

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ IBN KHALDOUN **DE TIARET.**



FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES
DÉPARTEMENT DE GÉNIE CIVIL

Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master

Spécialité : Génie Civil

Option : VOA

Présenté par :

GUEZOUL Ikram
&
BENDJAZIA Fatima Zohra Khadoudj

Sujet du mémoire

**STABILISATION DES ARGILES PAR AJOUT DE VERRE
RECYCLÉ AVEC UN PRÉTRAITEMENT À LA CHAUX**

Soutenu, le 30 Septembre 2020, devant le jury composé de :

M. SERBAH B.	Président	
M. BEKKI H.		Rapporteur
M ^{me} DRAOUI A.		Examineur
M ^{elle} RENNAK Z.		Examineur

PROMOTION : **2019/2020**

Remerciements

Tout d'abord, louange à « Allah » qui nous a guidé sur le droit chemin tout au long du travail et nous a inspiré les bons pas et les justes réflexes. Sans sa

Miséricorde, ce travail n'aurait pu aboutir.

Nos remerciements vont à notre encadreur Monsieur le professeur BEKKI EL HADJ.

Nous avons eu le privilège de travailler parmi votre équipe et d'apprécier vos qualités et vos valeurs.

Votre sérieux, votre compétence et votre sens du devoir nous ont énormément marqués.

Veillez trouver ici l'expression de notre respectueuse considération et notre profonde admiration pour toutes vos qualités scientifiques et humaines.

Ce travail est pour nous l'occasion de vous témoigner notre profonde gratitude.

Nos remerciements vont aux techniciens de laboratoire des travaux publics de l'ouest unité de Tiaret.

On tient également à remercier Mr le président et les membres de jury d'avoir accepté d'évaluer notre mémoire.

Nous adressons aussi un grand merci pour toute personne qui a participé de près ou de loin pour l'accomplissement de ce travail.

DÉDICACES

Je dédie ce mémoire à ...

A mes très chers parents

Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que vous méritez pour tous les sacrifices que vous n'avez cessé de me donner depuis ma naissance, jusqu'au jour-là. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail est le fruit de vos sacrifices que vous avez consentis

Pour mon éducation et ma formation.

*A mon époux **Imad***

*A mes enfants **Aek & Abderezzak***

*A mes très chères sœurs **Mira et Amina** et son mari **laithabidat**, son fils **majd***

*A mon très cher frère **khaleed***

*A très cher binôme **Bendjazia Fatima** toutes sa familles*

Ikram

DÉDICACES

Tout d'abord je remercie Dieu de m'avoir donné la force d'accomplir ce travail, que je dédie :

∞ A Mes très chers parents, pour leur amour, leur soutien et leur confiance.

Rien n'aurait été possible sans eux qui n'a pas cessé de m'encourager et de se sacrifier pour que je puisse franchir tout obstacle durant toutes mes années d'études, que dieu me le garde en très bonne santé.

∞ La personne qui a partagé ce travail avec moi dans les bons et mauvais

∞ Moments ; à très cher binôme **Guezoul Ikram** toutes sa familles. Mes frères et Mes sœurs Mes oncles, Mes tantes

∞ A mon époux **AEK** et sa famille.

∞ Ma cousine **Benhotmane rekia**, son époux et sa méchante fille **Fairouz**

∞ Et toute ma famille.

∞ A toute la promotion 2019 .

∞ Et tout qui m'a supporté pour terminer mon projet de fin d'étude.

Tous ceux que j'ai oubliés.

Fatima Z.K.

Abstract

The present work studies the effect of adding glass waste to swelling clays for its use in embankments by incorporating the glass powder (particles smaller than 0.630 mm), obtained by grinding glass waste, into a swelling clay in order to evaluate the evolution of its swelling index and its aptitude for compaction. Normal Proctor and shearing tests are carried out on natural swelling clay to which glass waste is added at different percentages (10, 20 and 30%). It has been found that the maximum dry density increases proportionally with the percentage of glass waste. Regarding the shearing tests, the results are unexpected. Indeed, the addition of waste glass did not reduce the cohesion (Cu) of pre-treated clays.

Keywords: Clay, Glass Waste, Treatment, Road Embankment, Sustainable Development.

Résumé

L'objectif du présent travail est d'étudier l'effet de l'ajout de déchets de verre aux argiles gonflantes pour son utilisation dans les remblais, et cela en incorporant la poudre de verre (particules inférieures à 0,630 mm) obtenue par broyage de déchets de verre, dans une argile gonflante afin d'évaluer l'évolution de son gonflement et son aptitude au compactage. Des essais Proctor normal et de cisaillement à la boîte ont été réalisés sur de l'argile naturelle à laquelle sont ajoutés des déchets de verre à différents pourcentages (10, 20 et 30%). On a constaté que la densité sèche maximale augmente proportionnellement avec le pourcentage de déchets de verre. Concernant les essais de cisaillement, les résultats sont inattendus. En effet, l'ajout de déchets de verre n'a pas réduit la cohésion (Cu) des argiles prétraitées.

Mots clés: Argile, Déchets de verre, Traitement, Développement durable, Remblai routier

ملخص:

الهدف من هذا العمل هو دراسة تأثير إضافة نفايات الزجاج إلى الطين المنتفخ لاستخدامه في اترية الحفر ، وذلك من خلال دمج مسحوق الزجاج (الجسيمات الأصغر من 0.630 مم) الذي تم الحصول عليه عن طريق طحن نفايات الزجاج. في صلصال منتفخ من أجل تقييم تطور تورمها وقدرتها على الانضغاط، تم إجراء اختبارات بروكتور العادية واختبار القص الصندوقي على الطين الطبيعي التي تضاف إليها نفايات الزجاج بنسب مختلفة (10 و 20 و 30%). لقد وجدنا أن أقصى كثافة جافة تزداد بشكل متناسب مع النسبة المئوية مع بقايا الزجاج. فيما يتعلق باختبارات القص، فإن النتائج غير متوقعة، في الواقع لم تقلل إضافة نفايات الزجاج من التماسك للطين المعالج مسبقاً.

الكلمات المفتاحية: الطين، نفايات الزجاج، المعالجة، التنمية المستدامة، اترية الطريق .

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE	13
CHAPITRE I :.....	3
RECYCLAGE DU VERRE.....	3
I.1.INTRODUCTION	4
I.2.LE VERRE :.....	4
I.3.HISTOIRE DU VERRE :.....	5
I.4.PROPRIETE ET COMPOSITION DU VERRE :	6
□ Propriétés physiques.....	6
□ Les propriétés mécaniques :	8
1/les caractéristique mécanique en fonction de la température :.....	8
2/Viscosité &Masse volumique :	9
3/Dureté :.....	9
4/Résistance mécanique :.....	10
I.5.FABRICATION DU VERRE :	11
I.6.1.RECYCLAGE ET AUTRE TECHNIQUE DE VALORISATION :.....	12
I.7.RECYCLAGE DU CALCIN (VERRE CASSE) :	13
I.8.POSITION DU PROBLEME :	13
I.9.CONCLUSION :	13
CHAPITRE II :	14
DISPONIBILITE ET QUANTIFICATION DES VERRE A RECYCLER.....	14
II.1.INTRODUCTION :	15
II.2. QUANTITE ET CARACTERISTIQUE DES DECHETS EN ALGERIE :	15
II.3.LES AVANTAGES :.....	18
II.4.1.Dimension environnementale :	19
II.4.2.Dimension économique :	19
II.4.3.Dimension sociale :.....	19
II.5.CONCLUSION :	20
CHAPITRE III :.....	21
COMPORTEMENT DES ARGILES ET LES TECHNIQUES DE STABILISATION. 21	
III.1. INTRODUCTION :.....	22
III.2. LES ARGILES.....	22
III .2.1 : Définition	22
III .2.2 Différents types d'argile :	23
III.2.3. Texture des argiles :	24
III.3. MECANISMES DE GONFLEMENT DES ARGILES :	26
III.3.1.Evolution de la texture au cours du gonflement.....	27
III .3.2. Identification des sols gonflants :.....	28

III.3.1. Définition des paramètres de gonflement :	28
a) la pression de gonflement (σ_g)	28
b) Le potentiel de gonflement (ε_g)	29
c) L'indice de gonflement (C_g)	29
III.4. METHODES D'IDENTIFICATION :	29
III.4.1. Méthodes indirectes d'identification :	29
III.4.2. Méthodes directes d'identification :	33
III.4.3. Les principales méthodes utilisées sont décrites ci-après :	34
a) Méthode de gonflement libre :	34
b) Méthode de gonflement sous charges constantes :	34
c) Essai à volume constant (empêché) :	35
III.4.4. Comparaison des différentes méthodes :	35
III.5. TECHNIQUE DE STABILISATION DES ARGILES :	36
III.6. STABILISATION CHIMIQUE (PAR ADDITIFS) :	37
Deux techniques de stabilisation chimique peuvent être effectuées	37
III.7. APERÇU SUR LA CHAUX :	38
III.7.1. Origine de la chaux :	38
III.7.2. Types de chaux :	38
III.7.3. Actions de la chaux :	38
III.7.4. Action de la chaux sur les argiles :	38
III.7.5. Traitement des sols à la chaux :	38
III.8. CONCLUSION :	39
CHAPITRE IV :	40
PRESENTATION DES ESSAIS REALISES	40
IV.1. INTRODUCTION :	41
IV.2. ETUDE EXPERIMENTALE	41
IV.2.1. Argile non traitée :	41
IV.3. ARGILE TRAITEE :	41
IV.4. ANALYSE DE L'ARGILE NON TRAITE ET DU DECHET DE VERRE :	42
a) Essai d'évaluation de carbonates (NA-2789) CaCO_3 :	42
d) Détermination de la teneur pondérale en matières organiques de sol (méthode par calcination - NF P 94-047) :	45
VI.4.1.2. Analyse granulométrique :	46
VI.4.1.3. Limites d'Atterberg (NA 16213, NF P 94-051) :	48
IV.4.2 Essais mécaniques :	52
IV.4.2.1. Essai Proctor normal (NA 5262, NF P 94-093) :	52
IV.4.2.2 : Essai de Cisaillement à la boîte (NF 94-071-1) :	57
IV.4.2.3 : Essai Œdométrique :	63
CHAPITRE V :	67
INTERPRETATION DES RESULTATS	67
V.1. INTRODUCTION :	68

V.2. ANALYSE DES RESULTATS DES ESSAIS PROCTOR :	68
V.2.1. Mélanges d'Argile et du Verre broyé :	68
V.2.2. Mélanges d'Argile prétraitée à la chaux et du verre broyé :	69
V.3. ANALYSE DES RESULTATS DES ESSAIS DE CISAILLEMENT A LA BOITE :	70
V.3.1. Mélanges d'Argile et du verre broyé :	70
V.3.2. Mélanges d'Argile prétraitée à la chaux et du verre broyé :	71
V.4. ANALYSE DES RESULTATS DES ESSAIS ŒNOMETRIQUES :	71
V.6. CONCLUSION	72
CONCLUSIONS GENERALES ET PERSPECTIVES	73
CONCLUSIONS GENERALES ET PERSPECTIVES	74
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	75
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	76
ANNEXES	77

Liste des Figures

FIGURE I.1 : BOUTEILLE DE VERRE	4
FIGURE I.2 : ARRANGEMENT TETRAEDRIQUE DES MOLECULES DE SIO2 SOUS SA FORME CRISTALLINE DE QUARTZ	6
FIGURE I.3 :DIAGRAMME DE PHASE D'UN CRISTAL, D'UN VERRE ET DE LEUR LIQUIDE ASSOCIE(.....	7
FIGUREI.4 :REPRESENTATION D'UN SOLIDE CRISTALLIN ET D'UN SOLIDE AMORPHE	8
FIGURE I.5 :LA VISCOSITE D'UN PRECURSEUR DE VERRE EN FONCTION DE LA TEMPERATURE	9
FIGURE II.1 : QUANTITES DES PRINCIPAUX DECHETS COLLECTESSUR QUELQUES AGGLOMERATIONS EN ALGERIE	16
FIGURE II.2: QUANTITE DES PRINCIPAUX DECHETS RECYCLABLES A ALGER.....	17
FIGUREII.4 : TONNAGE ANNUEL A L'HORIZON 2025 AU NIVEAU NATIONAL.	18
FIGURE III-1:COUCHES TETRAEDRIQUES ET OCTAEDRIQUES(FERRAH 2006).	22
FIGURE III-2:REPRESENTATION DE LA STRUCTURE MINERALOGIQUE D'UNE PARTICULE D'ARGILE,.....	23
FIGURE III -3 : PRESENTATION DE LA STRUCTURE DES ARGILES :.....	23
FIGURE III-4:STRUCTURE DES ARGILES DU GROUPE DES SMECTITEMS.....	24
FIGURE .III.5: OUVERTURE DES FISSURES EN PROXIMITE DES MATERIAUX RIGIDESMONTES ET AL,.....	24
FIGURE III-6:PHOTOGRAPHIES AU MICROSCOPE ELECTRONIQUE A BALAYAGE DES ARGILES.....	26
FIGURE III-7: SCHEMA PRESENTANT LES DIFFERENTES ORIGINES DU GONFLEMENT	26
FIGURE III-8: MECANISMES DE GONFLEMENT DES ARGILES PAR HYDRATATION.	26
FIGURE III-9: MECANISME DE GONFLEMENT	27
FIGURE III-10: OBSERVATION AU MEB D'UNE TEXTURE ARGILEUSE	27

FIGURE III-12: CLASSIFICATION DES SOLS SELON L'ABAQUE DE WILLIAMS ET DONALDSON	31
FIGURE III.13: DIAGRAMME DE CLASSIFICATION DU POTENTIEL DE GONFLEMENT	31
FIGURE III.13 :ESSAI DE GONFLEMENT LIBRE.....	34
FIGURE III.14: ESSAIS DE GONFLEMENT EN PARALLELE.	35
FIGURE III-15: ESSAI DE GONFLEMENT A VOLUME CONSTANT.....	35
FIGURE IV.1. APPAREIL DE L'ESSAI D'EVALUATION DE CARBONATES.....	42
FIGURE IV.2 : LES ETAPES DE L'ESSAI DE BLEU DE METHYLENE	43
FIGURE VI.3 DISPOSITIF D'ESSAI DE LA TENEUR EN SULFATES	45
FIGURE VI.4 SERIE DE TAMIS POUR L'ESSAI GRANULOMETRIE PAR TAMISAGE	47
FIGURE VI.5:APPAREILLAGE D'ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR SEDIMENTOMETRIE	47
FIGURE VI.6: COURBES GRANULOMETRIQUE DE L'ARGILE (TAMISAGE PAR VOIE HUMIDE ET SEDIMENTOMETRIE).	48
FIGURE VI.7. APPAREILLAGE DE LIMITES D'ATTERBERG.	49
FIGURE VI.8. LIMITE DE LIQUIDITE A LA COUELLE DE CASAGRANDE.....	51
FIGURE VI.9 : APPAREIL ESSAI PROCTOR.....	53
FIGURE IV.10 : COURBE PROCTOR NORMAL POUR L'ARGILE NATURELLE	54
FIGURE IV.11 : COURBE PROCTOR NORMAL POUR LE MELANGE D'ARGILE ET 10% DE VERRE.....	54
FIGURE IV.12 : COURBE PROCTOR NORMAL POUR LE MELANGE D'ARGILE ET 20% DE VERRE	55
FIGURE IV.13 : COURBE PROCTOR NORMAL POUR LE MELANGE D'ARGILE ET 30% DE VERRE	55
FIGURE IV.14 : COURBE PROCTOR NORMAL POUR LE MELANGE D'ARGILE PRETRAITE AVEC LA CHAUX ET 10% DE VERRE	56
FIGURE IV.15 : COURBE PROCTOR NORMAL POUR LE MELANGE D'ARGILE PRETRAITE AVEC LA CHAUX ET 20% DE VERRE	56
FIGURE IV.16 : COURBE PROCTOR NORMAL POUR LE MELANGE D'ARGILE PRETRAITE AVEC LA CHAUX ET 30% DE VERRE	57
FIGURE VI.17: ESSAI DE CISAILLEMENT	58
FIGURE IV.18 : RESULTATS DES ESSAIS DE CISAILLEMENT A LA BOITE REALISES SUR L'ARGILE PURE	58

FIGURE IV.19 : RESULTATS DES ESSAIS DE CISAILLEMENT A LA BOITE REALISES SUR L'ARGILE + 10% DE VERRE.....	59
FIGURE IV.20 : RESULTATS DES ESSAIS DE CISAILLEMENT A LA BOITE REALISES SUR L'ARGILE + 20% DE VERRE.....	60
FIGURE IV.21 : RESULTATS DES ESSAIS DE CISAILLEMENT A LA BOITE REALISES SUR L'ARGILE + 30% DE VERRE.....	61
FIGURE IV.22 : RESULTATS DES ESSAIS DE CISAILLEMENT A LA BOITE REALISES SUR L'ARGILE + 1% CHAUX + 10% DE VERRE.....	62
FIGURE IV.23 : RESULTATS DES ESSAIS DE CISAILLEMENT A LA BOITE REALISES SUR L'ARGILE + 1% CHAUX + 20% DE VERRE.....	62
FIGURE IV.24 : RESULTATS DES ESSAIS DE CISAILLEMENT A LA BOITE REALISES SUR L'ARGILE + 1% CHAUX + 30% DE VERRE.....	63
FIGURE IV.25 : DISPOSITIF DE L'ESSAI CEDOMETRIQUE.....	64
FIGURE IV.26 : COURBE DE COMPRESSIBILITE DE L'ARGILE NATURELLE ..	65
FIGURE IV.27 : COURBE DE COMPRESSIBILITE DE L'ARGILE + 30% DE VERRE.....	66
FIGURE V.1 : COURBES PROCTOR DES DIFFERENTS MELANGES D'ARGILE ET DU VERRE BROYE.....	68
FIGURE V.2 : COURBES PROCTOR DES DIFFERENTS MELANGES D'ARGILE PRETRAITEE ET DU VERRE BROYE.....	69
FIGURE V.3 : COMPARAISON ENTRE LES COURBES PROCTOR DES DIFFERENTS MELANGES.....	70
FIGURE V.4 : COURBES INTRINSEQUES DES DIFFERENTS MELANGES CONTENANT DE L'ARGILE ET DU VERRE.....	70
FIGURE V.5 : COURBES INTRINSEQUES DES DIFFERENTS MELANGES CONTENANT DE L'ARGILE PRETRAITEE ET DU VERRE BROYE.....	71

Liste des Tableaux

TABLEAU I COMPOSITION (EN % EN MASSE) DES VERRES INDUSTRIELS	12
TABLEAU II :QUANTITES DES PRINCIPAUX DECHETS RECYCLABLES	16
TABLEAU II.2 : EVALUATION DE LA QUANTITE DE DECHETS GENERES AU NIVEAU NATIONAL.....	18
TABLEAU III-1: CARACTERISTIQUES DES ARGILES (FERRAH 2006)	25
TABLEAU III-2: RELATION ENTRE LE GONFLEMENT LIBRE ET L'INDICE DE PLASTICITE.....	29
TABLEAU III-6: MODELES EMPIRIQUES DE CALCUL DU TAUX DE GONFLEMENT (EG) ET DE LA PRESSION DE GONFLEMENT(ΣG).	32
TABLEAU IV.1: TAUX DE CARBONATES PRESENTS DANS L'ARGILE.....	43
TABLEAU IV.2 : RESULTATS DE L'ESSAI DE VBS POUR L'ARGILE	44
TABLEAU II.2.3: RESULTATS DE L'ESSAI DE VB POUR LE VERRE BROYE	44
TABLEAU VI.4 : RESULTATS DE L'ESSAI DE TENEUR EN SULFATES.	45
TABLEAU VI.5 RESULTATS DE L'ESSAI DE TENEUR EN MATIERES ORGANIQUES.....	46
TABLEAU VI.6 : RESULTATS DE L'ESSAI DE LIMITE DE LIQUIDITE DE L'ARGILE NATURELLE	49
TABLEAU VI.7: RESULTATS DE L'ESSAI DE DETERMINATION DE LA LIMITE DE PLASTICITE DE L'ARGILE NATURELLE	50
TABLEAU VI.9. LIMITES D'ATTERBERG POUR L'ARGILE NATURELLE	51
TABLEAU IV.10 : LES RESULTATS DE L'ESSAI PROCTOR SUR L'ARGILE NATURELLE	53
TABLEAU V.1 : CARACTERISTIQUES INTRINSEQUES DES DIFFERENTS MELANGES D'ARGILE ET DE VERRE	71

Introduction générale

Dans les projets géotechniques les exigences requises font en sorte que certains sols ne répondent pas aux conditions, du fait de leur nature physique, chimique et mécanique. Les sols argileux présentent le plus souvent des mauvaises caractéristiques liées à leur microstructure, la matière organique, les éléments perturbateurs (les sulfates, chlorures, fertilisants, etc...). Ce qui implique leur faible capacité portante, tassement excessif, faible perméabilité et le phénomène de gonflement-retrait. Le traitement de ces argiles est une voie concrète pour les transformer en matériaux utilisables dans les ouvrages géotechniques.

Dans les pays en voie de développement les méthodes d'amélioration mécaniques et hydromécaniques, thermiques des sols ont un emploi très limité car leur coût est très élevé, mais demeurent efficaces.

Beaucoup de méthodes et d'appareillages ont été mis au point, pour connaître l'influence et l'efficacité d'une solution ou d'un produit sur la stabilisation d'un sol gonflant. Toutefois on dispose des méthodes d'amélioration utilisant la chaux, le verre, la pouzzolane, le ciment et d'autres ajouts cimentaires, moins coûteuses et plus pratiques ; des études récentes ont montré que ces méthodes avaient des répercussions à long terme sur le sol.

Notre travail consiste à étudier l'évolution de la consistance et la portance d'une argile gonflante suite à l'ajout de verre après un prétraitement à la chaux; en réalisant principalement des essais de portance (Proctor) ainsi que des essais de cisaillement à la boîte.

Le matériau étudié est une argile rougeâtre ramenée à partir d'un gisement utilisé pour la fabrication de la brique (Briqueterie de MEDERISSA), tandis que le déchet de verre est récupéré chez un verrier avant de le broyer au laboratoire de département, en se servant de l'appareil Los Angeles.

Ce thème s'inscrit dans le cadre général de l'étude du comportement hydromécanique des argiles. Plus essentiellement, l'objet du travail c'est déterminer une méthodologie de stabilisation aux liants (la chaux) et des verres recyclés qui peut constituer une solution à envisager et qui permet de valoriser les matériaux locaux.

