+T	223.51	224.53	
Ps+T	219.12	220.31	
Ps	106.47	103.16	
W(%)	4.12	4.09	
Wmoy	4.11		
$Ps= Ph*100+100+W(\%)$ PS= 48.03 g			

**ANNAXE 04 : étude de gonflement à l'oedomètre Argile Bouhraoua.**

Organisme.		Essai de gonflement à l'oedomètre. Effectué conformément à la norme XP P 94-091 Déformation lors du chargement des éprouvettes.			
Site :		Nature du matériau : Argile Bouhraoua (10%) sable de dune.			
Eprouvettes N°		1	2	3	4
Contrainte verticale Ó kpa		0.1	0.5	1	1.5
Comportement de l'éprouvette sous la contrainte appliqué Ó sans ajout d'eau.	Dat	04/17	04/17	04/17	04/17
	heure	8h42	8h44	8h46	8h48
	durée	dHi mm	dHi mm	dHi mm	dHi mm
	5min	+06	+08	+14	+25
	30min	+05	+15	+25	+68
	1h	-03	+27	+38	+100
	2h	-00	+20	+50	+110
	3h	+03	+35	+62	+125
	4h	+05	+46	+75	+140
8h	+10	+59	+60	+180	
Comportement de	Dat	04/17	04/17	04/17	04/17

## Les Annexes

l'éprouvette sous la contrainte appliqué Ó en présence d'eau.	Heur	16h42	16h44	16h46	16h48
	Durée	dHf mm	dHf mm	dHf mm	dHf mm
	30min	+01	+54	+176	+280
	1h	-06	+54	+176	+280
	2h	-20	-09	+140	+280
	4h	-35	-22	+96	+240
	8h	-51	-55	+15	+214
	16h	-70	-90	-10	+190
	24h	-85	-101	-20	+185
	36h	-100	-110	-45	+160
	48h	-213	-117	-57	+145
60h	-450	-135	-70	+130	
72h	-536	-200	-80	+119	

Organisme.	Essai de gonflement à l'oedomètre. Effectué conformément à la norme XP P 94-091 Déformation lors du chargement des éprouvettes.				
Site :	Nature du matériau : Argile Bouhraoua (30%) sable de dune.				
Eprouvettes N°	1	2	3	4	
Contrainte verticale Ó kpa	0.1	0.5	1	1.5	
Comportement de l'éprouvette sous la contrainte appliqué Ó sans ajout d'eau.	Dat	04/17	04/17	04/17	04/17
	heure	8h50	8h52	8h54	8h56
	durée	dHi mm	dHi mm	dHi mm	dHi mm
	5min	-10	+40	+75	+90
	30min	-25	+40	+80	+100
	1h	-41	+41	+86	+105
	2h	-50	+42	+90	+115
	3h	-75	+42	+90	+126
	4h	-80	+43	+93	+145
8h	-1300	-15	-35	+17	
Comportement de l'éprouvette sous la contrainte appliqué Ó en présence d'eau.	Dat	04/17	04/17	04/17	04/17
	Heur	16h42	16h44	16h46	16h48
	Durée	dHf mm	dHf mm	dHf mm	dHf mm

## Les Annexes

	30min	-109	+32	+84	+158
	1h	-113	+32	+66	+140
	2h	-113	+20	+58	+125
	4h	-119	+10	+52	+110
	8h	-123	-00	+20	+65
	16h	-135	-03	+15	+30
	24h	-140	-20	+10	+00
	36h	-145	-35	-03	-03
	48h	-149	-47	-20	-07
	60h	-152	-58	-35	-10
	72h	-1760	-140	-100	-10

Organisme.		Essai de gonflement à l'oedomètre. Effectué conformément à la norme XP P 94-091 Déformation lors du chargement des éprouvettes.			
Site :		Nature du matériau : Argile Bouhraoua (50%) sable de dune.			
Eprouvettes N°		1	2	3	4
Contrainte verticale $\sigma$ kpa		0.1	0.5	1	1.5
Comportement de l'éprouvette sous la contrainte appliqué $\sigma$ sans ajout d'eau.	Dat	04/17	04/17	04/17	04/17
	heure	8h30	8h32	8h34	8h36
	durée	dHi mm	dHi mm	dHi mm	dHi mm
	5min	-06	+06	+17	+35
	30min	-06	+10	+30	+48
	1h	-06	+15	+45	+55
	2h	-06	+20	+50	+60
	3h	-06	+25	+57	+69
	4h	-06	+33	+66	+75
8h	+15	+35	+25	+20	
Comportement de l'éprouvette sous la contrainte appliqué $\sigma$ en présence d'eau.	Dat	04/17	04/17	04/17	04/17
	Heur	16h42	16h44	16h46	16h48
	Durée	dHf mm	dHf mm	dHf mm	dHf mm