Pour répondre à cette question, ce mémoire est composé de cinq chapitres :

- ✓ Le premier chapitre est consacré au recyclage du verre,
- ✓ Dans le chapitre deux, on présentera disponibilité et quantification du verre à recycler
- ✓ Le chapitre trois est réservé à comportement et la Techniques de Stabilisation des argiles (traitement des argiles à la chaux)
- ✓ Le quatrième chapitre on présent des analyse au laboratoire pour l'argile prise comme référence (à stabiliser) et le verre utilisé; et des mélanges d'argile prétraitée + particules de verre à différentes Proportions (10%, 20% et 30%) pour les essais de (Proctor, cisaillement à la boîte; Œdométriques)

- ✓ le cinquième chapitre pour l'identification des résultats

Enfin, on présente la principale conclusion auxquelles on est arrivé ainsi que les perspectives quant à la continuité de ces travaux recherche.

CHAPITRE I :
RECYCLAGE DU VERRE.

I.1.Introduction

Dans un monde où la recherche permet de développer des produits et matériaux toujours plus performants et qui répondent aux besoins réels ou artificiels de l'humain, le verre se démarque par la simplicité de sa fabrication. Encore largement utilisé aujourd'hui sous sa forme la plus sobre, le verre est apprécié pour ses propriétés uniques ; résistant à la chaleur, à la pression et durable dans le temps, il est également l'un des rares matériaux de construction permettant à l'homme de rester en contact avec son environnement grâce à sa transparence.

I.2.Le verre :

Les propriétés du verre sont uniques et font de lui un choix populaire comme matériau de construction et comme emballage, notamment dans l'industrie de l'alimentation. Cette dernière met sur le marché, chaque année, des milliers de tonnes de contenants de verre, entre autres pour les boissons alcoolisées. (Figure I.1)

Afin de comprendre l'enjeu du recyclage du verre, il est d'abord important d'avoir une compréhension de ce dernier. La première section de ce document vise donc à offrir une vue d'ensemble du verre. Son histoire, ses propriétés et ses différents aspects seront d'abord abordés. Ensuite, le recyclage du verre Enfin, la disponibilité et la quantification des verres à recycler.



Figure I.1 : bouteille de verre

D'autres parts le verre est omniprésent dans notre société et ses applications ne cessent de se développer. On le rencontre dans de nombreux domaines tels que la verrerie et la lunetterie, de façon classique, mais également dans le bâtiment (vitrage, plancher et isolation), l'électronique et les réseaux (sous forme de fibre), l'emballage, l'audiovisuel... Ce matériau très courant est un des plus anciens que l'homme sait fabriquer.

I.3.Histoire du verre :

Les matières vitreuses ont toujours existé à l'état naturel dans l'environnement de l'humain. Celles-ci sont issues de la fonte d'une matière riche en silice lors de phénomènes naturels à haute température. Par exemple, le passage d'un éclair dans le sable peut permettre la formation d'une fulgurite. De même, lors de son entrée dans l'atmosphère terrestre, une météorite peut voir la roche à sa surface fondre. L'impact de la météorite avec le sol terrestre permet la projection de cette roche fondue dans l'atmosphère et, par son refroidissement, la création d'un verre naturel nommé tectite. Enfin, les verres naturels les plus communs sont les roches volcaniques vitreuses telles que l'obsidienne et la tachylite. Celles-ci sont formées à la suite du refroidissement d'une roche riche en silice préalablement fondue par la chaleur d'un volcan. L'obsidienne, par exemple, est issue de sable fondu sous forme de laves. L'ambre, un polymère organique, est également considéré comme un verre naturel puisqu'il répond à la définition d'un verre, c'est-à-dire qu'il s'agit d'un solide amorphe. Cette matière diffère toutefois des verres communs du fait qu'il est de source organique, qu'il ne contient pas nécessairement de silice et qu'il ne nécessite pas de traitement thermique pour sa formation.

La première utilisation de matériaux vitreux reculerait à la période du Paléolithique, soit il y a plus de 12 000 ans). L'obsidienne était alors utilisée pour sa facilité relative à être taillée et son caractère coupant provenant de sa fracture conchoïdale. Au cours des millénaires, des miroirs et des outils tels que des couteaux ou des têtes de flèches ont été fabriqués à partir de ce matériel.

Selon les archéologues, les plus anciennes preuves d'un verre fabriqué par l'homme proviendraient d'Égypte et dateraient de 6 000 ans. De fines particules minérales riches en silices auraient alors été chauffées directement sur de la poterie, formant ainsi un revêtement de verre. Pour leur part, les objets les plus anciens entièrement formés de verre dateraient de 4500 ans et ont été trouvés notamment en Égypte et en Iraq. Enfin, les premières pièces de verre creux, servant de contenants, dateraient de 3 500 ans. Ces éléments étant réservés aux dirigeants, il fallut attendre l'invention du soufflage de verre en Syrie et en Palestine il y a 2000 ans pour que ce matériel devienne moins rare et plus abordable. Par la suite, l'expansion de l'Empire romain fut responsable de la diffusion du savoir du soufflage du verre en Europe. Au fil des années, Venise devint reconnue pour son travail du verre, notamment pour la fabrication de bouteilles. Au 15^e siècle, Venise était l'une des rares villes dont la majorité des habitations étaient munies de fenêtres en verre. La figure 1.1 montre la découverte des différents matériaux, notamment celle du verre 5 000 ans avant J.-C.

Le verre fut ensuite apprivoisé par les inventeurs, les scientifiques, les ingénieurs et les artistes. Les verres colorés ont fait leur apparition par l'ajout de pigments à la matière première. La composition des verres a été modifiée pour en améliorer les qualités. Les techniques de production ont également évolué pour augmenter la vitesse de production ou pour améliorer les caractéristiques du verre. De nos jours, plus de 10 000 types de verre existent.

I.4. Propriété et composition du verre :

❖ Propriétés physiques

Un verre dépend de sa composition et de la vitesse de refroidissement de la matière liquéfiée. Cependant, indépendamment de ces facteurs, la plupart des verres sont reconnus pour leur transparence, leur résistance chimique et biologique, leur résistance à l'abrasion, leur résistance thermique, leur caractère inerte et leur recyclable virtuellement infinie. La matière première des verres les plus communément utilisés est le dioxyde de silicium (SiO_2). Cette molécule, très abondante dans la croûte terrestre, s'arrange naturellement sous forme de cristal pur. La forme organisée cristalline la plus abondante et stable du SiO_2 est le quartz, qui présente un arrangement en tétraèdre démontré à la figure 1.1; Le SiO_2 peut également se présenter sous d'autres formes de cristaux qui présentent des arrangements organisés, mais moins stables, comme la cristobalite et la tridymite.

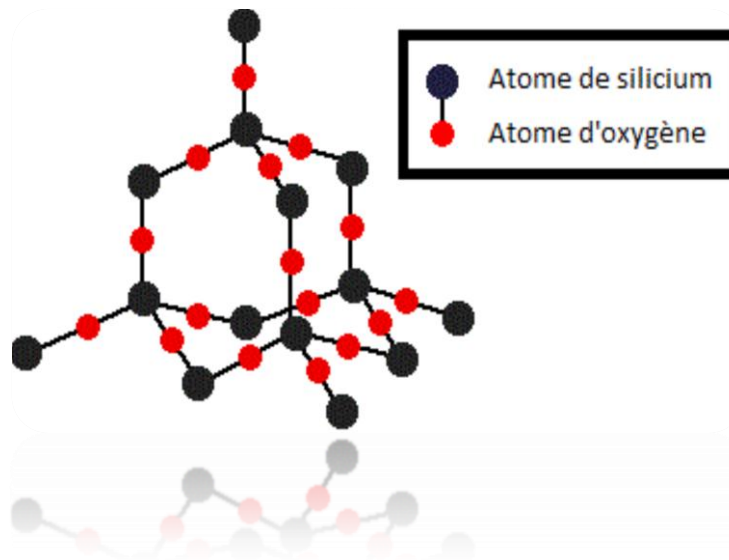


Figure I.2 : Arrangement tétraédrique des molécules de SiO_2 sous sa forme cristalline de quartz

Comme tout solide, les cristaux de SiO_2 peuvent être fondus à une température spécifique, nommée température de fusion (T_f), soit à $1610\text{ }^\circ\text{C}$ (quartz), $1703\text{ }^\circ\text{C}$ (tridymite) ou $1713\text{ }^\circ\text{C}$ (cristobalite) (International Programme on Chemical Safety). En refroidissant lentement, le SiO_2 liquide s'organise et cristallise sous l'une des formes organisées et stables nommées précédemment. Cependant, lors d'un refroidissement rapide, le liquide ne peut s'organiser en cristal et les molécules figent dans le même désordre qu'un liquide, devenant un solide amorphe (Cotton, Wilkinson et Gaus, 1995). Dans le cas du SiO_2 , un tel solide amorphe est un verre. La figure 1.2 représente, sur un diagramme de phases, la relation entre la phase d'une substance en fonction de sa température. Un solide sous forme de cristal devient liquide à T_f . Le liquide obtenu, lorsque refroidi rapidement, ne peut s'arranger en cristal et devient un liquide en surfusion (supercooled liquid). À la

température de transition vitreuse (T_g), le liquide en surfusion devient un solide amorphe : un verre (glass). La figure 1.3 représente la structure ordonnée d'un cristal comparativement à l'arrangement désordonné d'un solide amorphe.

À l'instar des changements de phases entre l'eau et la glace, la formation du verre est un procédé physique réversible et non pas une réaction chimique. Cette réalité explique la recyclabilité facile et virtuellement infinie du verre.

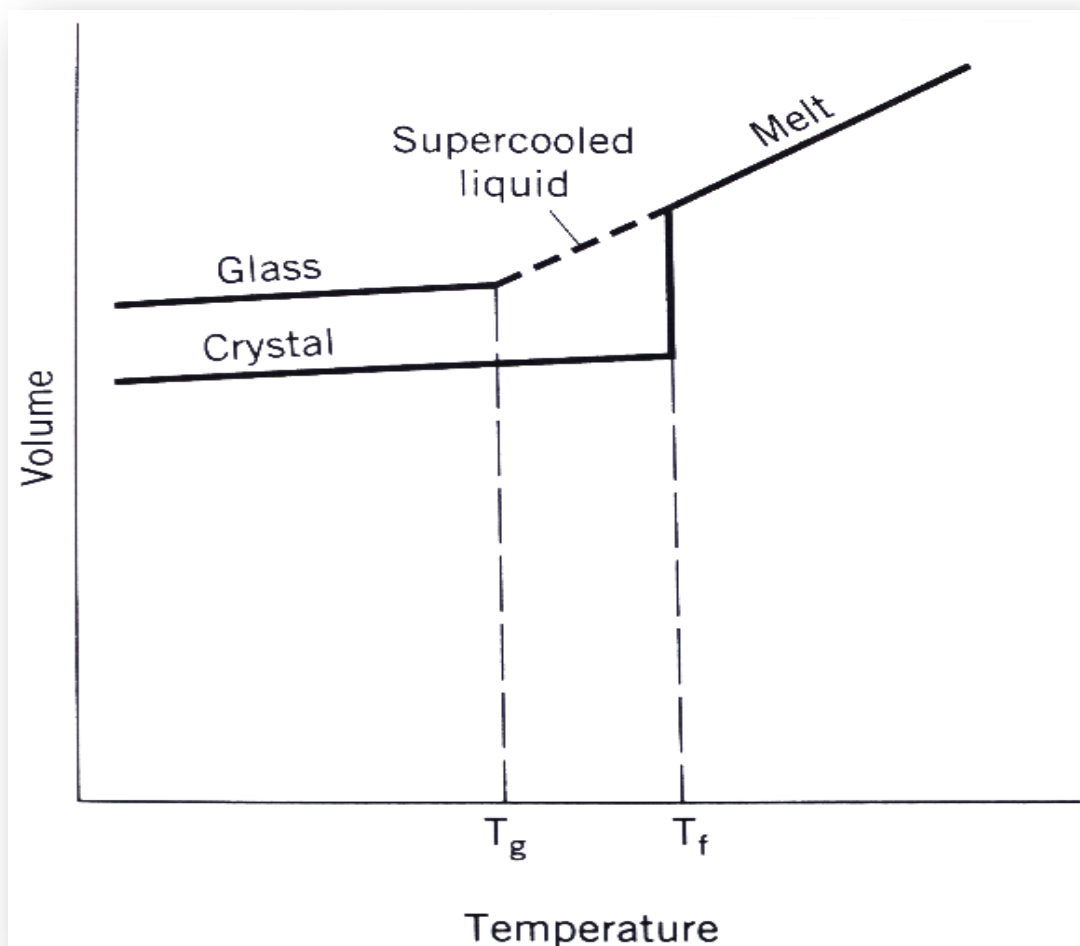


Figure I.3 :Diagramme de phase d'un cristal, d'un verre et de leur liquide associé (tiré de : Cotton, Wilkinson et Gaus, 1995, p. 775)

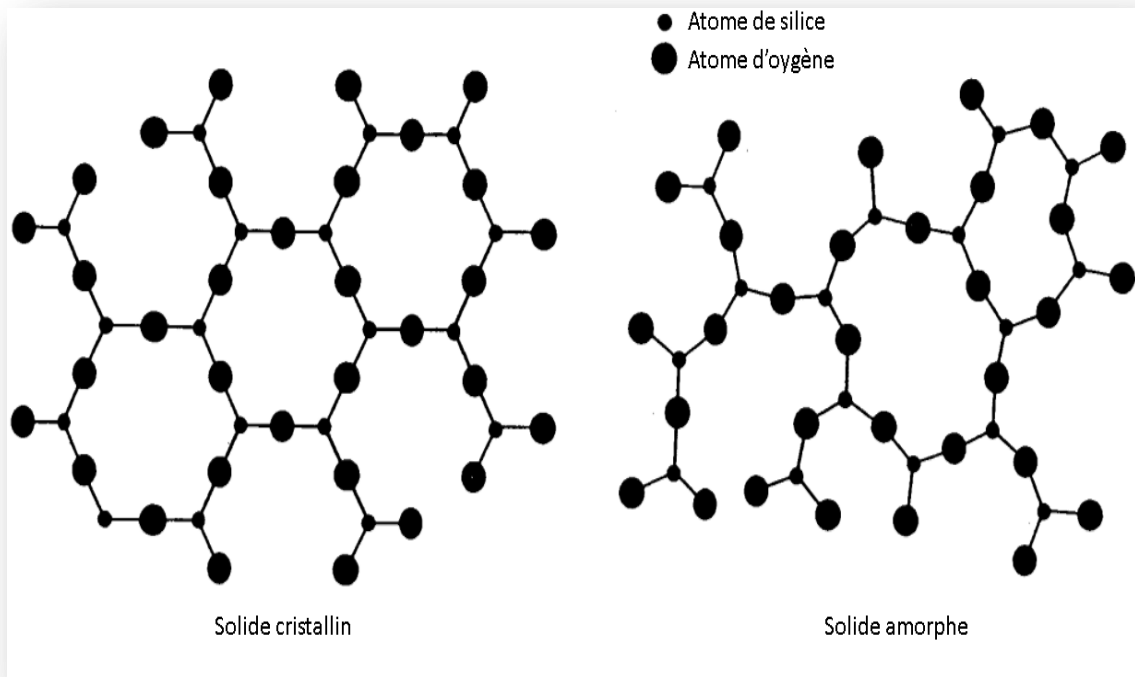


Figure I.4 : Représentation d'un solide cristallin et d'un solide amorphe

Le silicium (Si) est également abondant sous forme de silicates : un arrangement polymérique où les monomères de SiO_2 forment des chaînes ou des couronnes chargées négativement. Ces charges négatives sont balancées par des ions positifs (cations) métalliques dont le plus commun est l'aluminium (Al^{3+}). Les nombreuses espèces qui combinent le SiO_2 à l'aluminium forment la famille des aluminosilicates.

Les propriétés mécaniques :

Le problème pratique est, dans les verres, de combiner au mieux un moindre coût les différentes propriétés recherchées.

1/les caractéristique mécanique en fonction de la température :

Le comportement du verre dépend de la température :

✚ A température ambiante, le verre est considéré comme un solide (car sa viscosité est très élevée environ 10^{19} Pa.s) mais ne présente aucune plasticité macroscopique donc est considéré comme un matériau fragile (la rupture survient brutalement sous l'effet d'une contrainte croissante).

✚ A une température proche de la température de transition vitreuse, le verre montre un comportement élastique quasiment parfait. Cependant certains verres contenant des ions extrêmement mobiles (ions alcalins tel que Li^+ , Na^+ , K^+) présentent une anélasticité (faible élasticité).

✚ A la température de transition vitreuse .le verre devient viscoélastique (comportement intermédiaire entre celui d'un solide élastique et un liquide visqueux newtonien).

2/Viscosité & Masse volumique :

Viscosité : les verres sont des fluides newtoniens c'est -à-dire la viscosité dépend de la contrainte de cisaillement et la vitesse de déformation angulaire.

La viscosité, propriété capitale dans la mise en forme et la préparation de des verres , dépend de la nature de structure du matériau , et de la température.

Allure de la courbe de viscosité d'un liquide précurseur de verre

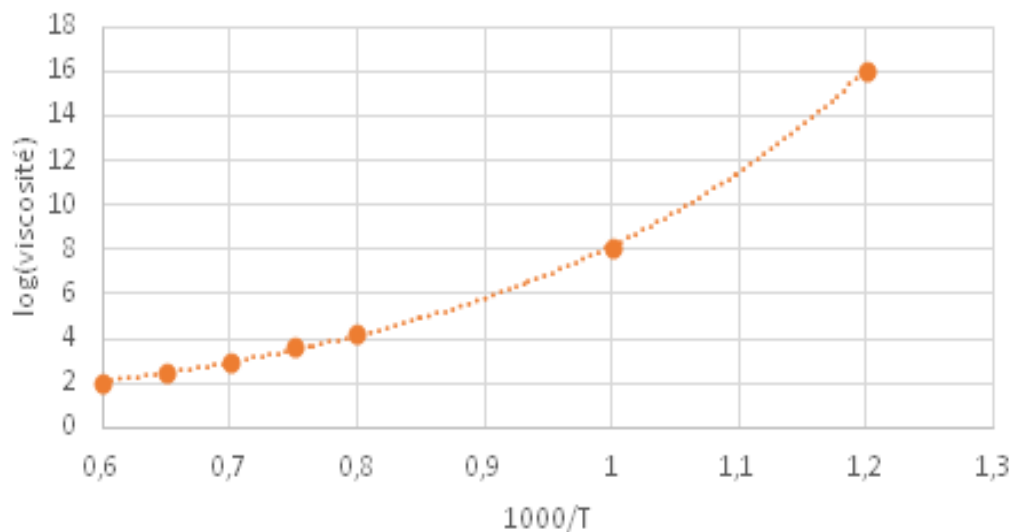


Figure I.5 : la viscosité d'un précurseur de verre en fonction de la température

La masse volumique : variée en fonction de la taille, la charge et la coordinence des cations .A partir de la densité et de la composition chimique, on peut calculer le volume molaire, V_M

3/Dureté :

L'étude de la dureté fait intervenir quatre phénomènes : une déformation élastique, une densification, un écoulement plastique et la formation d'un réseau microfissures. La densification disparaît par relaxation lors d'un traitement thermique.

Par contre, la déformation plastique est irréversible et liée à la température de transition vitreuse du verre.

Dans le cas d'un verre à faible taux de modificateurs, l'empreinte résiduelle résulte principalement du phénomène de densification.

Dans le cas des verres riches en modificateurs, le phénomène d'écoulement plastique est prépondérant.

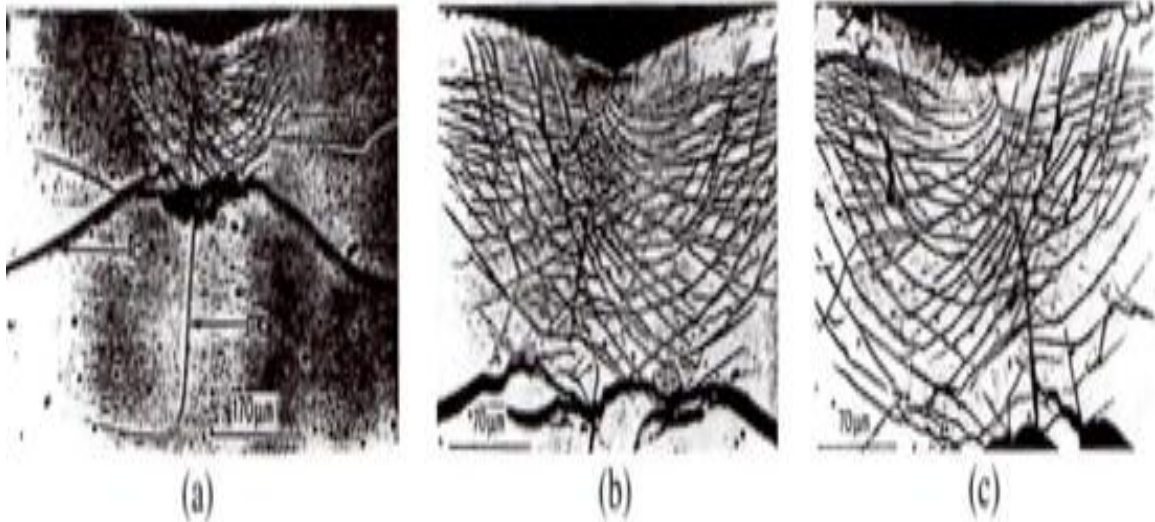


Figure 1.6 : Damage produit dans un verre sodocalcique (Traité des matériaux-16céramique et verre-page659- Jean-Marie Haussonne, ClaudCarry ,Paul Bowen ,James Barten).

(a) : Déformation élastique & écoulement plastique.

(b) : Densification.

(c) : Densification & formation d'un réseau microfissure.

4/Résistance mécanique :

La résistance d'un objet en verre à un effort de traction dépend de la profondeur des microfissures existant dans la partie de la surface qui est en extension. La résistance mécanique n'est pas une propriété intrinsèque dépendant de la composition mais une caractéristique qui varie suivant l'état de la surface.

a) Verres sodocalciques

Les verres les plus communs sont composés de SiO_2 , d'oxyde de sodium (Na_2O) et d'oxyde de calcium (CaO), d'où leur nom (Étienne et al., 2008). Ces ajouts permettent notamment de réduire la T_f du mélange d'ingrédients (Na_2O) et d'augmenter la résistance du verre qui en résulte (CaO) (Glass Packaging Institute, 2018a). L'abondance et le faible coût de ces ingrédients ainsi que la T_f abaissée permet la fabrication d'un verre très abordable et facilement recyclable par fusion à une température plus faible.

b) Verres borosilicatés :

Les verres borosilicatés (pyrex) sont composés, entre autres, de SiO_2 et de sesquioxyde de bore (B_2O_3). Le bore permet de créer un réseau à haute connectivité de molécules liées. En effet, le bore favorise la formation d'une plus grande quantité de liaisons chimiques au sein du verre, ce qui en améliore la stabilité (Hubert et Faber, 2014). Pour cette raison, le pyrex a une excellente résistance thermique, expliquant son utilisation en laboratoire et en cuisine. (Kopp Glass, 2016) Pour cette même raison, la Tf du pyrex est plus élevée que le verre conventionnel. Il est donc plus difficile à recycler avec ce dernier (Citizen Communications, LLC, 2018b).

c) Verre au plomb :

Un verre au plomb, aussi appelé cristal, contient un minimum de 24 % d'oxyde de plomb (PbO). Cette composition confère au verre une transparence et un indice de réfraction plus élevés que les verres sodocalciques. Ces qualités améliorent l'aspect visuel du verre et expliquent son utilisation en art, décoration et bijouterie. La composition unique du cristal en fait également un verre qui ne peut être recyclé avec les verres sodocalciques (Glass Packaging Institute, 2018b).

d) Verre alumino-silicates :

Les verres alumino-silicates contiennent de l'oxyde d'aluminium(III) (Al_2O_3) qui confère au verre d'excellentes propriétés mécaniques, chimiques et thermiques. Ces verres sont utilisés comme matériaux à haute résistance thermique, notamment dans les ampoules, les matériaux de résistance électrique, etc. Considérant leur Tf supérieure aux verres sodocalciques, ces verres ne peuvent pas être recyclés avec les verres communs.

I.5.Fabrication du verre :

Le verre peut être produit à partir de matière minérale vierge (silice) ou de verre broyé de récupération (calcin). La fabrication du verre comporte quatre stages. En premier temps les matériaux bruts sont fondus, ensuite le verre en fusion est raffiné afin d'obtenir l'homogénéité, il est alors façonné, et enfin passe au procédé d'anéanti pour éliminer des stresses développés pendant le façonnement. Pour des verres particuliers, des étapes supplémentaires sont parfois appliquées, comme le durcissement et la décoloration. La majorité de ces étapes sont effectuées, aujourd'hui, à la machine.

Tableau I Composition (en % en masse) des verres industriels

	SiO ₂	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO
Verre plat	72,5	-	1,5	13	0,3	9,3	3
Verre à bouteilles	73	-	1	15	-	10	-
Pyrex	80,6	12,6	2,2	4,2	-	0,1	0,05
Fibre de verre	54,6	8,0	14,8	0,6	-	17,4	4,5

I.6. Recyclage et autre technique de valorisation :



La valorisation englobe l'ensemble des techniques permettant de détourner la matière de l'élimination.

L'une de ces techniques, le recyclage, se définit comme l'utilisation « d'une matière récupérée en remplacement d'une matière vierge. » (RECYC-QUÉBEC, 2017c).

Les résidus de verre récupérés peuvent être utilisés dans plusieurs procédés en remplacement de diverses matières premières. Le recyclage et la valorisation du verre pallient certaines problématiques de l'élimination et à d'autres enjeux liés à l'industrialisation. Au niveau environnemental, la valorisation du verre permet entre autres de diminuer la pression sur les ressources, diminuer la vitesse de remplissage des lieux d'enfouissement, diminuer la génération dans GES dans l'industrie du verre et de diminuer le transport associé aux déchets et aux ressources. D'un point de vue économique, l'utilisation de matières secondaires est bénéfique pour les différentes industries qui valorisent le verre recyclé en remplacement de matières premières. Le coût de gestion de la filière de la récupération est également inférieur au coût de l'élimination dû à la vente subséquente de matières à des recycleurs.

I.7. Recyclage du calcin (verre cassé) :

La récupération du verre (calcin) d'emballage des ménages s'accroît dans les pays industriels et se traduit notamment par des recyclages en boucle: les bouteilles deviennent à nouveau des bouteilles. Cependant, certains problèmes restent à résoudre:

- Limites d'un recyclage en boucle en l'absence de tri par couleurs.
- Devenir des fines de verre qu'il n'apparaît pas souhaitable de réenfournir.
- Valorisation dans des contextes insulaires, ainsi que dans des pays peu industrialisés
- en l'absence de verrerie industrielle implantée localement.

On va explorer des pistes alternatives de valorisation, suivant un recyclage en cascade (à défaut d'un recyclage en boucle). On distinguera en outre les types de valorisations suivant qu'elles nécessitent ou non une refonte (une nouvelle fusion) du verre.

I.8. Position du problème :

**Comment déterminer une méthodologie de stabilisation
d'argile aux liants (la chaux) et des verres recyclés?**

Consacré aux problèmes de déchets et les enjeux économiques et environnementaux liés à l'entreposage au niveau des décharges de ces matériaux et à leur réutilisation dans le domaine de la construction. Notre projet consiste à substituer une partie de l'argile et la remplacer par du verre broyé, elle représente une nouvelle technique à étudier dans la partie expérimentale.

I.9. Conclusion :

Un concassage ou broyage du verre de récupération est toutefois nécessaire; suivant les applications, la granulométrie requise est plus ou moins fine et plus ou moins stricte. Le cas échéant, on peut utiliser des fines de verre produites de façon intentionnelle, mais avec des réserves relatives aux impuretés contenues.

Chapitre II :

**DISPONIBILITE ET
QUANTIFICATION
DESVERRE à RECYCLER**

II.1.Introduction :

D'un point de vue économique, le recyclage, la réutilisation et la réduction des déchets présentent des opportunités de développement pour les collectivités locales. Les services de collecte du verre et les centres de recyclage créent et maintiennent 10 fois plus d'emplois que la mise en décharge ou l'incinération. Fabriquer du verre à partir de verre recyclé est également moins cher, des économies dont peut bénéficier le consommateur.

II.2. Quantité et caractéristique des déchets en Algérie :

Avec à peine 10% de taux de recyclage, l'Algérie ne figure pas sur la liste des nations qui valorisent le plus leurs déchets dont le volume est pourtant en augmentation avec la croissance démographique et celle de la consommation.

On estime à près de 23 millions de tonnes la quantité de déchets solides générée annuellement en Algérie, dont plus de la moitié est constituée de déchets ménagers et assimilés (DMA) - entreprises, hôpitaux, écoles, collectivités, etc. - représentant la part la plus importante des déchets solides générés en Algérie, soit autour de 11 millions de tonnes par an en 2014. Un Algérien génère en moyenne près de 1 kg de DMA par jour.

La quantité de ces déchets augmente annuellement de 3%, selon les chiffres de l'Agence nationale des déchets (AND). Une étude allemande (GIZ) a estimé à plus de 2,5 millions la quantité annuelle des déchets industriels. Les déchets ne manquent pas, mais c'est le sort qui leur est réservé qui pose problème. Près de la moitié des déchets ménagers et assimilés sont déversés dans des décharges.

La mise en décharge est considérée comme une pratique moins coûteuse par rapport à l'incinération ou le compostage, explique-t-on à l'AND. En 2002, le gouvernement avait adopté le programme national de gestion des déchets municipaux qui prévoyait notamment la mise en place d'un système de tri sélectif et l'éradication des décharges sauvages.

On ne peut pas dire que depuis le résultat soit spectaculaire. Le tri sélectif reste assez confiné et les décharges sauvages pullulent un peu partout, à l'intérieur même des villes. Faute de moyens financiers, les communes et les entreprises en charge de la collecte sont dépassées. Dans ces conditions, quelle place pour le recyclage, sachant que les déchets sont collectés sans être triés,

Des enquêtes ont été menées par des bureaux d'études comme EEC ex EDIL ou l'ANAT sur quelques agglomérations importantes du pays (Alger, Bechar, Djelfa, Mila, Médéa, Mostaganem, etc.) et les résultats sont présentés sur la **figure II.1** :

Les matières organiques représentent plus de 62 % du volume des déchets en général. Alors que l'ensemble des déchets recyclables (plastique, papier verre, métaux) ne représente que 37 % du volume des déchets.

CHAPITRE II : disponibilité et quantification de verre à recycler



Figure II.1 : Quantités des principaux déchets collectés sur quelques agglomérations en Algérie

Tableau II : Quantités des principaux déchets recyclables

	Alger 2003	Oran 2001	Médéa 98	Bechar 99
Matières Organiques	75	82,4	70	56,53
Papier- carton	13	12,50	11,65	13,2
Plastiques	10	8,30	13,50	12,8
Métaux	1,30	2,60	1,35	4,86
Verres	0,80	1,30	0,50	2,66

CHAPITRE II : disponibilité et quantification de verre à recycler

On peut représenter les résultats du tableau I.3 graphiquement

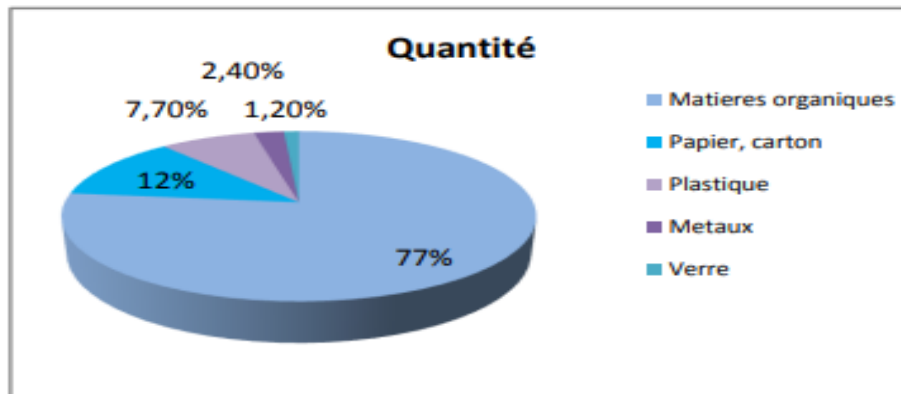


Figure II.2: Quantité des principaux déchets recyclables à Alger(2003).

Particulièrement dans les villes du nord, les matières organiques représentent plus de 70 % du volume des déchets en général. Dans les villes du Sud où les habitudes alimentaires sont différentes, on a constaté qu'une partie de ces déchets est destinée à l'alimentation du bétail, des chèvres, c'est le cas de Bechar. Les plastiques et les métaux ne représentent que de faibles proportions dans les déchets urbains mais leur taux est en augmentation continue.

Les plastiques et les métaux ne représentent que de faibles proportions dans les déchets urbains mais leur taux est en augmentation continue.

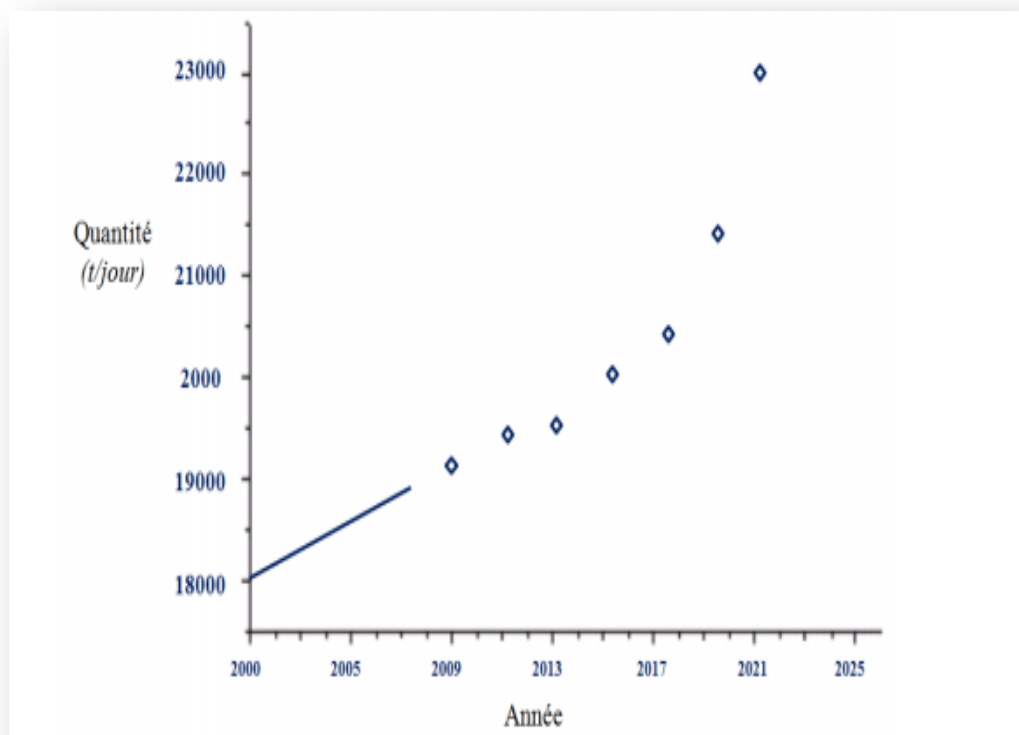


Figure II.3: Quantités journalières de déchets produits par la population algérienne.

CHAPITRE II : disponibilité et quantification de verre à recycler

Tableau II.2 : Evaluation de la quantité de déchets générés au niveau national.

Horizon	Population (million)	Quota (kg/hab/j/)	Tonnage journalier	Tonnage annuel
2000	30.4	0.61	18544	6768560
2003	31.3	0.63	19419	7197435
2005	32.9	0.65	21385	7805525
2007	33.8	0.68	22984	8389160
2009	34.3	0.7	24010	9225740
2011	35.9	0.73	26207	11620140
2013	36.8	0.75	27600	11201680
2015	37.4	0.78	29172	13418860
2017	37.9	0.8	30320	11066800
2019	38.4	0.83	31872	11633280
2021	39.7	0.85	33745	12316925
2023	40.2	0.88	35376	12912240
2025	40.8	0.95	38760	1447400

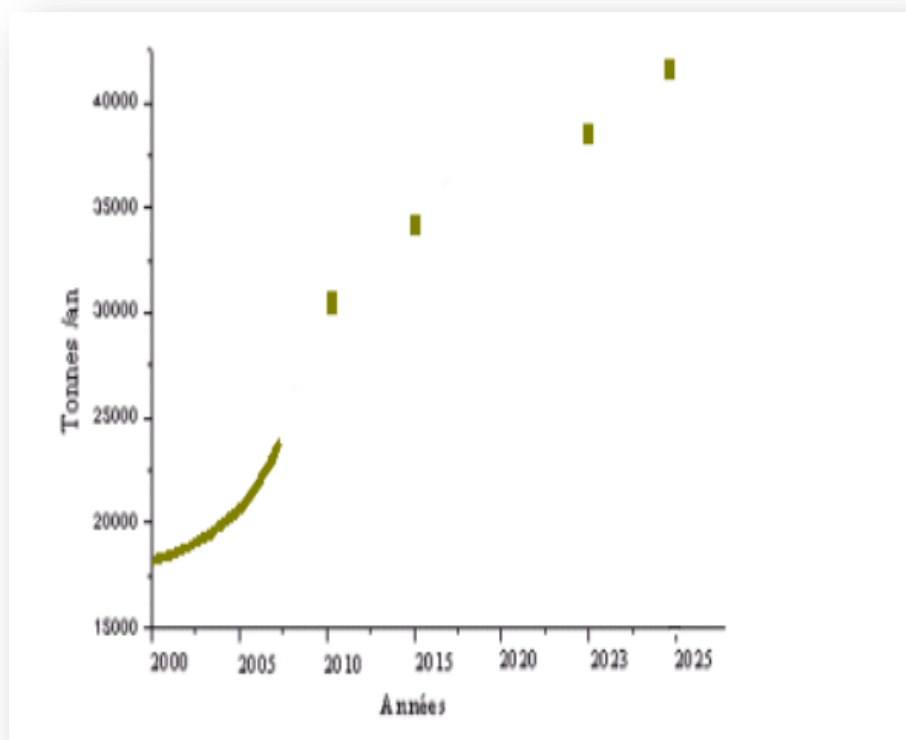


Figure II.4 : Tonnage annuel à l'horizon 2025 au niveau national.

II.3. Les avantages :

Les avantages du recyclage du verre sont nombreux :

CHAPITRE II : disponibilité et quantification de verre à recycler

❖ Un taux de récupération plus élevé que la collecte sélective, une pureté de résidus de verre plus élevée que celle obtenue par les centres de tri ont un impact environnemental inférieur à la collecte sélective. Toutefois, les avantages sont plus importants encore que ceux de la consigne publique grâce, entre autres, au fait que les contenants sont réutilisés au minimum 10 fois

❖ Augmentation de la durée de vie des fours.

❖ Diminution des coûts de traitement de déchets (Glass Works, 1982).

II.4.1. Dimension environnementale :

Les enjeux environnementaux de la gestion du verre ont été discutés au cours des sections précédentes du présent essai. Les débouchés proposés pour les résidus de verre ont été analysés afin de déterminer s'ils démontrent un avantage environnemental en comparaison avec la gestion actuelle des résidus de verre. Il est connu que la majorité du verre ait été, depuis 2013, utilisée comme matériau de recouvrement dans les lieux d'enfouissement, ou tout simplement enfouie avec les autres déchets. Tous les autres débouchés présentent un intérêt, comparativement à l'enfouissement, du fait qu'une matière secondaire (le verre récupéré) permet de remplacer des matières premières (le sable dans les contenants de verre, dans les médias de filtration et dans le sablage par jet, le calcaire dans le ciment, ainsi que différents additifs industriels). En évitant l'extraction et l'exploitation de matières premières, tous ces débouchés respectent les principes de protection de l'environnement, de préservation de la biodiversité et de production et consommation responsables de la Loi sur le développement durable (MDDEP, 2009).

II.4.2. Dimension économique :

La crise du verre découlerait au moins en partie d'une problématique économique. Selon les responsables de l'ancienne usine Klareco, sa fermeture serait directement liée à l'incapacité de couvrir les frais rattachés au conditionnement du verre. Pour expliquer cette mauvaise balance économique, deux explications sont possibles. Il est premièrement possible que la valeur du verre récupéré sur les marchés du recyclage soit trop faible. La deuxième explication proviendrait des coûts de conditionnement trop élevés.

II.4.3. Dimension sociale :

La dernière dimension s'intéresse à l'aspect social de la gestion du verre. Peu discuté dans les sections précédentes du présent essai, cet enjeu est pourtant central à la crise du verre. Cette dernière, très médiatisée depuis la fermeture de l'usine Klareco en 2013 et du marché asiatique des matières recyclables en 2017, inquiète de façon évidente une portion de la population. L'enfouissement de la majorité du verre issu des centres de tri peut décourager les citoyens à continuer leurs efforts de tri des matières résiduelles.

II.5.conclusion :

Malgré l'analyse développée au cours du présent essai concernant l'état actuel de la gestion du verre, il faudra assurément attendre la fin de la période d'essai des nouvelles technologies en centres de tri avant de répondre définitivement à la question fondamentale du présent essai. Si les centres de tri ne réussissent pas à produire du verre assez pur pour répondre aux besoins des conditionneurs et recycleurs, il sera pertinent d'étudier différentes méthodes de récupération, telle que la consigne. Toutefois, s'ils réussissent à produire du verre d'une pureté suffisante pour assurer son recyclage.

CHAPITRE III :

**COMPORTEMENT DES ARGILES
ET LES TECHNIQUES DE
STABILISATION**

III.1. Introduction :

Beaucoup d'ouvrages sont érigés sur des dépôts d'argile, dont le comportement est considérablement influencé par les propriétés physico-chimiques des minéraux argileux. Certains sols argileux changent de volume en fonction de leur teneur en eau et peuvent, de ce fait, créer des désordres dans les ouvrages géotechniques. Le phénomène de gonflement dépend des caractéristiques minéralogiques du matériau argileux et de la nature de la solution d'hydratation. C'est pourquoi une description microscopique du phénomène est cruciale afin de bien comprendre les traits spécifiques qui caractérisent ces matériaux vis-à-vis de l'eau. On dispose pour cela plusieurs classes de solutions parmi eux la stabilisation par mélange de la chaux et du verre.

III.2. Les Argiles

III .2.1 : Définition

Les argiles sont des phyllo-silicates-hydrates formés par l'association de feuillets élémentaires qui s'accrochent entre eux pour former des éléments dénommés empilements par certains auteurs (Push et al, 1999), ou cristallites par d'autres (Tessier et Grimldi, 1993) l'espace entre deux feuillets est appelé espace inter foliaire. Ces cristallites se rassemblent par des dispositions face-face pour former une particule argileuse. Dans le cas des smectites calciques, les empilements de cristallites laissent des espaces libres au sein des particules, espaces qui jouent un rôle très important au cours de la dessiccation et de l'humidification. Le nombre de feuillets par particule est variable suivant le type d'argile considérée et, dans le cas des smectites, variable en fonction de l'état hydrique (Benrhaiem et al, 1986) [6].

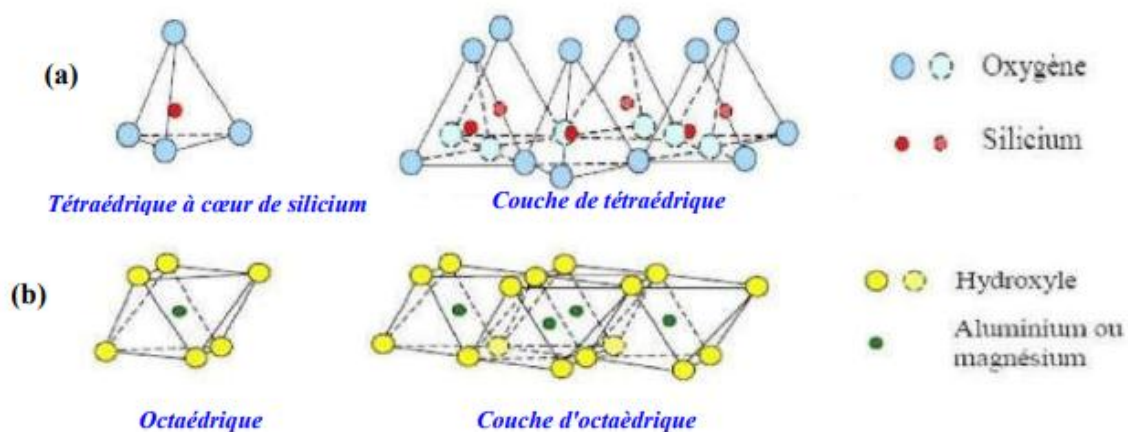


Figure III-1: Couches tétraédriques et octaédriques.