Poids de l'échantillon	Tamis (mm)	Poids refus partiels (g)	Poids refus cumulés (g)	Poids refus cumulés (%)	Complément à 100	Tamisats (%)
1000 g	5	8.48	8.48	0.85	99.15	99
	2	8.12	16.60	1.66	98.34	98
	1	2.50	19.10	1.91	98.09	98
	0.4	4.22	23.32	2.33	97.67	98
	0.2	5.52	28.84	2.88	97.12	97
	0.1	3.92	32.76	3.28	97.62	97
	0.08	1.98	34.74	3.47	96.53	97

**ANNEXE 07 : analyse sedimentometrique**

30min	-65	+60	+89	+101
1h	-65	+60	+89	+95
2h	-70	+60	+80	+90
4h	-104	+45	+65	+88
8h	-120	+40	+47	+66
16h	-135	+25	+30	+50
24h	-155	+10	+15	+35
36h	-167	-12	+05	+29
48h	-180	-58	-20	+21
60h	-188	-75	-35	+18
72h	-180	-50	-10	+10

**ANNEXE 06: analyse granulométrique par tamisage.**

**Voie humide Echantillon N° 01 : Argile Metlili Jadida**

Masse sec de l'échantillon à analyser (après étuvage) : M=1000g

T (C°)	Temp s	Durée de chute	Lecture de densimètre R'	Correction (c)	Lecture corrigée R1=R'+c	Diamètre (D)	% des éléments(D) sur l'ensemble de l'échantillon
15.2	9h00	30	26	-0.752	25.248	0.075	97
15.2	9h01	01	26	-0.752	25.248	0.055	97
15.2	9h02	02	25.5	-0.752	24.748	0.038	95
15.2	9h05	05	25	-0.752	24.248	0.025	93
15.2	9h10	10	25	-0.752	24.248	0.017	93
15.2	9h20	20	24.5	-0.752	23.748	0.012	91
15.2	9h40	40	24	-0.752	23.248	0.008	89

**Les Annexes**

15.2	10h20	80	23.5	-0.752	22.748	0.006	87
16.20	11h40	160	23	-0.612	22.388	0.004	86
16.20	14h20	320	20	-0.612	19.388	0.003	54
15.20	24h	1440	05	-0.752	4.248	0.002	16
15.20	48h	-	05	-0.752	4.248	0.001	16

**ANNAXE 08 : limite d'Atterberg**

**Liquidité -Plasticité**

**Echantillon N°1 :Argile Metlili Jadida**

• **Limite de plasticité**

	1 Essai	2 Essai	3 Essai
N ° de la tare	114	277	139
Poids total humide	7.48	7.63	7.51
Poids total sec	7.32	7.48	7.35
Poids de la tare	6.91	7.08	6.93
Poids de l'eau	0.16	0.15	0.16
Poids de sol sec	0.41	0.4	0.42
Teneur en eau (%)	39.02	37.50	38.10
Limite de plasticité	38.21		

**ANNAXE 09 : Essai volume et bleu de méthylène d'argile Argile Metlili Jadida**

Prise d'essai Mh=50g			Volume de bleu injecte dans la prise d'essai V= 370 m3  Valeur au bleu de la prise d'essai passant a :  $VB=V/Ms= 370/47.81= 7.73$
Calcul de la teneur en eau			
Tare N°	TR	T1	
PT	31.53	30.91	
Ph+T	59.91	62.56	
Ps+T	58.06	61.18	
Ps	27.13	30.27	
W(%)	4.60	4.55	
Wmoy	4.57		
$Ps= Ph*100+100+W(\%)$ $PS= 47.81 g$			