La représentation de la structure minéralogique d'une particule d'argile est donnée par l'organigramme suivant (**Figure III-2.**) :

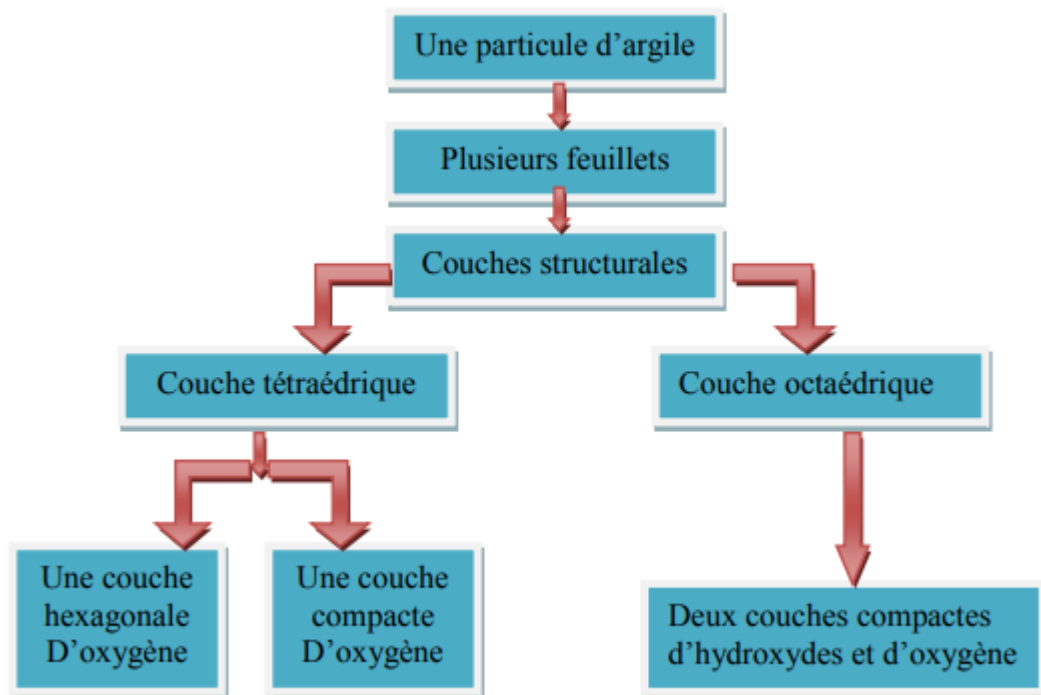


Figure III-2: Représentation de la structure minéralogique d'une particule d'argile.

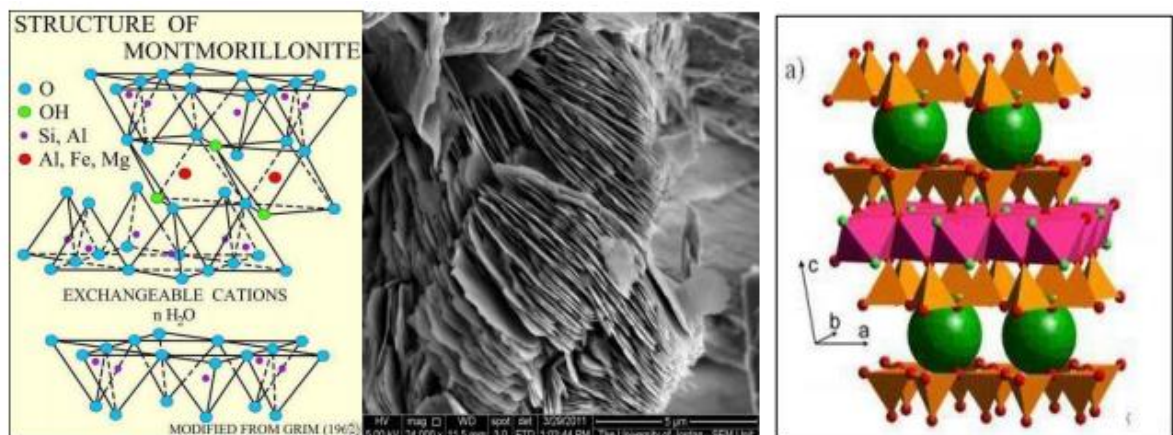


Figure III -3 : présentation de la structure des argiles :

III .2.2 Différents types d'argile :

Trois grands types d'argiles peuvent être identifiés. Il y a tout d'abord le groupe de la kaolinite dont le feuillet élémentaire comporte une couche tétraédrique et une couche octaédrique. Les liaisons entre les feuillets sont de type hydrogène et peuvent être qualifiées de liaisons fortes. Les argiles de cette famille sont dites argiles T-O. Le deuxième grand groupe d'argile est celui des illites pour lequel les feuillets sont composés de trois couches : deux tétraédriques et une octaédrique. Les liaisons entre les feuillets se font par des ions potassium énergiquement fixes. Ces argiles sont appelés argiles T-O-T. Le troisième groupe est celui des smectites sont également formes de feuillets à trois couches et sont donc aussi des argiles T-O-T (fig. I.3). Il n'existe pas de liaison hydrogène entre les feuillets élémentaires

ni de cation inter foliaire capable de maintenir fortement les feuillets entre eux de plus les substitutions d'aluminium par du fer ou du magnésium au sein des octaèdres et tétraèdres sont assez fréquentes. La montmorillonite est une argile de famille des smectites comme la bentonite qui est aussi une roche issue de l'altération de cendres volcaniques (Foucault & Raoult, 1995) [6].

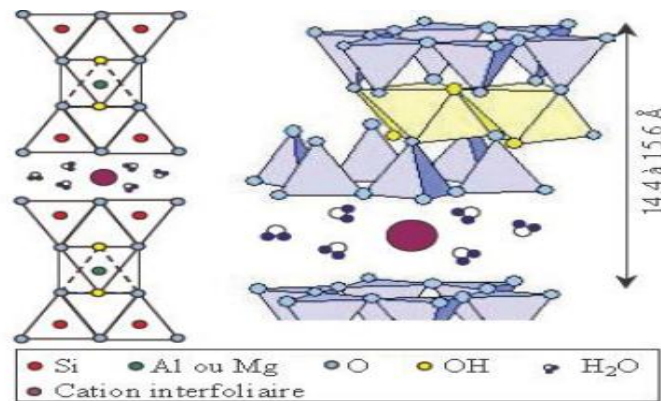


Figure III-4: Structure des argiles du groupe des smectitems.

III.2.3. Texture des argiles :

La texture des minéraux argileux dépend du mode de sédimentation et de l'état de consolidation. Une roche argileuse qui présente une organisation serrée et orientée des particules d'argiles n'a pas le même gonflement qu'un sol argileux dont la sédimentation a été rapide et récente et pour lequel la distance entre les plaquettes est maximale. Cette organisation des minéraux argileux est la principale cause du gonflement anisotrope (wakim j, 2005). Les matériaux argileux ne sont pas uniquement composés des argiles. Au sein de la fraction argileuse, plusieurs types de minéraux peuvent coexister. La texture des matériaux argileux se superpose donc aux organisations des autres minéraux non argileux. Cette hétérogénéité rend la structure et la texture extrêmement complexes, surtout lorsque les minéraux argileux sont cimentés par d'autres minéraux carbonatés. Les observations microscopiques effectuées par montes et al, cité Par (wakim j, 2005) sur les argilites, subissant des cycles d'humidification dessiccation, confirment des fracturations le long des surfaces localisées à proximité des matériaux rigides non gonflants (**Figure. III.5**).

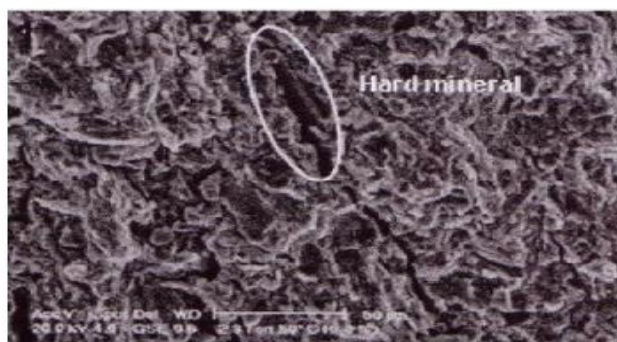


Figure .III.5: Ouverture des fissures en proximité des matériaux rigides.

Chapitre III: comportement des argiles et les techniques de stabilisation

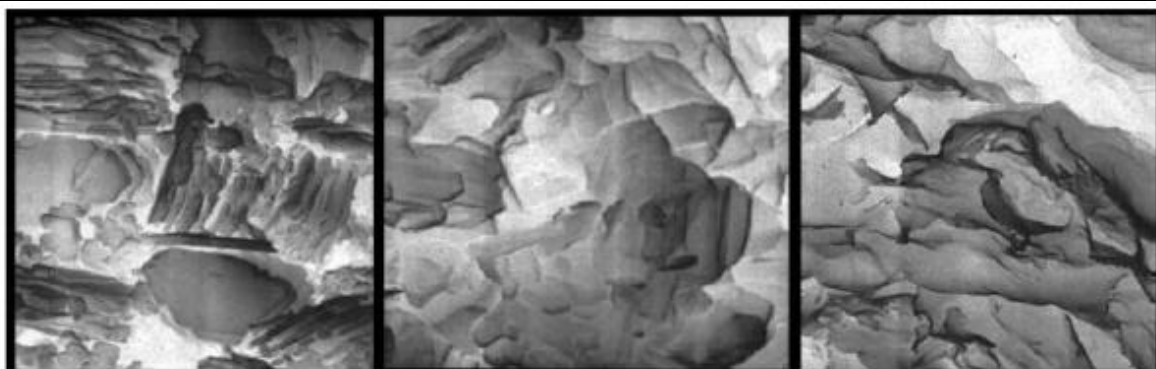
L'évolution de la micro texture en fonction de l'hydratation peut être observée à l'aide du microscope électronique à balayage (M.E.B.) ou de la tomographie à rayons X (M. Gasc-Barbier, H. Freissmuth et X. Daupley) cité Par (wakim j, 2005). La figure III.6 présente des images de ces argiles prises au microscope électronique à balayage, permettant d'analyser l'évolution de texture au cours gonflement. Les observations montrent que, pour la kaolinite, le gonflement est uniquement de type inter-agrégats, au niveau des pores interstitiels alors que pour les smectites, le gonflement est de type intra-agrégats, c'est-à-dire entre les feuillets (Bultel Frédéric, 2001).

Ces observations microscopiques confirment une nouvelle organisation des feuillets argileux qui se manifeste par un écartement parallèle observable dans le cas des roches argileuses ou par un effet combiné d'un écartement et d'une rotation comme c'est le cas pour les sols argileux non indurés (Wakim J, 2005). Globalement, le pourcentage en minéraux gonflants, les carbonates, les minéraux non gonflants d'une part, et la nature de la consolidation d'autre part, présentent une influence notable sur le gonflement, le retrait et le changement des Propriétés mécaniques. [2]

Les caractéristiques de ces argiles sont résumées dans le **Tableau III-1** La **Figure III.6** présente des images de ces argiles prises au microscope électronique à balayage.

Tableau III-1: Caractéristiques des argiles

Nom	Type	Nombre de feuillets par particule	Diamètre d'une particule (μm)	Epaisseur d'une particule (μm)	Surface Spécifique en m^2/g	C.E.C en $\text{meq}/100\text{g}$
Kaolinite	1 : 1	100-200	0.1-4	1-10	10-20	3-15
Illite	2 : 1	1-10	0.1-1	0.003-0.01	65-100	10-40
	2 : 1	1	0.1	0.001	700-840	80-150
	2 : 1 : 1	1	0.1	0.005	800	10-40



Kaolinite

Illite

Montmorillonite

Figure III-6: Photographies au Microscope Electronique à Balayage des argiles

III.3. Mécanismes de gonflement des argiles :

Il est bien connu qu'au contact de l'eau, l'argile est un matériau qui a la faculté de gonfler. d'après Gens et Alonso (1992), le phénomène de gonflement paraît relever de deux causes : L'hydratation des espaces inter foliaires entraînant un accroissement de leurs dimensions (augmentation de la porosité inter foliaire) : gonflement cristallin ; La répulsion entre les particules (augmentation de la porosité inter foliaire et (Interarticulaire) : gonflement osmotique.

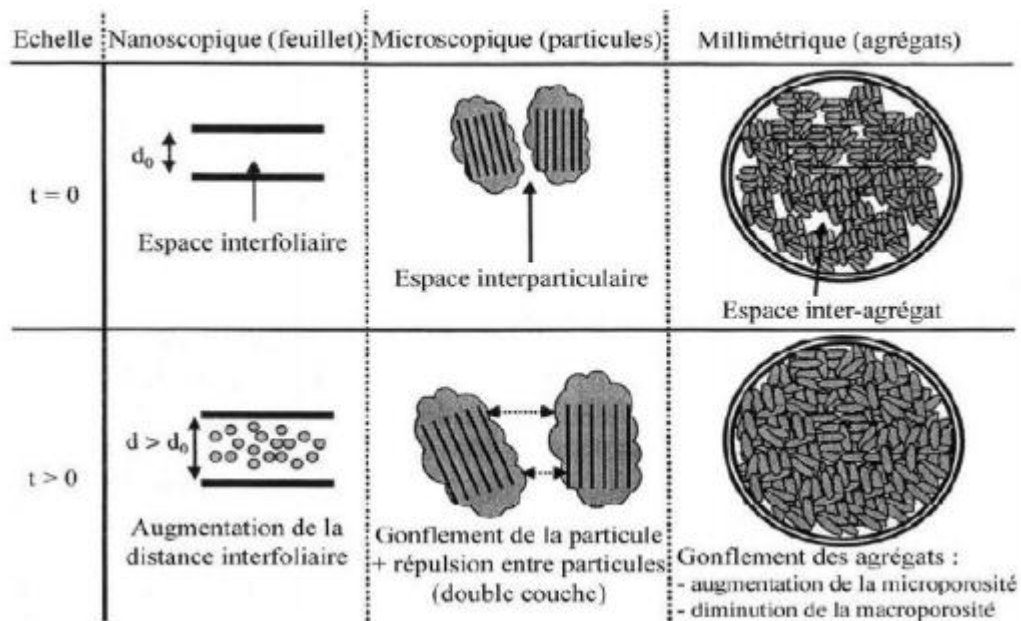


Figure III-7: Schéma présentant les différentes origines du gonflement.



Figure III-8: Mécanismes de gonflement des argiles par hydratation.

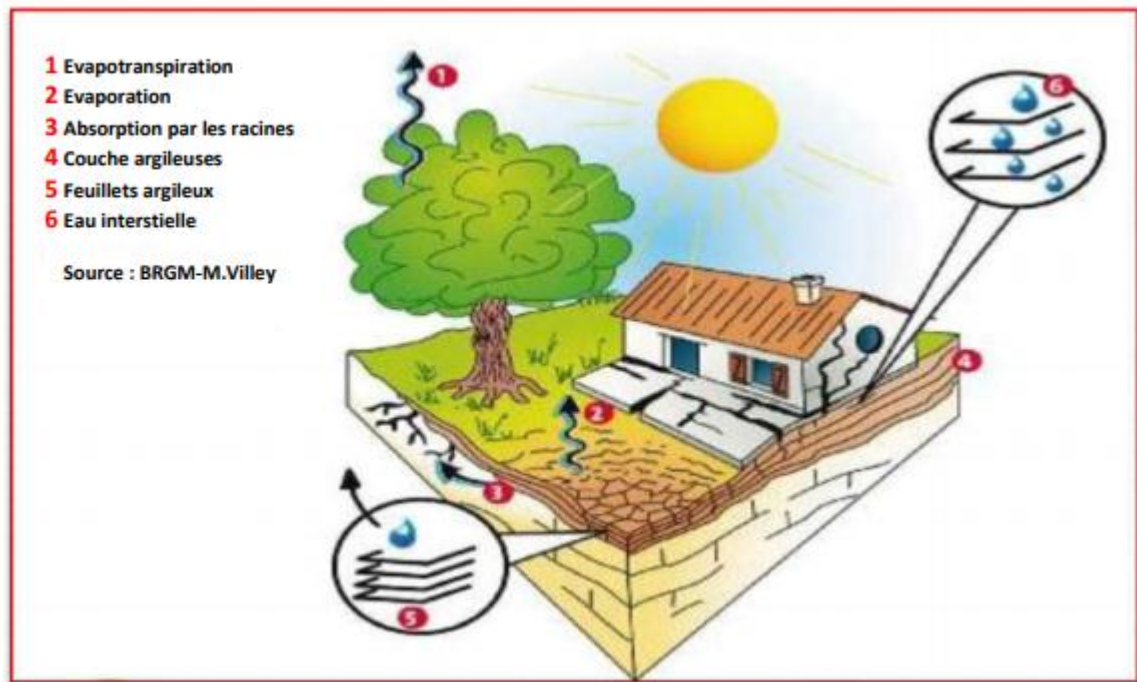


Figure III-9: Mécanisme de gonflement.

III.3.1. Evolution de la texture au cours du gonflement :

La variation de texture des sols au cours du gonflement peut être étudiée à l'aide de deux techniques complémentaires, la microscopie électronique à balayage (M.E.B.) et la porosimétrie par injection de mercure. La MEB permet de visualiser la texture des sols, donc d'obtenir des informations générales (arrangement des particules, estimation de rayons de pores, de tailles de particules, détermination de certains minéraux...). La porosimétrie l'étude du réseau poreux est fondamentale puisque c'est la dilatation volumique qui cause le gonflement macroscopique.

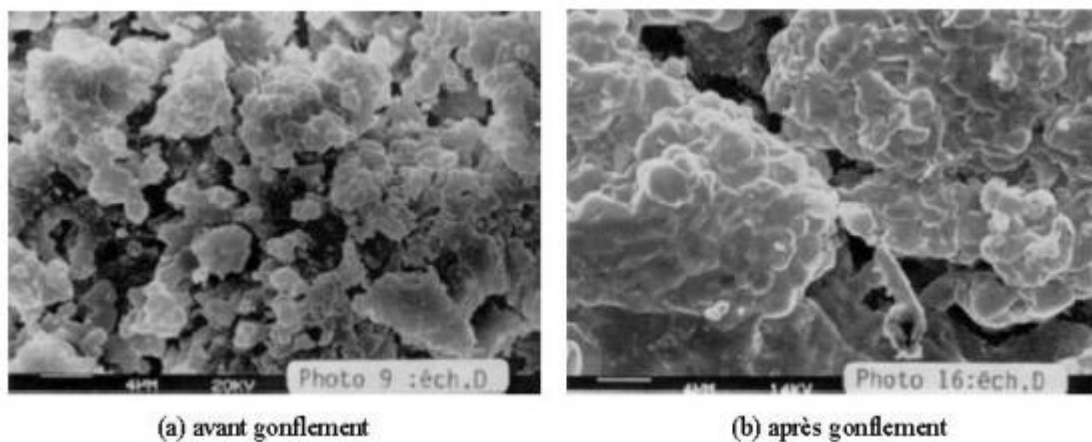


Figure III-10: Observation au MEB d'une texture argileuse.

Chapitre III: comportement des argiles et les techniques de stabilisation

Les observations au M.E.B. ont montré que les sols étudiés ont, à l'état naturel, une texture assez compacte, constituée plus ou moins nettement d'agrégats argileux individualisés et tassés les uns contre les autres. Au gonflement, cette texture évolue en une configuration en agrégats séparés par des pores de géométrie plutôt bidimensionnelle. La taille des agrégats diminue et l'épaisseur des pores augmente au cours du gonflement. La figure III.11 illustre cette évolution.

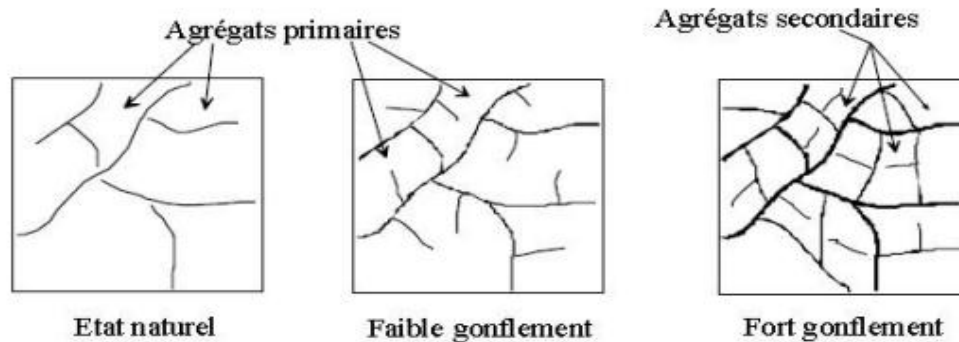


Figure III-11 : Evolution de texture des sols au cours du gonflement.

III .3.2. Identification des sols gonflants :

L'identification des sols gonflants est généralement abordée à partir des paramètres physico-chimiques facilement mesurables lors des essais préliminaires. Or, cette identification indirecte se trouve compliquée par l'existence de plusieurs approches qui ne se basent ni sur les mêmes paramètres, ni sur le même nombre. Mais, l'utilisation de ces identifications indirectes conduit à soupçonner le caractère expansif d'un sol. Par contre, les paramètres d'identification directs obtenus lors des essais de gonflement caractérisent plus précisément le comportement gonflant du sol.

III.3.3. Définition des paramètres de gonflement :

L'approche macroscopique du gonflement est la plus adaptée en géotechnique. Elle distingue trois notions : la pression de gonflement, le potentiel de gonflement et l'indice de gonflement. Ces notions ne sont pas considérées comme des caractéristiques intrinsèques du matériau gonflant et ne peuvent pas recevoir de définition objective, car elles dépendent des conditions dans lesquelles se déroule le gonflement. Elles sont néanmoins très largement utilisées et ont largement influé sur les procédures d'essais au laboratoire. On les définit comme suit. [4] :

a) la pression de gonflement (σ_g)

D'un élément de sol ou de roche, dont l'état physique initial est connu, peut être définie comme l'état de contrainte à exercer pour maintenir son volume constant pendant l'imbibition sans distorsion jusqu'à sa saturation complète. Cette définition de la pression de gonflement est la plus citée mais elle n'est pas la seule.

Chapitre III: comportement des argiles et les techniques de stabilisation

b) Le potentiel de gonflement (ε_g) :

D'un élément de sol ou de roche, dont l'état physique initial est connu, est la déformation maximale ($\Delta h/h$) que provoque l'imbibition de cet élément soumis à un état de contrainte nulle quasi-nulle jusqu'à sa saturation complète.

c) L'indice de gonflement (C_g) :

Traduit l'importance de la déformation de gonflement induit par un déchargement par rapport à un état de contraintes donné. La déformation par gonflement est obtenue au bout d'un temps d'équilibre. En principe, ces trois phénomènes sont mesurés sur des éprouvettes en compression isotrope ou œdométrique. Contrairement à la pression de gonflement et au potentiel de gonflement obtenus à la saturation du sol, l'indice de gonflement est issu d'un déchargement mécanique.

III.4. Méthodes d'identification :

III .4.1.Méthodes indirectes d'identification :

De nombreux auteurs ont tenté de relier la pression de gonflement σ_g (ou le potentiel de gonflement ε_g) aux paramètres classiques de mécanique des sols (teneur en eau initiale (w_i), densité sèche initiale γ_d0 , limite de liquidité w_L , indice de plasticité IP , limite de retrait w_s , pourcentage des particules d'argiles $< 2\mu m$,...) qui semblent être les facteurs les plus influents sur le gonflement des argiles. [1]

Les tableaux (III.2 à III.5) sont proposés par plusieurs auteurs pour estimer le potentiel de gonflement

IP	ε_g (%)	potentiel de gonflement
0 - 10	0 - 1.5	Faible
10 - 20	1.5 - 5	Moyen
20 - 35	5 - 25	Elevé
> 35	> 25	Très élevé

Tableau III-2: Relation entre le gonflement libre et l'indice de plasticité (Seed et al., 1962).

Chapitre III: comportement des argiles et les techniques de stabilisation

IP (%)	% < 2 μ m	Potentiel de gonflement
>35	>95	Très élevé
22- 35	60- 95	Elevé
18- 22	30- 60	Moyen
<18	<30	Faible

Tableau III-3 : Potentiel de gonflement d'après le Building Research Establishment BRE (1980).

% < 74 μ m	W _L (%)	Pression de gonflement (6 ans) MPa	Potentiel de gonflement
>95	>60	10	Très élevé
60-95	40-60	2.5 – 5	Elevé
30-60	30-40	1.5 - 2.5	Moyen
<30	<30	<0.5	Faible

Tableau III-4 : Potentiel de gonflement (Chen, 1998).

IP (%)	% < 80 μ m	VBS	Susceptibilité de variation de volume du sol
> 30	> 90	> 6	Fort
15 < IP < 30	> 50	2 > VBS > 6	Moyen
< 15	< 50	< 2	Faible

Tableau III-5 : Valeurs indicatives pour les sols susceptibles de variation de volume (Bigot et Zerhouni, 2000).

Certains auteurs ont proposé l'estimation du potentiel de gonflement sous forme d'abaque : Williams et Donaldson (1980) considèrent que le caractère expansif des argiles est fortement lié à l'activité. Ce dernier est défini comme étant le rapport de l'indice de plasticité sur le pourcentage de la fraction argileuse. L'abaque qu'ils proposent (figure III.12) permet

Chapitre III: comportement des argiles et les techniques de stabilisation

d'apprécier le potentiel de gonflement en fonction de l'activité, de la fraction argileuse et de l'indice de plasticité.

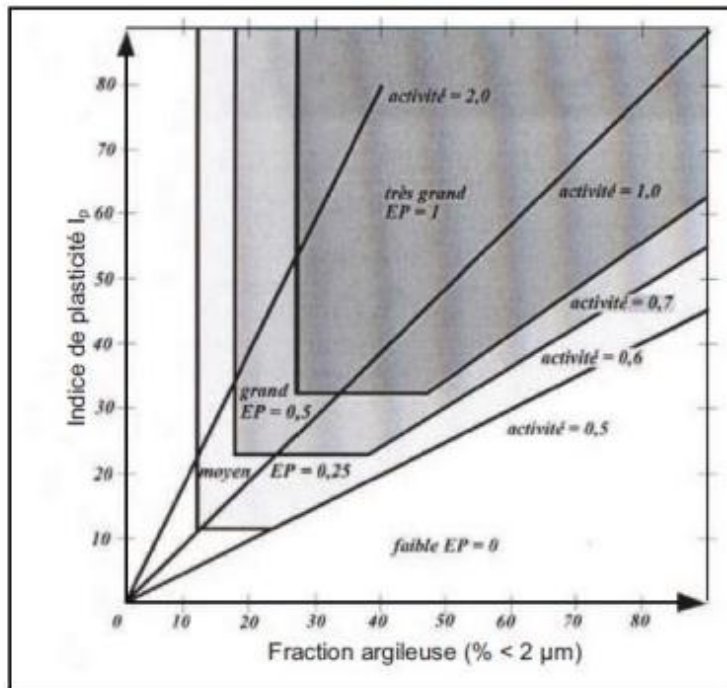


Figure III-12: Classification des sols selon l'abaque de Williams et Donaldson (1980).

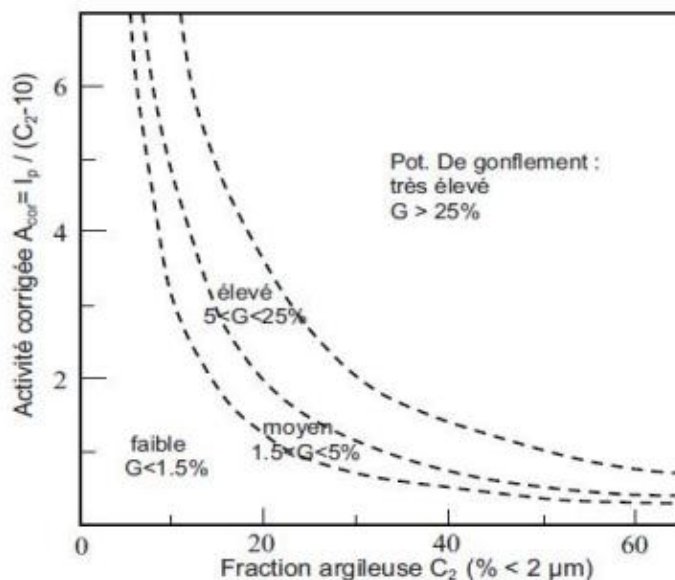


Figure III.13: Diagramme de classification du potentiel de gonflement(Seed et al., 1962).

Seed et al. (1962) ont proposé une méthode d'estimation du taux de gonflement sur des sols compactés en se référant à la teneur en argile du sol et à l'activité corrigée du matériau. Plusieurs relations empiriques ont été proposées. Les principales équations sont regroupées

dans le tableau III.6 (Modèles empiriques de calcul du taux de gonflement (ϵ_g) et de la pression de gonflement (σ_g)).

Tableau III-6: Modèles empiriques de calcul du taux de gonflement (ϵ_g) et de la pression degonflement(σ_g).

Modèles	Expressions Mathématiques	Paramètres
SEED et al, 1 (1962)	$\epsilon_{\text{gonf}} = 21.610^{-5} (I_p)^{2.67}$	ϵ_g et I_p (-)
SEED et al, 2 (1965)	$\epsilon_{\text{gonf}} = 2,16.10^{-5} \cdot I_p^{2,44}$	ϵ_g et I_p (-)
VIJAYVERGIYA et GHAZZALY. 1(1973)	$\log \epsilon_{\text{gonf}} = (62.42 \gamma_{\text{dopm}} + 0.65 w_l - 30.5)/19.5$	γ_{dopm} (g/cm^3), w_l (-)
VIJAYVERGIYA et GHAZZALY. 2 (1973)	$\log \epsilon_{\text{gonf}} = (0.4 w_l - w_n + 5.5)/12$	w_l, w_n (-)
JOHNSON. 1 (1978)	Pour $I_p < 40$ $\epsilon_{\text{gonf}} = -9,18 + 1,5546 \cdot I_p + 0,0824 \cdot Z + 0,1 \cdot w_n$ $0,0432 w_n \cdot I_p - 0,01215 \cdot Z \cdot I_p$	Z :m et w_n, I_p (-)
JOHNSON. 2 (1978)	Pour $I_p > 40$ $\epsilon_{\text{gonf}} = 23,82 + 0,7346 \cdot I_p - 0,1458 \cdot Z - 1,7 w_n + 0,0025 w_n \cdot I_p - 0,0084 z \cdot I_p$	Z :m et w_n, I_p (-)
SCHNEIDER et POOR (1974)	$\log \epsilon_{\text{gonf}} = \left(\frac{0.9 I_p}{w_n} \right) - 1.19$	w_n et I_p (-)
NAYAK et CHRISTENSEN (1971)	$\epsilon_{\text{gonf}} = 2,29 \cdot 10^{-2} \cdot I_p^{1,45} \cdot C/w_n + 6,38$	w_n et I_p (-)
DIDIER et al. (1973)	$\log \sigma_g = u w_l + v \gamma_{\text{dopm}} - t w + k = 2.55 \frac{\gamma_{\text{do}}}{\gamma_w} - 1.705$	U, v, t et k sont des constantes W : teneur en eau naturelle (%) w_l (%); γ_{dopm} (g/cm^3) et σ_g (bar)
Brackley (1983)	$\epsilon_g = \left(5.3 - 147 \frac{e}{I_p} - \log P \right) (0.525 I_p + 4.1 - 0.85 w_l)$ $\log \sigma_g = 5.3 - 147 \frac{e}{I_p}$	ϵ_g (%) σ_g (KPa) e : indice des vides P : surcharge extérieure (KPa) w_l (%) et I_p

Chapitre III: comportement des argiles et les techniques de stabilisation

Modèles	Expressions Mathématiques	Paramètres
NAGARAJ et al. (1983)	$\sigma_g = 17.86 - \frac{100 \frac{e_0}{e_1}}{4 - \log P_c}$	e_0 : indice des vides initial e_1 : indice des vides correspondant à la limite de liquidité P_c : pression de consolidation (kg/cm^3)
KOMINE et OGATA (1994)	$\varepsilon_g = (K \gamma_{do} - 1) \times 100$	ε_g (%) K est un constant γ_{dopm} (g/cm^3)
GUIRAS-SKANDAJI (1996)	$\varepsilon_g = -117.59 + 3.0571 w_l$	ε_g (%) w_l (%)
MRAD(2005)	$\log p_s = 0.0208 Wl + 0.000665 \gamma_{dopm} - 0.0269 w_n - 2.132$	γ_{dopm} (g/cm^3), w_l (%)
BEKKOUCHE et AISSA MAMOUNE 1 (2007)	$\log S_p = 4,06 - 0,033 Wn - 0,013 Tca - 1,29 \gamma_{dopm} - 0,12 M$	M=1 pour gonflement libre, M=2 gonflement à volume constant, M=3 gonflement selon la norme Afnor, M=4 pour LCPC à volume constant M=5 LCPC avec variation de volume
BEKKOUCHE et AISSA MAMOUNE 2 (2007)	$\log p_s = - 0,37 + 0,004 I_p + 0,003 Tca + 0,07 M + 0,22 \gamma_{dopm}$	Tca: teneur en ca CO_3

III.4.2: Méthodes directes d'identification:

La plupart des méthodes de détermination des paramètres caractéristiques de gonflement se font en laboratoire bien que certains auteurs (Mariotti, 1976; Ofer et Blight, 1985; Magnan, 1993) aient réalisé des essais in situ. Ces derniers sont coûteux et souvent très longs. C'est pourquoi on préfère réaliser des essais sur des échantillons de sols intacts ou remaniés à l'aide d'appareils classiques de laboratoire. Par ailleurs, il existe de nombreuses méthodes de caractérisation du gonflement au laboratoire, reflétant la complexité du phénomène et la diversité des situations rencontrées.

Les méthodes fréquemment utilisées sont : (Alonso et al., 1987)



Ces essais peuvent être exécutés sur des échantillons intacts ou compactés. Le choix de la méthode dépend de la problématique posée et du but recherché. Chaque méthode tente

Chapitre III: comportement des argiles et les techniques de stabilisation

desimuler le plus possible les conditions réelles du terrain, en fonction du comportement del'ouvrage. Les essais sont exécutés couramment dans la cellule œdométrique. Conventiennelle à chargement par poids

III.4.3. Les principales méthodes utilisées sont décrites ci-après :

a) 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 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 qu'il est nécessaire d'appliquer pour ramener le volume de l'échantillon à sa valeur initiale (**figure III.13**).

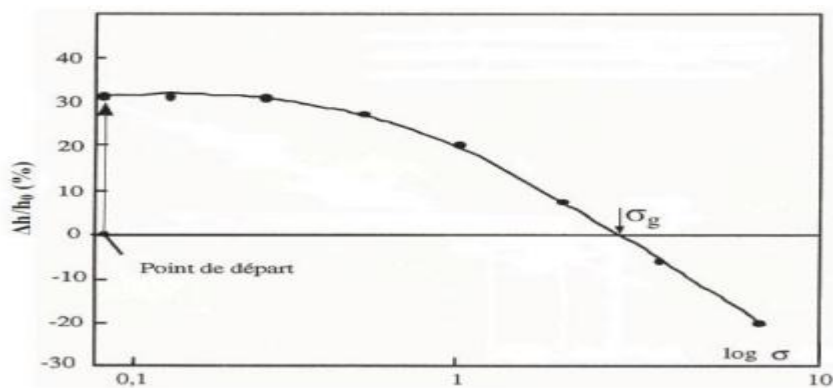


Figure III.13 :Essai de gonflement libre.

b) Méthode de gonflement sous charges constantes :

Cette méthode est utilisée pour éviter l'inconvénient de la stabilisation de chaque palier de la méthode précédente. On peut utiliser une méthode dite « méthode de gonflement souschargesconstantes» ou «méthode de gonflement en parallèle ». Elle nécessite plusieurs échantillons identiques : chaque échantillon est soumis à une humidification sous charge constante (pression verticale à l'œdomètre ou contrainte). Selon la valeur de la charge, il se produit un gonflement ou un effondrement du sol. En traçant la courbe des déformations volumiques en fonction des contraintes appliquées lors de l'humidification, on peut déterminer la contrainte correspondant à une déformation nulle, qui est la pression de gonflement (**figure III.14**).

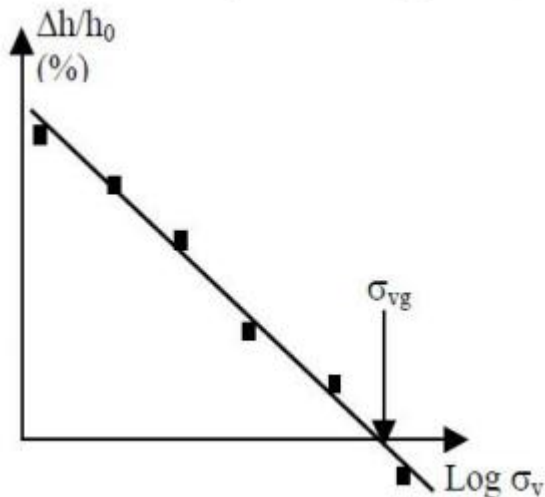


Figure III.14: Essais de gonflement en parallèle.

c) Essai à volume constant (empêché) :

Contrairement à la méthode de gonflement libre, la méthode de gonflement à volume constant ou empêché consiste à imbiber l'éprouvette sous une charge donnée, en maintenant sa hauteur constante par l'ajout successif de charges par petits paliers. Cette méthode a été fortement décriée car elle est délicate à mettre en œuvre (l'essai doit impérativement se dérouler par accroissement continu du chargement jusqu'à l'équilibre qui est atteint lorsque la charge est égale à la pression de gonflement) (figure III.15).

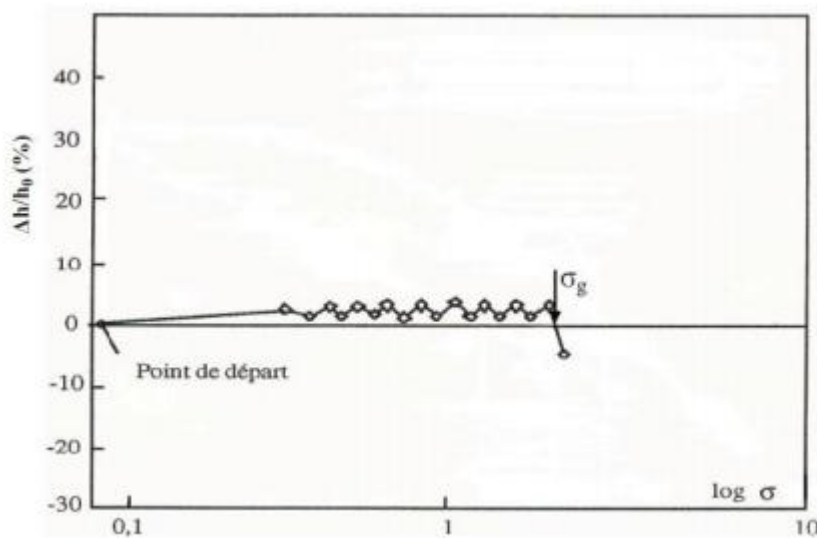


Figure III-15: Essai de gonflement à volume constant.

III.4.4. Comparaison des différentes méthodes :

La méthode de gonflement libre donne toujours des valeurs de la pression de gonflement plus élevées que les autres, pouvant aller jusqu'au double de celles des autres méthodes.

Chapitre III: comportement des argiles et les techniques de stabilisation

La méthode de gonflement sous charges constantes donne des valeurs plus faibles et la méthode de gonflement empêché donne des valeurs moyennes qui se situent entre les deux.

La méthode de gonflement libre est très lente (plusieurs semaines).

La mesure du gonflement empêché est délicate à mettre en œuvre et demande un appareillage particulier permettant un contrôle précis de la déformation de l'échantillon (déformation presque nulle). Mais, elle semble être la plus avantageuse car l'essai peut se faire sur un seul échantillon et elle est rapide (quelques jours) cependant.

La méthode de gonflement sous charge constantes, bien qu'elle nécessite plusieurs échantillons identiques qui sont difficiles à réaliser, est plus rapide car elle ne nécessite aucune augmentation de la charge exercée sur les échantillons et permet de définir la pression de gonflement après avoir obtenu l'équilibre sur chacun d'entre-deux.

En comparant les déformations de gonflement mesurées in situ et celles déterminées avec les différentes procédures expérimentales, il semble que les valeurs de la pression de gonflement obtenues par la méthode à volume constant (empêché), soient les plus proches de celles effectivement constatées sur le terrain (Erol et al., 1987) et soient donc les plus pertinentes. Khaddaj (1992) est arrivé aux mêmes conclusions et a préconisé l'utilisation systématique de la méthode à volume constant, d'une part, pour éviter les hétérogénéités inhérentes à l'utilisation de différents échantillons (essais de gonflement sous charge constantes) et, d'autre part, pour limiter les problèmes de mesure, dus notamment aux frottements parasites survenant à l'intérieur des œdomètres lors d'essais à gonflement libre.

III.5 .Technique de stabilisation des argiles :

La stabilisation des sols expansifs est souvent opérée pour augmenter leur résistance, ainsi que pour minimiser la sensibilité du sol aux variations de la teneur en eau.



- a) Drainage.
- b) Substitution.
- c) Compactage.
- d) Prehumidication.



Augmentation de la température



- a) par ajout des matériaux inertes.
- b) par ajout additifs.

Parmi les techniques de stabilisation les plus couramment utilisées, on distingue : (BABOURI, 2008) :

Le choix de l'une de ces méthodes dépend de plusieurs paramètres tels que ;

Les Considérations économiques, la nature du sol à traiter, la durée de l'opération, la disponibilité des matériaux à utiliser ainsi que les conditions d'environnement.

La stabilisation des sols expansifs est souvent opérée pour augmenter leur résistance, ainsi que pour minimiser la sensibilité du sol aux variations de la teneur en eau.

III.6. Stabilisation chimique (par additifs) :

Deux techniques de stabilisation chimique peuvent être effectuées :

- *Stabilisations chimiques par ajouts des matériaux.*
 - *Stabilisation chimique par additifs .*

III.7.Aperçu sur la chaux :

III.7.1.Origine de la chaux :

La source de production de la chaux est la roche de calcaire (carbonate de calcium CaCO_3) qui se produit comme roche sédimentaire. Quand la terre est pulvérisée, le carbonate de calcium s'adresse comme chaux d'agriculture. Elle peut être utilisée pour neutraliser les sols acides. Pour le génie civil ou les applications de bâtiment, Plusieurs formes de chaux sont requises.

III.7.2.Types de chaux :

Plusieurs types de chaux ont été utilisés comme agents de stabilisation pendant nombreux années avec succès. Cependant, le produit le plus utilisé étant la chaux hydratée d'une teneur plus élevée de calcium, chaux vive calcique, lait de chaux et chaux dolomitique, chacune d'entre elles présentant avec les sols des interactions spécifiques.

III.7.3.Actions de la chaux :

- 1) Flocculation
- 2) Carbonatation
- 3) Réaction pouzzolanique

III.7.4.Action de la chaux sur les argiles :

Les argiles sont des minéraux généralement issus de l'altération des roches. On les trouve dans les sols, sédiments, roches sédimentaires, ainsi que dans les zones d'altération hydrothermales. Ce sont principalement des phyllo silicatées. C'est-à-dire qui présente sous forme de feuillets d'aluminium plus ou moins hydraté et de petite taille. Les feuillets sont constitués de couches de tétraèdres SiO_4 et de couches d'octaèdres $\text{Al}(\text{OH})_6$, reliées par les atomes O^{2+} et OH^- mis en commun.

L'aptitude des minéraux argileux à adsorber des molécules d'eau, dans l'espace inter foliaire varie d'un type d'argile à l'autre. Elle est à l'origine de la sensibilité des argiles à l'eau.

Lorsqu'on mélange de la chaux vive avec un sol argileux humide, elle s'hydrate rapidement en fixant une quantité d'eau.