**ANNAXE 10 : étude de gonflement à l'oedomètre **Argile Metlili El Jadida.****

Organisme.		Essai de gonflement à l'oedomètre. Effectué conformément à la norme XP P 94-091 Déformation lors du chargement des éprouvettes.			
Site :		Nature du matériau : Argile Metlili (10%) sable de dune.			
Eprouvettes N°		1	2	3	4
Contrainte verticale $\sigma$ kpa		0.1	0.5	1	1.5
Comportement de l'éprouvette sous la contrainte appliqué $\sigma$ sans ajout d'eau.	Dat	04/17	04/17	04/17	04/17
	heure	8h42	8h44	8h46	8h48
	durée	dHi mm	dHi mm	dHi mm	dHi mm
	5min	-04	+05	+25	+70
	30min	-14	+10	+35	+75
	1h	-35	+02	+50	+80
	2h	-65	-46	+30	+83
	3h	-80	-60	+20	+85
	4h	-106	-100	+12	+88
8h	-244	-160	+47	+50	
Comportement de l'éprouvette sous la contrainte appliqué $\sigma$ en présence d'eau.	Dat	04/17	04/17	04/17	04/17
	Heur	16h42	16h44	16h46	16h48
	Durée	dHf mm	dHf mm	dHf mm	dHf mm
	30min	-467	-240	-39	-06
	1h	-822	-280	-76	-21
	2h	-900	-345	-90	-44
	4h	-950	-400	-101	-56
	8h	-1100	-560	-120	-70
	16h	-1145	-575	-135	-85
	24h	-1400	-597	-149	-93
	36h	1470	-600	-200	-100
48h	-1513	-744	-219	-109	
60h	-1689	-825	-372	-200	
72h	-1760	-960	-410	-270	

**Les Annexes**

Organisme.		Essai de gonflement à l'oedomètre. Effectué conformément à la norme XP P 94-091 Déformation lors du chargement des éprouvettes.			
Site :		Nature du matériau : Argile Metlili (30%) sable de dune.			
Eprouvettes N°		1	2	3	4
Contrainte verticale $\sigma$ kpa		0.1	0.5	1	1.5
Comportement de l'éprouvette sous la contrainte appliqué $\sigma$ sans ajout d'eau.	Dat	04/17	04/17	04/17	04/17
	heure	8h10	8h12	8h14	8h16
	durée	dHi mm	dHi mm	dHi mm	dHi mm
	5min	-10	-04	+03	+46
	30min	-13	-06	+05	+50
	1h	-17	-08	+10	+62
	2h	-19	-10	+15	+70
	3h	-22	-14	+24	+85
	4h	-24	-17	+29	+97
	8h	+140	+135	+120	+180
Comportement de l'éprouvette sous la contrainte appliqué $\sigma$ en présence d'eau.	Dat	04/17	04/17	04/17	04/17
	Heur	16h10	16h12	16h14	16h16
	Durée	dHf mm	dHf mm	dHf mm	dHf mm
	30min	-34	-15	+20	+108
	1h	-40	-35	+15	+100
	2h	-55	-40	+09	+75
	4h	-71	-65	+03	+50
	8h	-85	-80	-01	+35
	16h	-90	-95	-05	+20
	24h	-103	-102	-20	+13
36h	-160	-117	-45	+07	
48h	-200	-150	-70	-10	
60h	-228	-175	-90	-30	
72h	-400	-145	-45	+85	



**Les Annexes**

Organisme.		Essai de gonflement à l'oedomètre. Effectué conformément à la norme XP P 94-091 Déformation lors du chargement des éprouvettes.			
Site :		Nature du matériau : Argile Metlili (50%) sable de dune.			
Eprouvettes N°		1	2	3	4
Contrainte verticale $\sigma$ kpa		0.1	0.5	1	1.5
Comportement de l'éprouvette sous la contrainte appliquée $\sigma$ sans ajout d'eau.	Dat	04/17	04/17	04/17	04/17
	heure	8h20	8h22	8h24	8h26
	durée	dHi mm	dHi mm	dHi mm	dHi mm
	5min	-06	-01	+10	+25
	30min	-10	-03	+10	+45
	1h	-12	-05	+12	+60
	2h	-15	-07	+15	+75
	3h	-20	-08	+16	+84
	4h	-24	-10	+17	+97
8h	+71	+75	+76	+130	
Comportement de l'éprouvette sous la contrainte appliquée $\sigma$ en présence d'eau.	Dat	04/17	04/17	04/17	04/17
	Heur	16h20	16h22	16h24	16h26
	Durée	dHf mm	dHf mm	dHf mm	dHf mm
	30min	-57	-36	-01	+105
	1h	-93	-41	-09	+105
	2h	-100	-60	-15	+100
	4h	-109	-75	-20	+60
	8h	-115	-90	-23	+45
	16h	-150	-100	-25	+33
	24h	-180	-108	-30	+25
	36h	-195	-120	-35	+20
48h	-201	-140	-42	+12	
60h	-260	-147	-46	+05	
72h	-320	-115	-30	+70	

**ANNEXE 11 : Essai Équivalent de sable Tuf Bouhraoua**

		Essai n° 1	Essai n° 2	Moyenne
	h <sub>1</sub> (cm)	25.70	27.20	
Tuf				
De	h <sub>2</sub> (cm)	2.60	2.50	9.66
Bouhraoua	$ES = \frac{h_2^2}{h_1}$	10.12	9.19	