III.7.5.Traitement des sols à la chaux :

Le traitement à la chaux est obtenu par l'oxyde de calcium CaO (chaux vive) ou de l'hydroxyde de calcium $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (chaux éteinte). La chaux agricole est généralement du carbonate de calcium (CaCO_3). Elle est inefficace pour l'amélioration et la stabilisation des sols. L'effet stabilisateur dépend de la réaction entre la chaux et les minéraux argileux. Les principaux effets de cette réaction sont les suivantes:

Chapitre III: comportement des argiles et les techniques de stabilisation

- Une augmentation de la résistance au cisaillement et de la capacité portante du sol,
- Une réduction de la susceptibilité au gonflement et retrait,
- Une amélioration de la résistance au trafic et aux intempéries,
- Une réduction de la teneur en eau,
- Une amélioration de la maniabilité et les caractéristiques de compactage,

III.8.Conclusion :

Les problèmes posés aux ouvrages de génie civil par le gonflement des sols et des roches sont largement répandus. Le phénomène intéresse en effet de vastes secteurs géographiques, prend corps dans de nombreux matériaux et affecte différents types d'ouvrages. Le besoin de tester les sols et les roches en laboratoire par des essais de gonflement, destinés à caractériser ce mode de comportement et à déterminer les paramètres associés utiles à la conception d'ouvrages neufs ou au confortement d'ouvrages existants, s'est donc fait sentir depuis longtemps.

Le choix des techniques de stabilisation les plus utilisées dépend de plusieurs paramètres tels que; les considérations économiques, la nature du sol à traiter, la durée de l'opération, la disponibilité des matériaux à utiliser ainsi que les conditions d'environnement

Notre projet consiste à substituer une partie de l'argile et la remplacer par du verre broyé, elle représente une nouvelle technique à étudier dans la partie expérimentale.

Chapitre IV :
Présentation des essais
réalisés

IV.1. Introduction :

Le contenu de ce chapitre est une étude expérimentale qu'on a effectuée au laboratoire des Travaux publics de L'ouest unité de Tiaret (L.T.P.O), selon les modes opératoires résumés ci-après.

L'objectif de ce chapitre est d'étudier l'effet de l'ajout des déchets de verre à différentes proportions (10%.20%30%) sur le comportement des mélanges préparés avec l'argile prétraitée à la chaux.

IV.2. ETUDE EXPERIMENTALE

Cette étude comporte les essais d'identification de l'argile ainsi que les essais de portance et de cisaillement à la boîte effectués sur les différents mélanges.

IV.2.1. Argile non traitée :

A) Essais d'identifications :

Des essais de caractérisation géotechnique ont été effectués suivant les normes AFNOR sur notre échantillon prélevé (argile MEDRISSA).

- analyse chimique (teneur en carbonates CaCO_3 , bleu de méthylène **VBS**, sulfates, la teneur pondérale en matières organiques de sol **MO**).
- La granulométrie (par tamisage, et par sédimentométrie).
- Les limites d'Atterberg.

B) Essais mécaniques :

- Proctor normal.
- Cisaillement à la boîte.
- Essai Œdométrique.

IV.3. argile traitée :

a) Essais mécaniques :

- Proctor normal.
- Essai de Cisaillement à la boîte.

IV.4. analyse de l'argile non traité et du déchet de verre:**VI.4.1. Essais d'identification :****IV.4.1.1 Analyses chimiques :**

Le but de cet essai est de déterminer la nature chimique des échantillons choisis. Cette étape étant importante dans l'identification des matériaux locaux utilisés en construction.

a) Essai d'évaluation de carbonates (NA-2789) CaCO_3 :

L'objectif de cet essai est la détermination du volume du (CO_2) dégagé sous l'action d'un acide. Cette opération est réalisée à l'aide d'un appareil dit 'calcimètre' (figure IV.1), dont le mode opératoire consiste tout d'abord à régler le zéro dans le grand tube en verre gradué puis peser 0.5g du sol, ensuite l'introduire dans un flacon en verre, puis ajouter 10 ml de (HCL à 10%) et enfin, boucher le flacon avec le tube du calcimètre. A ce moment on prend note du niveau d'eau dans le grand tube gradué (A),(V) puis agiter bien le contenu du flacon, ensuite il faut régler l'appareil de telle façon à avoir au même niveau l'eau qui contient le grand flacon en verre (B) et le tube en verre gradué (A) , une fois cette tâche faite, lire sur le tube en verre gradué (A) le niveau d'eau (V_2), d'où le volume final à retenir sera ($V=V_2-V_1$) .

$$\text{CaCO}_3 \% = 100 * m_2 / m_1 * 100 / (100 - H)$$

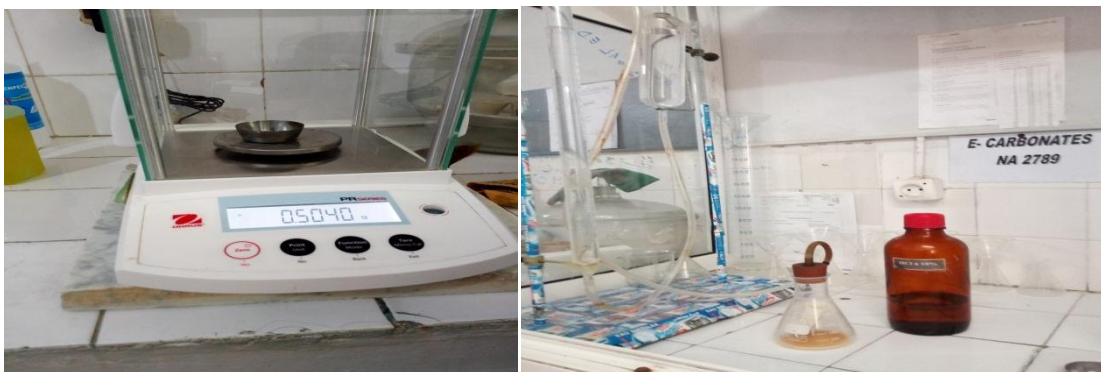


Figure IV.1. Appareil de l'Essai d'évaluation de carbonates

Le tableau IV.1 présente les résultats de l'essai de taux de carbonates.

TABLEAU IV.1: Taux de carbonates présents dans l'argile

Nature	ECH N°	Volume (Cm ³)	Masse m ₂ (g)	Teneur en calcaire (%)
ARGILE	P1	5	0.02	4

b) essai de bleu de méthylène :

L'essai consiste à mesurer par dosage la quantité de bleu de méthylène pouvant être adsorbée par le matériau mis en suspension dans l'eau. Cette quantité est rapportée par proportionnalité directe à la fraction 0/50 mm du sol. La valeur de bleu du sol est directement liée à la surface spécifique des particules constituant le sol ou le matériau rocheux.

Le dosage s'effectue en ajoutant successivement différentes quantités de bleu de méthylène et en contrôlant l'adsorption après chaque ajout. Pour ce faire, on prélève une goutte de la suspension que l'on dépose sur un papier filtre ce qui provoque la création d'une tache.

L'adsorption maximale est atteinte lorsqu'une auréole bleue claire persistante apparaît à la périphérie de la tache. Sur la figure IV.2, on présente les étapes de l'essai.



Figure IV.2 : Les étapes de l'essai de bleu de méthylène

VBS = (V/m₀) X C.

Les tableaux IV.2 et IV.3 résument les résultats de l'essai VB réalisé sur l'argile et sur le sable.

Tableau IV.2 : Résultats de l'essai de VBS pour l'argile

Nature	N° ECH	Volume (ml)	C	Fraction (%)	VBS
ARGILE	P01	108	0.99	99	3.56

Tableau II.2.3: Résultats de l'essai de VB pour le verre broyé

ECH N°	Nature	Masse de refus(g)	W (%)	q (g)	V (m)	VB
01	VERRE	268	/	32	12	0.375

C) Détermination de la teneur en sulfates (NA-16002-5042) :

L'essai contient les étapes :

- ✓ peser 01 g de matière à ± 0.1 mg près ;
- ✓ Les introduire dans un bécher de 800 ml ;
- ✓ Délayer avec 20 ml d'eau distillée ;
- ✓ Ajouter en remuant 10 ml HCl concentré ;
- ✓ Faire bouillir en agitant jusqu'à dissolution ;
- ✓ Filtrer la liqueur chaude sur filtre moyen sans cendre ;
- ✓ Transvaser le filtrat dans un bécher de 600 ml ;
- ✓ Faire bouillir ;
- ✓ Ajouter 15 ml de solution de Ba Cl₂ à 10 % ;
- ✓ Filtrer sur filtre sans cendre ;
- ✓ Laver à l'eau bouillante jusqu'à disparition des chlorures (Essai au nitrate d'argent)
- ✓ Placer le filtre avec son résidu dans un creuset en porcelaine préalablement lavé, séché et pesé (P1)

- ✓ Calciner au four à moufle pendant 15 minutes à température du $950 \pm 25^\circ\text{C}$
- ✓ Refroidir au dessiccateur et peser (P2)

$$\text{SO}_4^{2-} (\text{mg/kg}) = (P2 - P1) \times 0.343 \times 10^6$$

Le dispositif de l'essai est présenté sur la figure IV.3 et les résultats sur le tableau IV.4.



Figure VI.3 Dispositif d'essai de la teneur en sulfates

TABLEAU VI.4 : Résultats de l'essai de teneur en sulfates.

Nature	N° ECH	Profondeur (m) /PK	Taux de sulfates(mg/kg)
ARGILE	P01	/	NUL

d) Détermination de la teneur pondérale en matières organiques de sol (méthode par calcination - NF P 94-047) :

Pour les besoins du présent document, la définition suivante s'applique teneur en matières organiques par calcination CMOC : Rapport de la masse de matières organiques contenues dans un échantillon, détruites par calcination, sur la masse sèche des particules solides avant calcination de la fraction du matériau passant au tamis de 2 mm.

L'essai consiste à déterminer la perte de masse d'un échantillon préalablement séché, après calcination dans un four à une température de 450°C .

$$C_{\text{MOC}} = \frac{1}{n} \sum (m_1 - m_2) / (m_1 - m_0)$$

Les résultats sont résumés dans le tableau IV.5.

Tableau VI.5 Résultats de l'essai de teneur en matières organiques

Nature	C _{MOC}
ARGILE	NUL

VI.4.1.2. Analyse granulométrique :**a) Par tamisage (NF P 94-056) :**

Elle a pour but de déterminer la distribution des particules qui forment le squelette des Sols en vue de leur classification.

L'essai consiste à séparer les grains agglomérés d'une masse connue de matériau par brassage sous l'eau, à fractionner ce sol, une fois séché, au moyen d'une série des tamis et à peser successivement le refus cumulé sur chaque tamis. La masse de refus cumulé sur chaque tamis est rapportée à la masse totale sèche de l'échantillon soumis à l'analyse.

La figure IV.6 présente la série de tamis utilisée pour l'essai.

b) Par sédimentométrie (NA 5251, NF P 94-057) :

Les particules inférieures à 80 µm séparées du reste du sol par tamisage sont mises en suspension dans de l'eau additionnée d'une défloculation. Les particules sédimentent à différentes vitesses en relation avec leur taille. Au moyen d'un densimètre est mesurée l'évolution dans le temps de la masse volumique de la solution et de la profondeur d'immersion de l'appareil.



Figure VI.4 série de tamis pour L'essai granulométrie par tamisage

La figure IV.5 représente le dispositif de l'essai de sédimentométrie

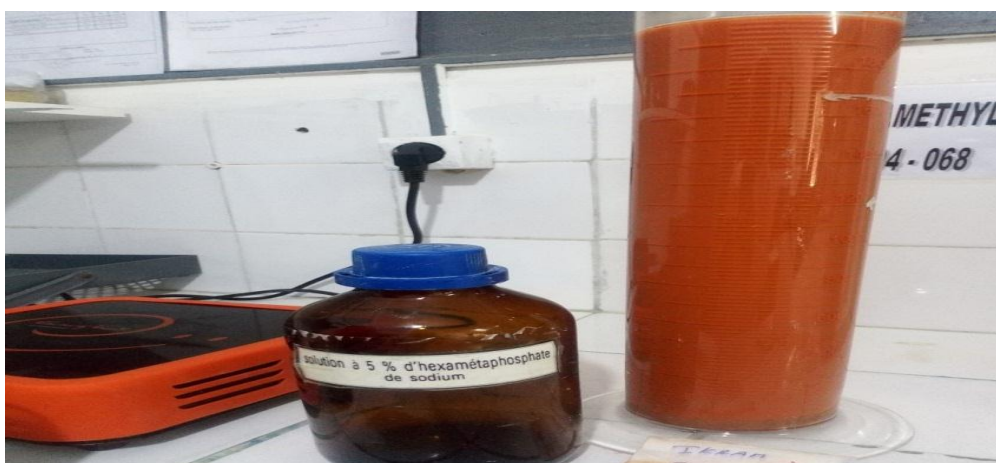


Figure VI.5:Appareillage d'analyse granulométrique par sédimentométrie

La courbe granulométrique de l'argile est représentée sur la figure IV.6.

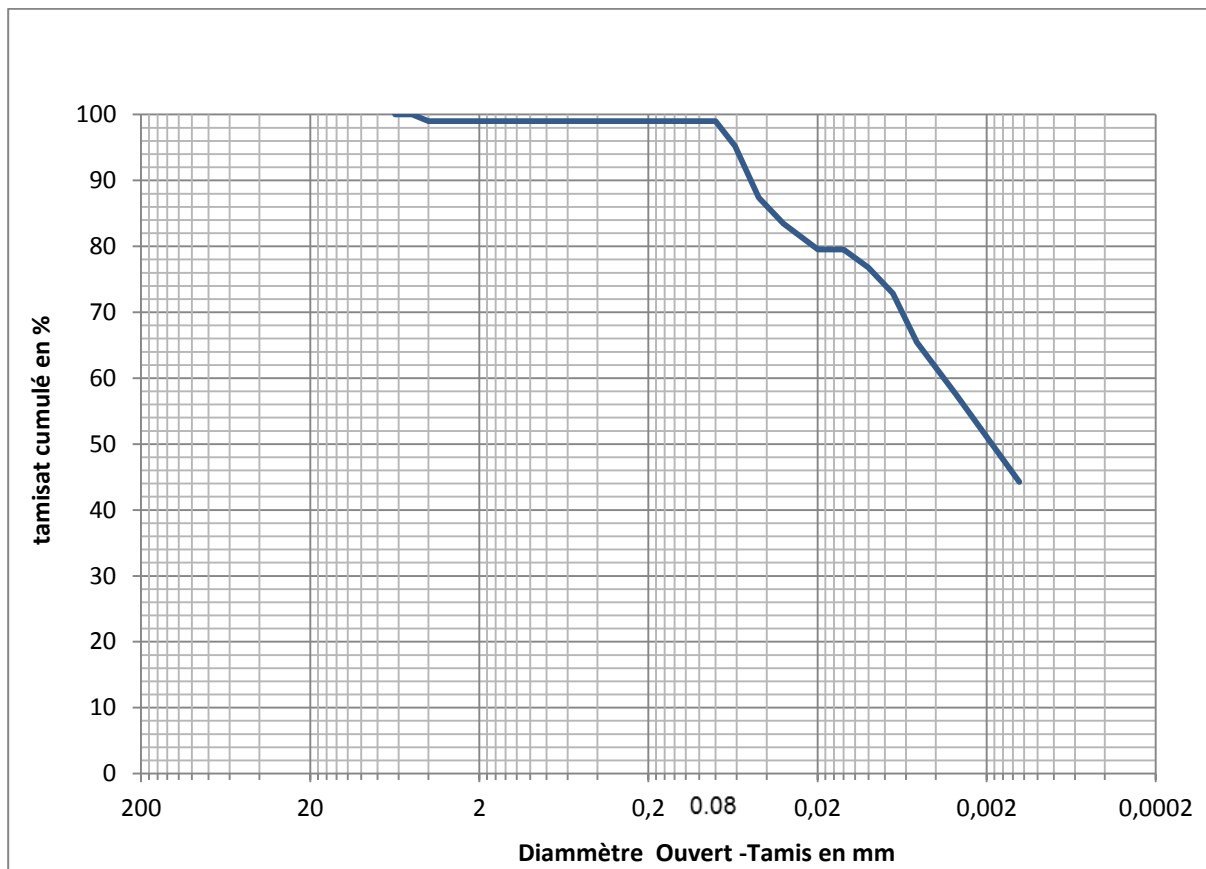


Figure VI.6: Courbes granulométrique de l'argile (tamisage par voie humide et sédimentométrie).

VI.4.1.3. Limites d'Atterberg (NA 16213, NF P 94-051):

Les limites d'Atterberg sont des caractéristiques géotechniques conventionnelles d'un sol qui marquent les seuils entre :

- le passage d'un sol de l'état liquide à l'état plastique : limite de liquidité (W_L).
- le passage d'un sol de l'état plastique à l'état solide : limite de plasticité (W_P).

Ces limites ont pour valeur la teneur en eau du sol à l'état de transition considérée, exprimée en pourcentage de masse de la matière première brute.

La différence $I_p = W_L - W_P$ qui définit l'étendue du domaine plastique, est particulièrement importante, c'est l'indice de plasticité. L'indice de plasticité permet

d'apprécier la quantité et le type d'argiles présentes dans un échantillon. Il définit donc l'argilosité de l'échantillon. L'appareil utilisé est celui de Casa grande (Figure IV.7).



Figure VI.7. Appareillage de limites d'Atterberg.

Le tableau IV.6 et IV.7 résumant les résultats de l'essai de détermination de W_L et W_P respectivement.

Tableau VI.6 : Résultats de l'essai de limite de liquidité de l'argile naturelle

	1 ^e ESSAI		2 ^e ESSAI		3 ^e ESSAI	
Nombre de coups	16		21		26	
N° de la tare	69	H3	X3	42	F8	SA
Poids total humide (g)	5,88	6,30	5,90	6,28	5,94	5,95
Poids total sec (g)	5,07	5,35	5,13	5,38	5,15	5,17
Poids de la tare (g)	3,84	3,90	3,94	3,98	3,91	3,93
Poids de l'eau	0,81	0,95	0,77	0,90	0,79	0,78

Poids de sol sec (g)	1,23	1,45	1,19	1,40	1,24	1,24
Teneur en eau (%)	65,85	65,52	64,71	64,29	63,71	62,90
La moyenne	65,69		64,50		63,31	

Tableau VI.7: Résultats de l'essai de détermination de la limite de plasticité de l'argile naturelle

	1[°]ESSAI	2[°]ESSAI	3[°]ESSAI	4[°]ESSAI
N° de la tare	N7	182	63	303
Poids total humide(g)	4,88	4,78	4,62	4,74
Poids total sec (g)	4,65	4,57	4,42	4,51
Poids de la tare (g)	3,81	3,81	3,71	3,69
Poids de l'eau	0,23	0,21	0,2	0,23
Poids de sol sec (g)	0,84	0,76	0,71	0,82
Teneur en eau (%)	27,38	27,63	28,17	28,05
La moyenne	27,51		28,11	
	27,81			

La figure IV.8 montre la méthode de détermination de la limite de liquidité.

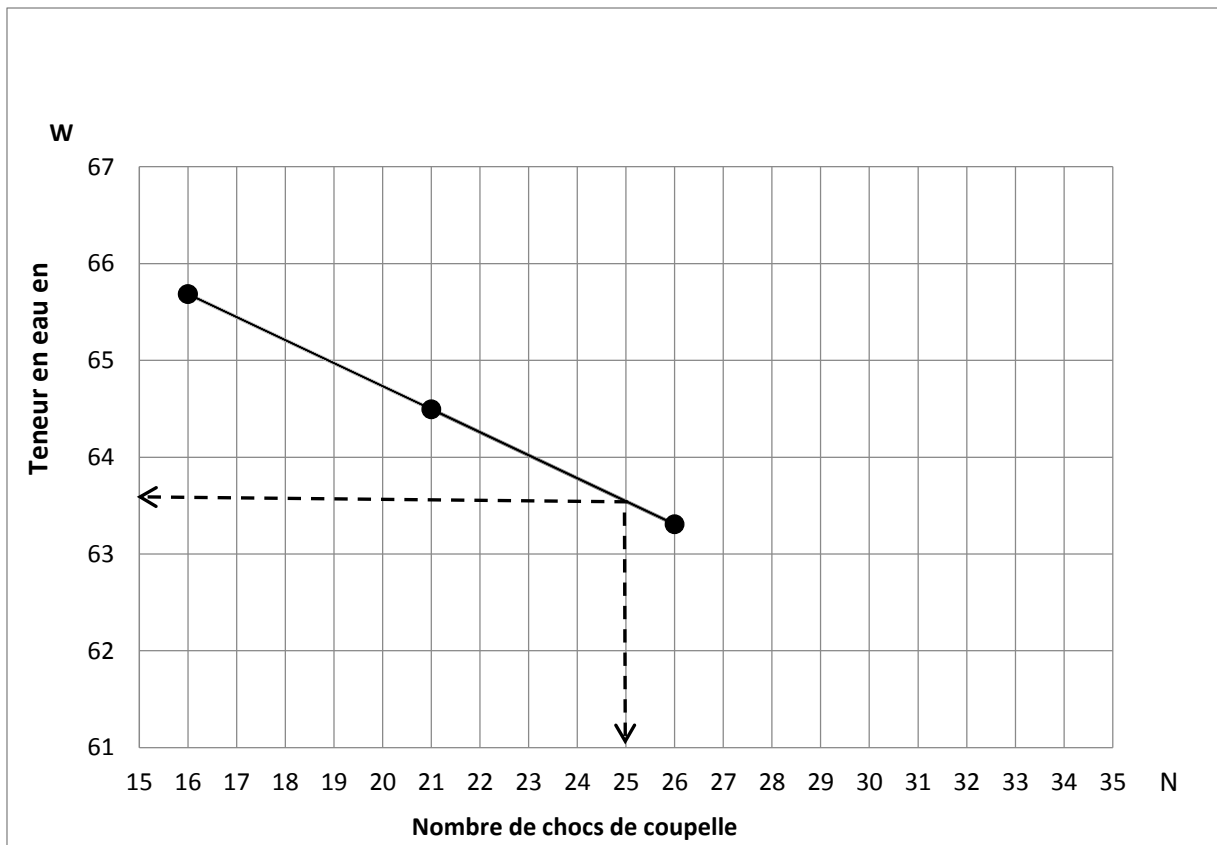


Figure VI.8. Limite de liquidité à la coupelle de Casagrande

Mesures n°	1	2	3
Teneur en eau (%)	65,69	64,50	63,31
Nombre de coups N	16	21	26

Dans le tableau IV.8, on présente les résultats finaux des limites d'Atterberg de l'argile

Tableau VI.9. Limites d'Atterberg pour l'argile naturelle

Teneur en eau de plasticité (%)	W = 27,38	W = 27,51	W = 28,17	W _p = 28,11
	W = 27,63		W = 28,05	
Limite de liquidité : W _l = 63,57	indice de plasticité IP = 35,76			
Limite de plasticité : W _p = 27,81				

IV.4.2 Essais mécaniques :**IV.4.2.1. Essai Proctor normal (NA 5262, NF P 94-093):**

L'essai Proctor est un essai de compactage exécuté en laboratoire qui a pour but de déterminer l'influence de la teneur en eau (W, exprimée en %) d'un matériau sur sa compactibilité (exprimée par la masse volumique sèche γ_d en g/cm³ ou en T/m³) l'essai est effectué selon la norme AFNOR (NF P 94-093).

Concernant notre travail, Le compactage de l'échantillon de sol (Argile De medrissa) est réalisé dans un moule normalisé, avec une dame normalisée aussi, et selon la norme (NF P 94-093).

L'essai Proctor Normal est réalisé en trois couches dans un appareil de compactage automatique. Les valeurs fixées pour ce type d'essai sont les suivantes :

«Énergie» de compactage (exprimée en kNm/m³) = (NXH m g)/v où :

N : est le nombre total de coups ;

H : est la hauteur de chute de la dame ;

m : est la masse de la dame ;

g : est l'accélération de la pesanteur

v : est le volume du matériau compacté dans le moule

La figure IV.9 montre les principales étapes de l'essai Proctor.

Le tableau IV.10 résume les résultats de l'essai qui permettent de tracer par la suite la courbe Proctor (Figure IV. 9)



Figure VI.9 : Appareil essai Proctor

TABLEAU IV.10 : Les Résultats de l'essai Proctor sur l'Argile Naturelle

W%	Yd (g/cm ³)
14.72	1.51
17.81	1.57
20.63	1.64
23.66	1.56

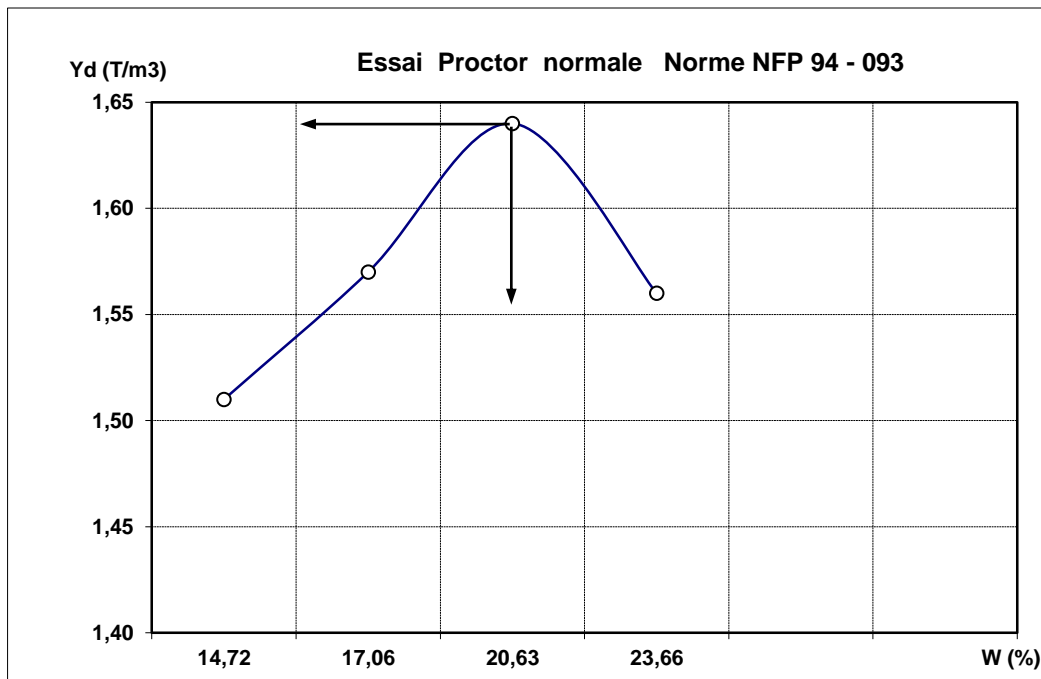


Figure IV.10 : Courbe Proctor Normal pour l'argile naturelle

Sur les figures IV.11, IV.12 et IV.13, on présente les courbes Proctor des mélanges d'argile et de verre à différents dosages 10%, 20% et 30% respectivement.

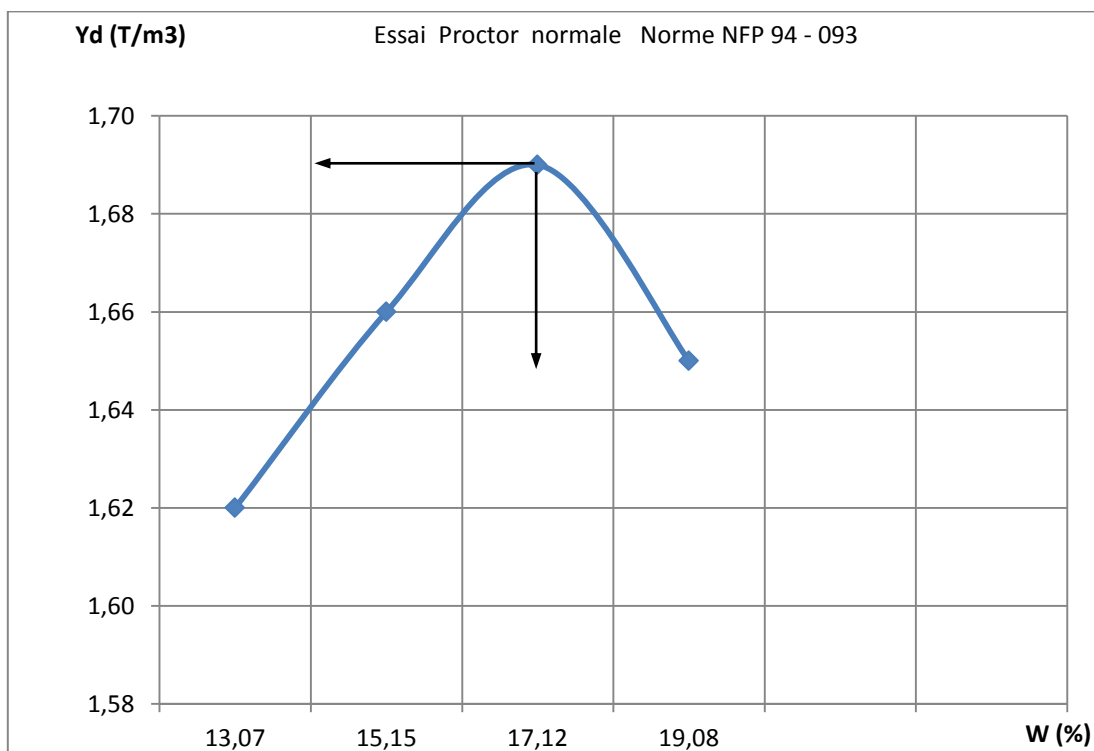


Figure IV.11 : Courbe Proctor Normal pour le mélange d'argile et 10% de verre

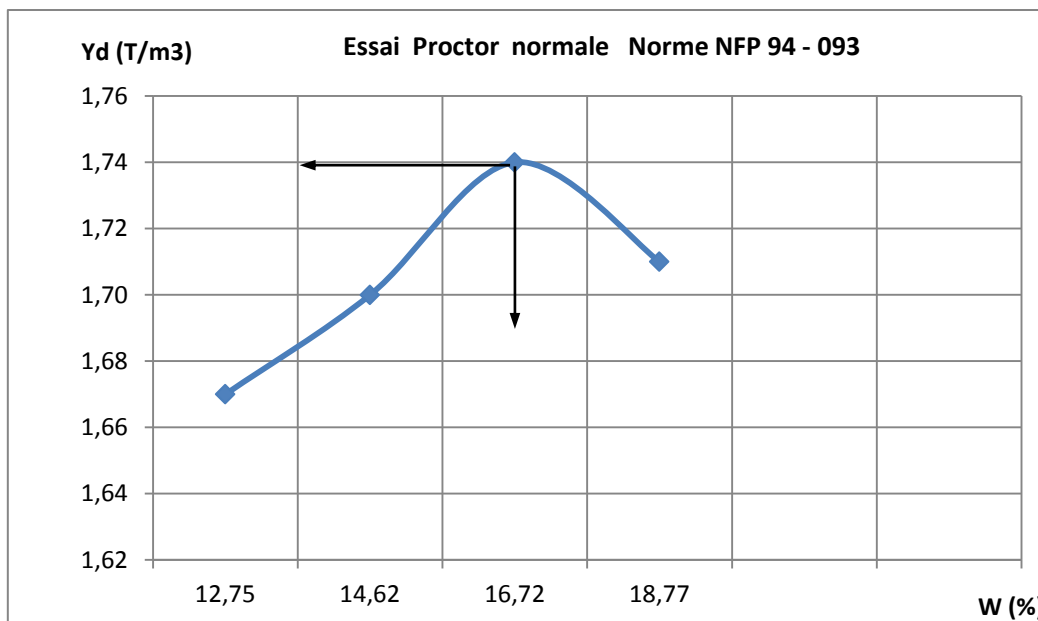


Figure IV.12 : Courbe Proctor Normal pour le mélange d'argile et 20% de verre

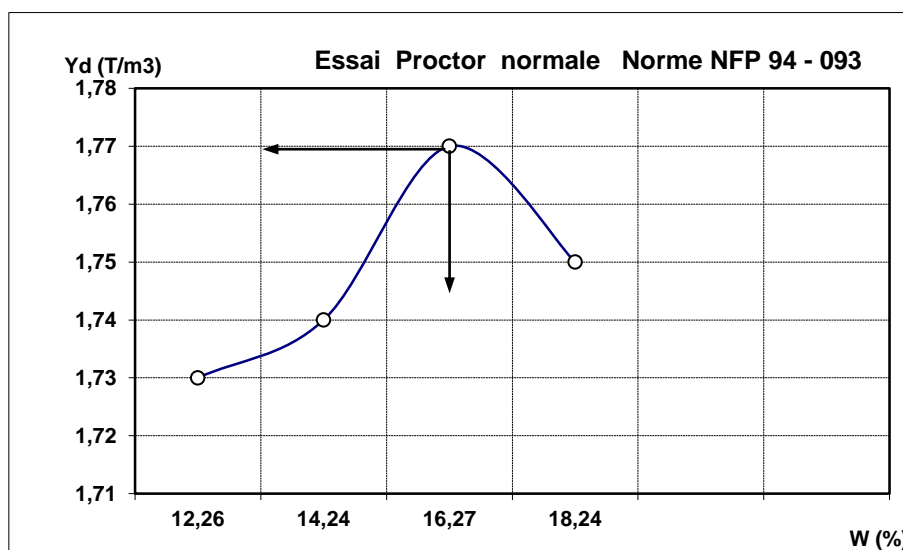


Figure IV.13 : Courbe Proctor Normal pour le mélange d'argile et 30% de verre

Pour étudier la stabilisation mixte des argiles en combinant le traitement à la chaux et l'ajout de déchets de verre, des essais Proctor ont été effectués sur ces mélanges et dont les résultats sont présentés sur les figures IV.14, IV.15 et IV. 16.

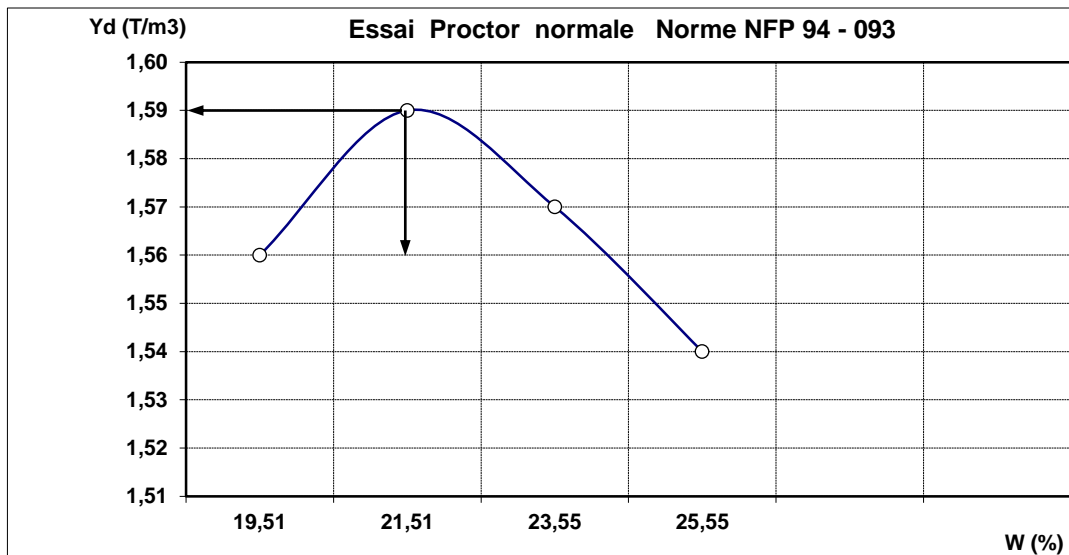


Figure IV.14 : Courbe Proctor Normal pour le mélange d'argile prétraité avec la chaux et 10% de verre

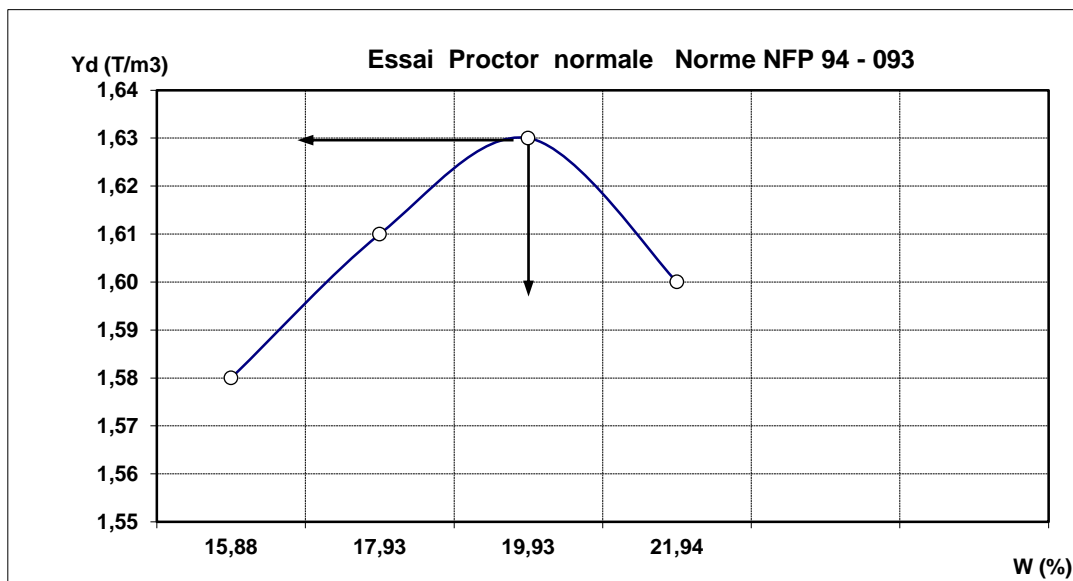


Figure IV.15 : Courbe Proctor Normal pour le mélange d'argile prétraité avec la chaux et 20% de verre

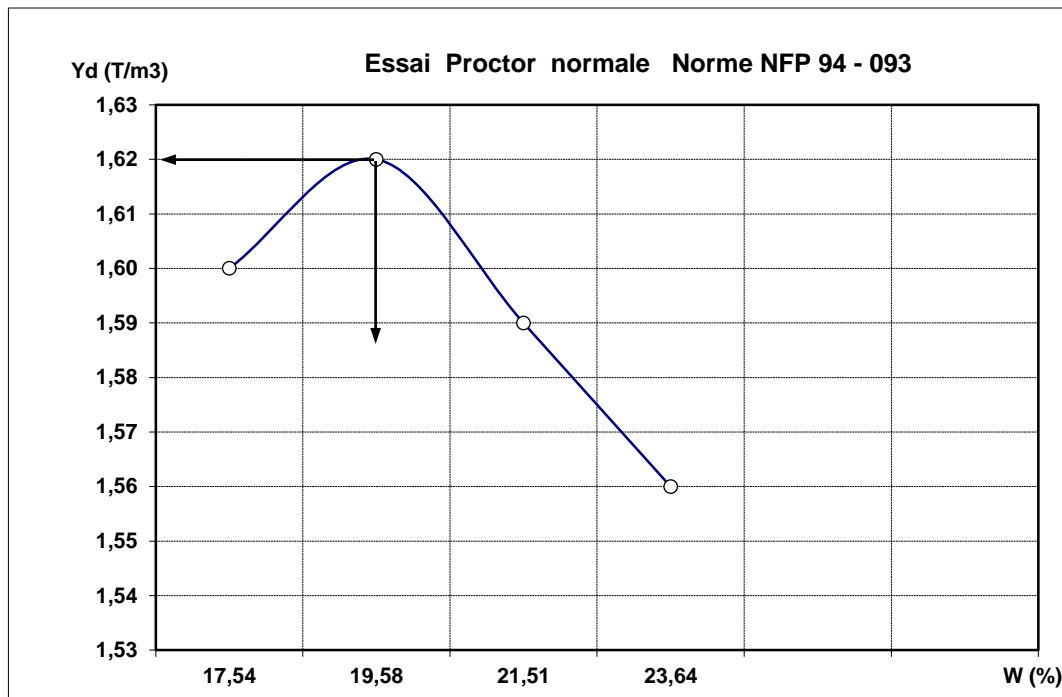


Figure IV.16 : Courbe Proctor Normal pour le mélange d'argile prétraité avec la chaux et 30% de verre

IV.4.2.2 : Essai de Cisaillement à la boîte (NF 94-071-1) :

L'essai s'applique aux essais de cisaillement rectiligne réalisés à la boîte, dans des conditions drainées sur tous les types de sol naturels voir (figure IV.17), reconstitués ou artificiels, dont la dimension maximale des grains. $6d_{max} \leq h \leq l/2$

Dans les conditions le matériau essayé a des éléments dont la dimension maximale est :

$D_{max} \leq 5\text{mm}$ dans le cas de la boîte de 60mm de côté, et

$D_{max} \leq 8\text{mm}$ dans le cas de la boîte de 100 mm de côté.

L'essai fournit des paramètres de résistance au cisaillement rectiligne des matériaux soumis à essais.



Figure VI.17: essai de cisaillement

Les résultats des essais de cisaillement sur les différents mélanges sont présentés sur les figures N° IV. 18 jusqu'à IV. 24.

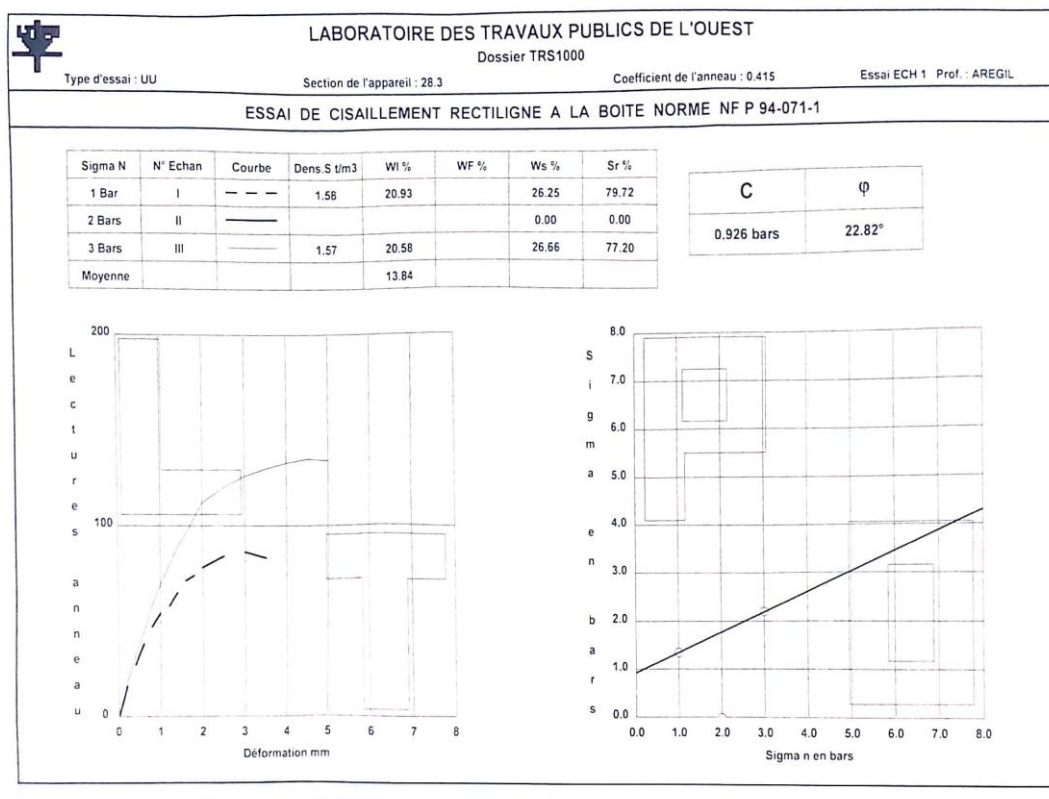


Figure IV.18 : Résultats des essais de cisaillement à la boîte réalisés sur l'argile pure