**ANNEXE 12 : Essai Equivalent de sable Sable de dune**

		Essai n° 1	Essai n° 2	Moyenne
Sable De Dune	h <sub>1</sub> (cm)	11.10	11.00	54.65
	h <sub>2</sub> (cm)	6.20	5.90	
	$ES = \frac{h_2^2}{h_1}$	55.85	53.44	

**ANNEXE 13 : Fiche technique de géotextile utilise**



**COPIE Certificat**  
Certificate

N° 2006/27117.3

AFNOR Certification certifie que le système de management mis en place par :  
AFNOR Certification certifies that the management system implemented by:

**AFITEX**

pour les activités suivantes :  
for the following activities:

**CONCEPTION ET PRODUCTION DE GEOTEXTILES ET DE PRODUITS APPARENTES  
(GEOCOMPOSITES) DE DRAINAGE DANS LES DOMAINES DU TP,  
DU BATIMENT ET DES OUVRAGES HYDRAULIQUES ET ACTIVITES DE NEGOCE.**

**DESIGN AND MANUFACTURING OF DRAINAGE GEOTEXTILES  
AND RELATED PRODUCTS (GEOCOMPOSITES) IN THE PUBLIC WORKS,  
CONSTRUCTION AND HYDRAULIC STRUCTURE SECTORS. TRADE ACTIVITIES.**

a été évalué et jugé conforme aux exigences requises par :  
has been assessed and found to meet the requirements of:

**ISO 9001 : 2008**

et est déployé sur les sites suivants :  
and is developed on the following locations:

13, rue Louis Blériot FR-28300 CHAMPHOL

AFNOR Certification est une marque déposée de AFNOR Certification. Toute réimpression ou utilisation non autorisée sans la permission écrite de AFNOR Certification est formellement interdite. Toute réimpression ou utilisation non autorisée sans la permission écrite de AFNOR Certification est formellement interdite. Toute réimpression ou utilisation non autorisée sans la permission écrite de AFNOR Certification est formellement interdite. Toute réimpression ou utilisation non autorisée sans la permission écrite de AFNOR Certification est formellement interdite. Toute réimpression ou utilisation non autorisée sans la permission écrite de AFNOR Certification est formellement interdite.

Ce certificat est valable à compter du (année/mois/jour)  
This certificate is valid from (year/month/day)

2012-06-27

Jusqu'au  
until

2015-06-26

Directrice Générale d'AFNOR Certification  
Managing Director of AFNOR Certification

F. MÉAUX

001 2713

11 rue Francis de Pressensé - 93571 La Plaine Saint-Denis Cedex - France - T. +33 (0)1 41 62 80 00 - F. +33 (0)1 49 17 90 00  
SAS au capital de 18 187 000 € - 479 076 002 RCS Bobigny - [www.afnor.org](http://www.afnor.org)

**afnor**  
CERTIFICATION

# CERTIFICAT

**EN ISO 9001 : 2008**

Système de Management de la Qualité

**AIB-VINCOTTE International sa**

Jan Olieslagerslaan 35, 1800 Vilvoorde, Belgique

Il est certifié que :

**Organisme National de Contrôle  
Technique des Travaux Publics « CTTP »**

sur :

**Quatre Chemins de Kouba  
Route de Bachdjarah – Kouba, Alger  
Algérie**

avec sites :

**Direction Générale (Quatre Chemins de Kouba, Route de Bachdjarah -  
Kouba – Alger)  
Direction Régionale Centre (Quatre Chemins de Kouba, Route de  
Bachdjarah - Kouba – Alger)  
Direction Régionale Est (Constantine, Zone industrielle Palma-  
Constantine)  
Direction Régionale Ouest (Oran, Rond point des castors-Oran)**

a établi et tenu à jour un système qualité conforme aux exigences de la norme EN ISO 9001 : 2008  
"Système de Management de la Qualité" pour :

**Etudes, expertise et assistance technique, contrôle et suivi des travaux, mesures et essais  
laboratoires liés aux domaines routier, autoroutier, aéroportuaire et maritime. Animation  
technique.**

Le présent certificat est basé sur le résultat d'un audit qualité, documenté dans le rapport d'audit RA14013-  
21A.

Numéro du certificat : 14 5385

Valable de 17 mars 2014 jusqu'au 15 mars 2017

Les informations complémentaires concernant le périmètre de ce certificat et l'application des exigences de  
EN ISO 9001 : 2008 peuvent être obtenues auprès du titulaire de ce certificat.

Le présent certificat a été octroyé lors de la Commission de Certification du 17 mars 2014 moyennant  
respect du Règlement Général d'AIB-Vincotte International sa.



Au nom de l'organisme de certification :

Bart Janssens

Président de la Commission de Certification