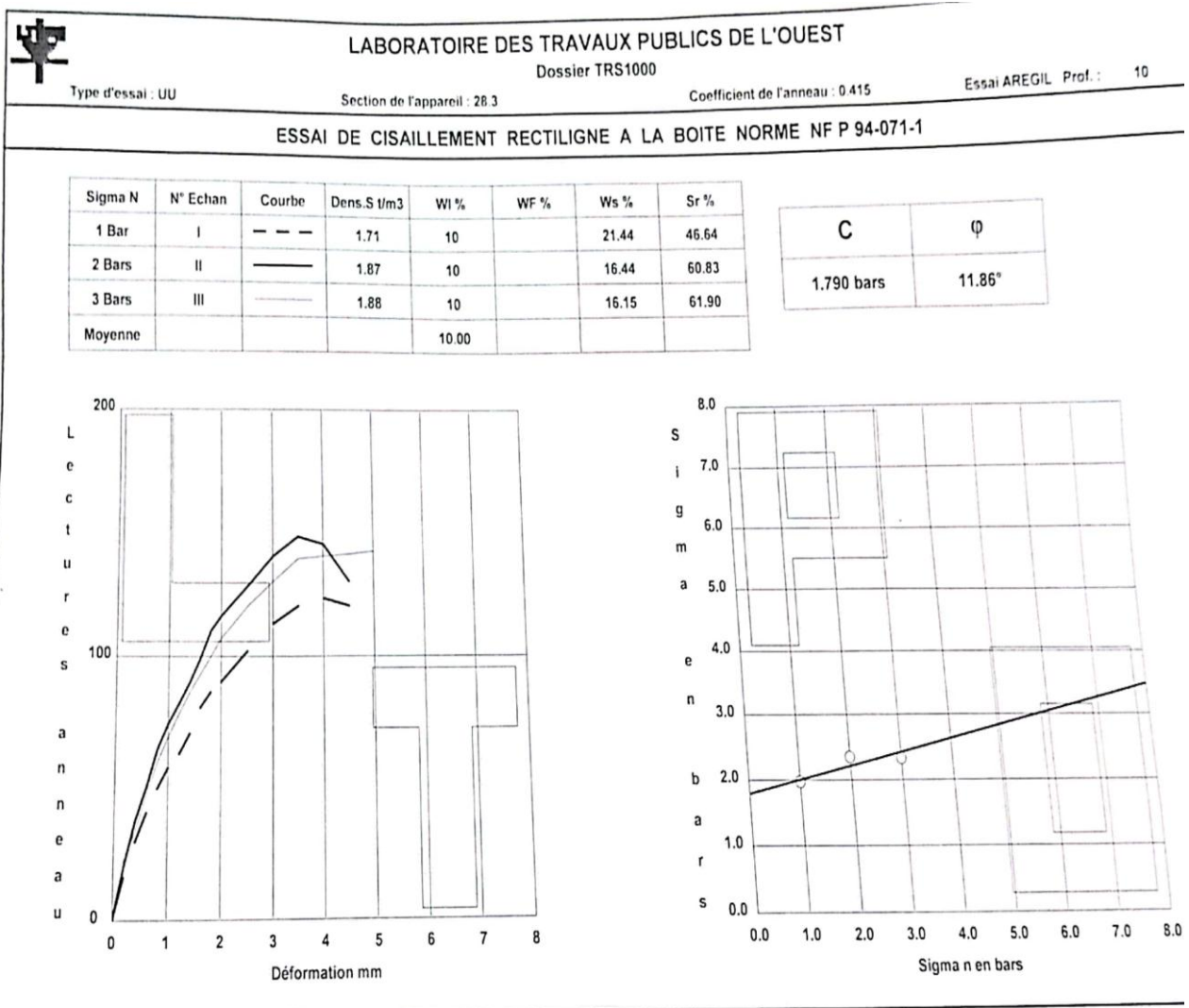


Figure IV.19 : Résultats des essais de cisaillement à la boîte réalisés sur l'argile + 10% de verre



LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DE L'OUEST

Dossier TRS1000

Type d'essai : UU

Section de l'appareil : 28.3

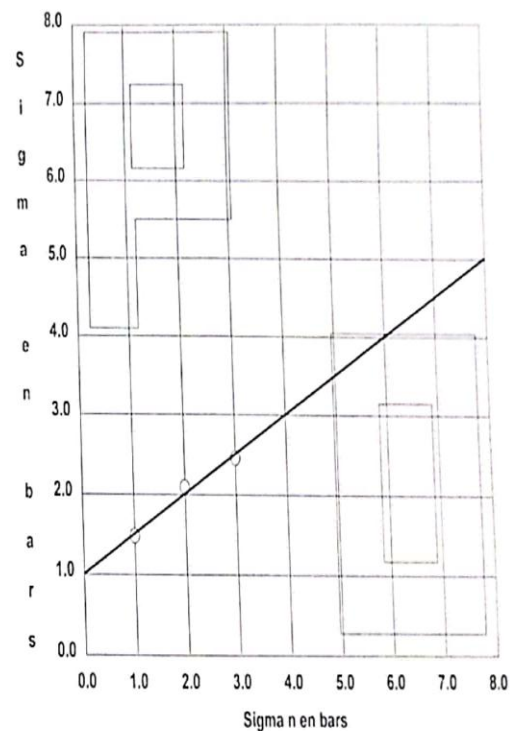
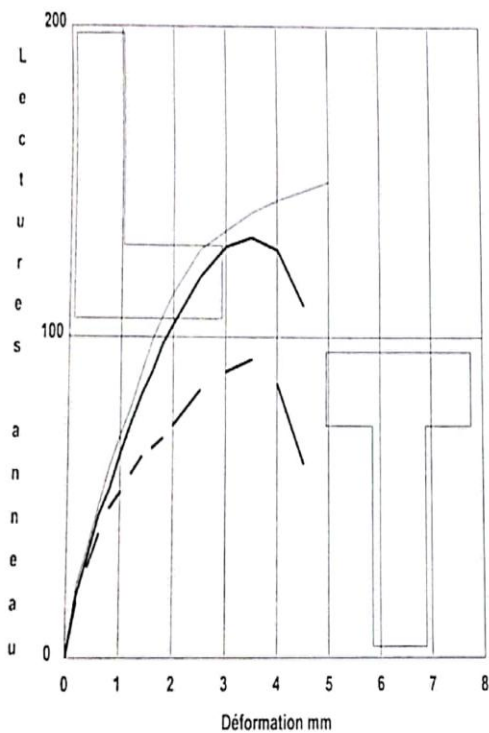
Coefficient de l'anneau : 0.415

Essai AREGIL Prof. : 20

ESSAI DE CISAILLEMENT RECTILIGNE A LA BOITE NORME NF P 94-071-1

Sigma N	N° Echan	Courbe	Dens.S U/m3	WI %	WF %	Ws %	Sr %
1 Bar	I	- - -	1.86	20		16.73	119.57
2 Bars	II	—	1.86	20		16.73	119.57
3 Bars	III	—	1.85	20		17.02	117.53
Moyenne				20.00			

C	φ
1.010 bars	26.57°



Unité de Tiersot

Figure IV.20 : Résultats des essais de cisaillement à la boîte réalisés sur l'argile + 20% de verre

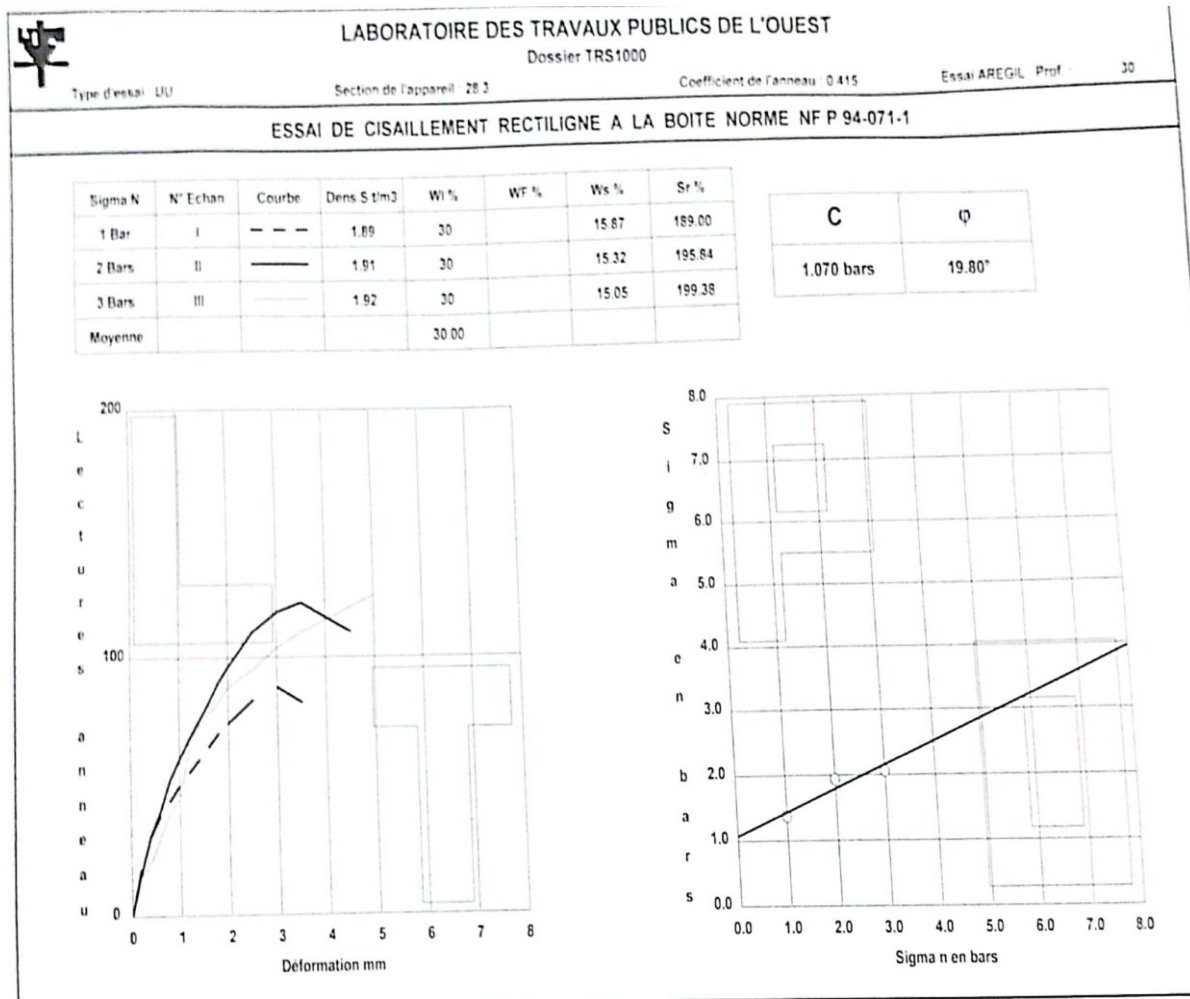


Figure IV.21 : Résultats des essais de cisaillement à la boîte réalisés sur l'argile + 30% de verre

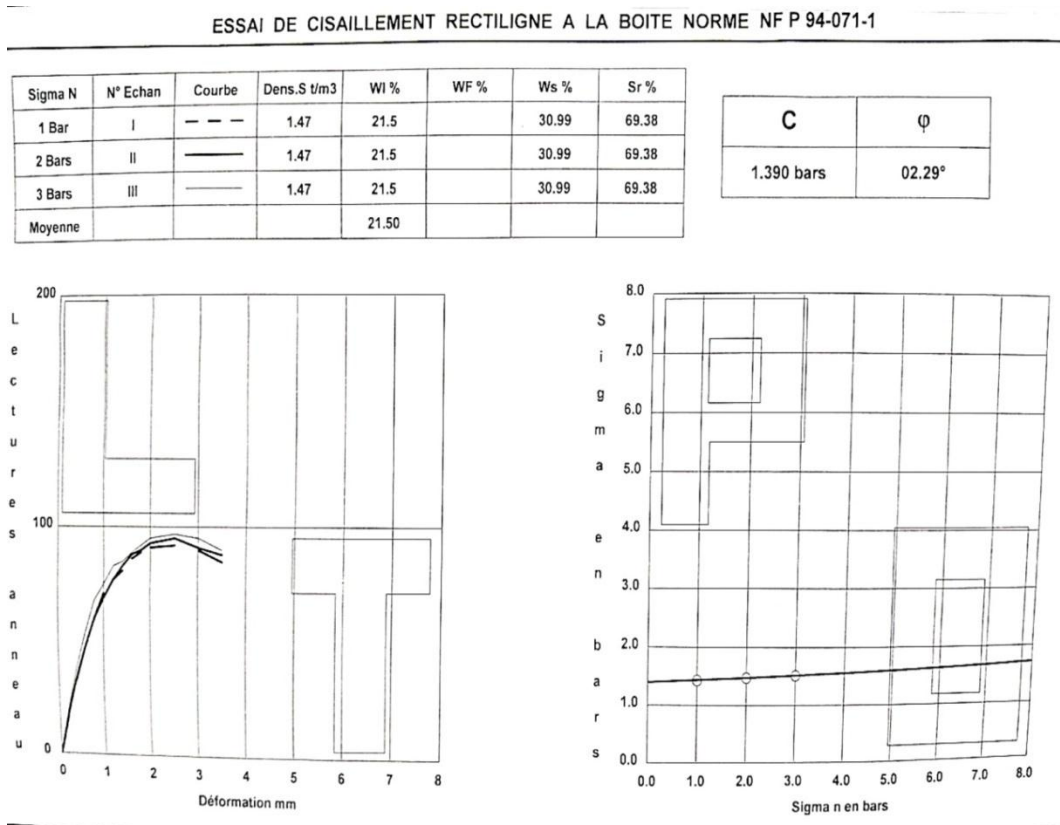


Figure IV.22 : Résultats des essais de cisaillement à la boite réalisés sur l'argile + 1% chaux + 10% de verre

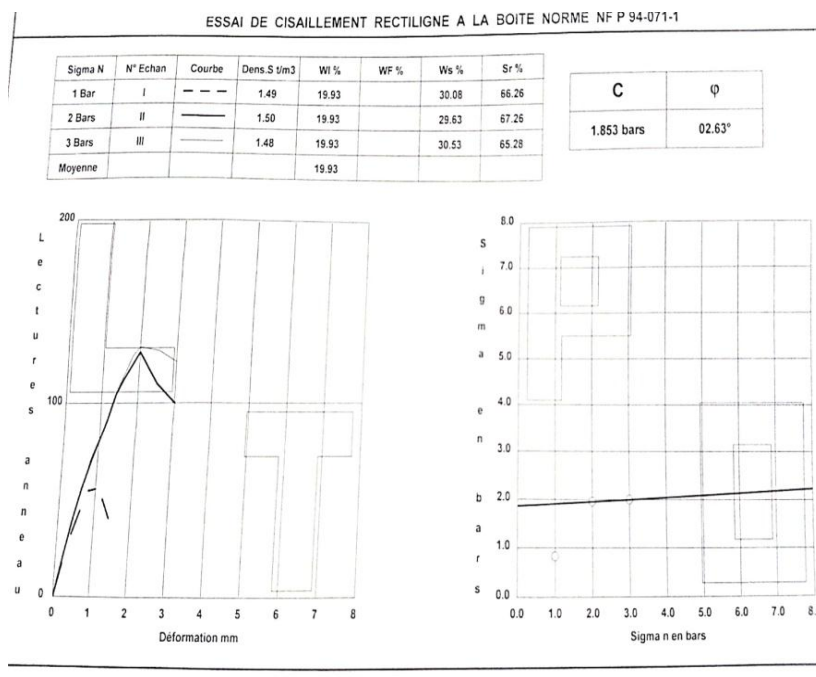


Figure IV.23 : Résultats des essais de cisaillement à la boite réalisés sur l'argile + 1% chaux + 20% de verre

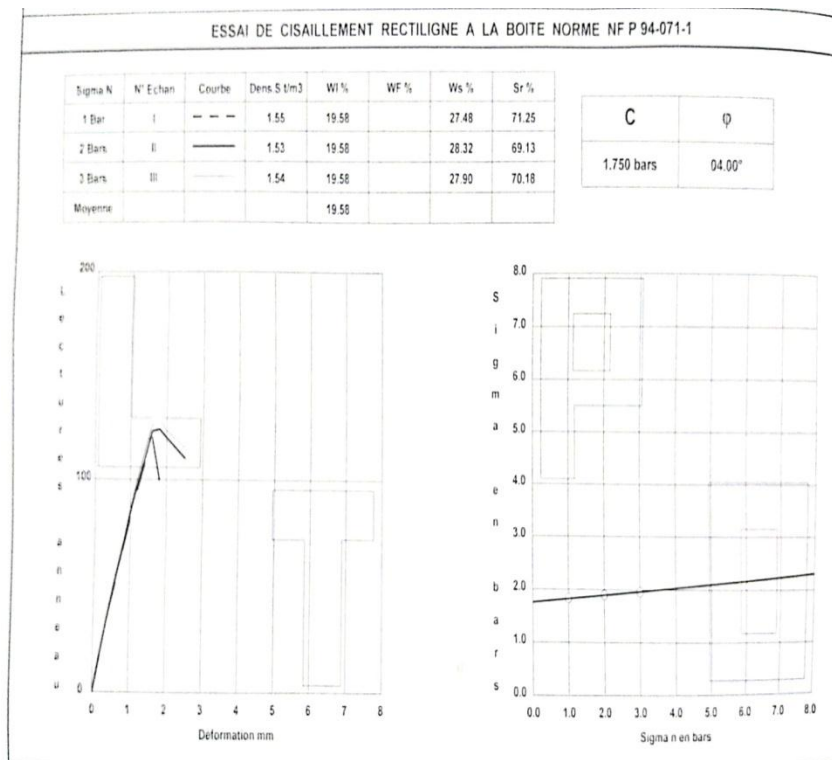


Figure IV.24 : Résultats des essais de cisaillement à la boîte réalisés sur l’argile + 1% chaux + 30% de verre

IV.4.2.3 : Essai Œdométrique:

L’Œdomètre est un appareil (Figure IV.25) permettant de charger axialement une éprouvette de forme cylindrique placée dans un cylindre rigide (à déformation transversale nulle) et de mesurer sa variation ΔH de hauteur H. Les faces supérieure et inférieure de l’éprouvette, qui est généralement submergée, sont en contact avec des disques drainants.

- Contrainte de chargement σ : contrainte moyenne totale obtenue en divisant l’effort axial N par l’aire de la section transversale de l’éprouvette cylindrique ; identique à celle intérieure de l’oedomètre.

-Déformation axiale $\Delta H/H$: déformation qui se produit lorsqu’une contrainte axiale σ est appliquée à une éprouvette de matériau fretté latéralement.

-Courbe œdométrique : représentation du diagramme donnant l’indice des vides(e) de l’éprouvette soumise à essai à la fin de chaque palier de consolidation, en fonction de la contrainte effective (σ'_v), égale à la contrainte totale (σ_v), qui lui est appliquée en début d’essai. La durée du palier est telle que la pression interstitielle est nulle dans l’éprouvette à la fin de

la consolidation une représentation dans un système de coordonnées semi-logarithmique est généralement choisie : $e=f(\lg(\sigma'_v))$.

-Courbe de consolidation : variation de hauteur (tassement) s de l'éprouvette en fonction du temps t sous l'effet d'une contrainte appliquée au début de l'essai σ_v et maintenue constante. Les représentations choisies sont soit s en fonction du logarithme du temps soit en fonction de la racine carrée du temps.



Figure IV.25 : Dispositif de l'Essai œdométrique

Les résultats des essais oedométriques sur les différents mélanges sont présentés sur les figures IV. 26 et IV-27.

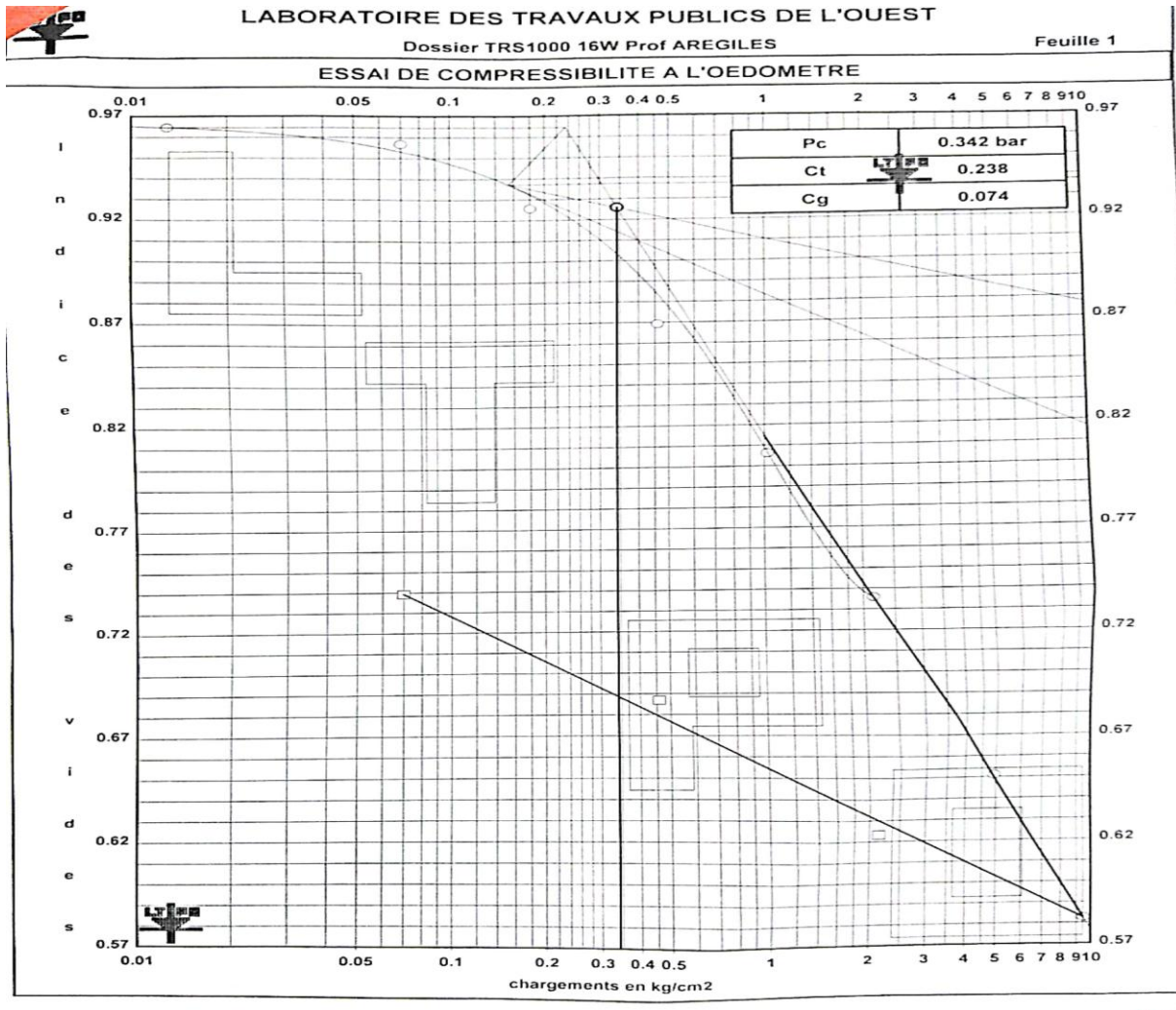


Figure IV.26 : Courbe de compressibilité de l'argile naturelle

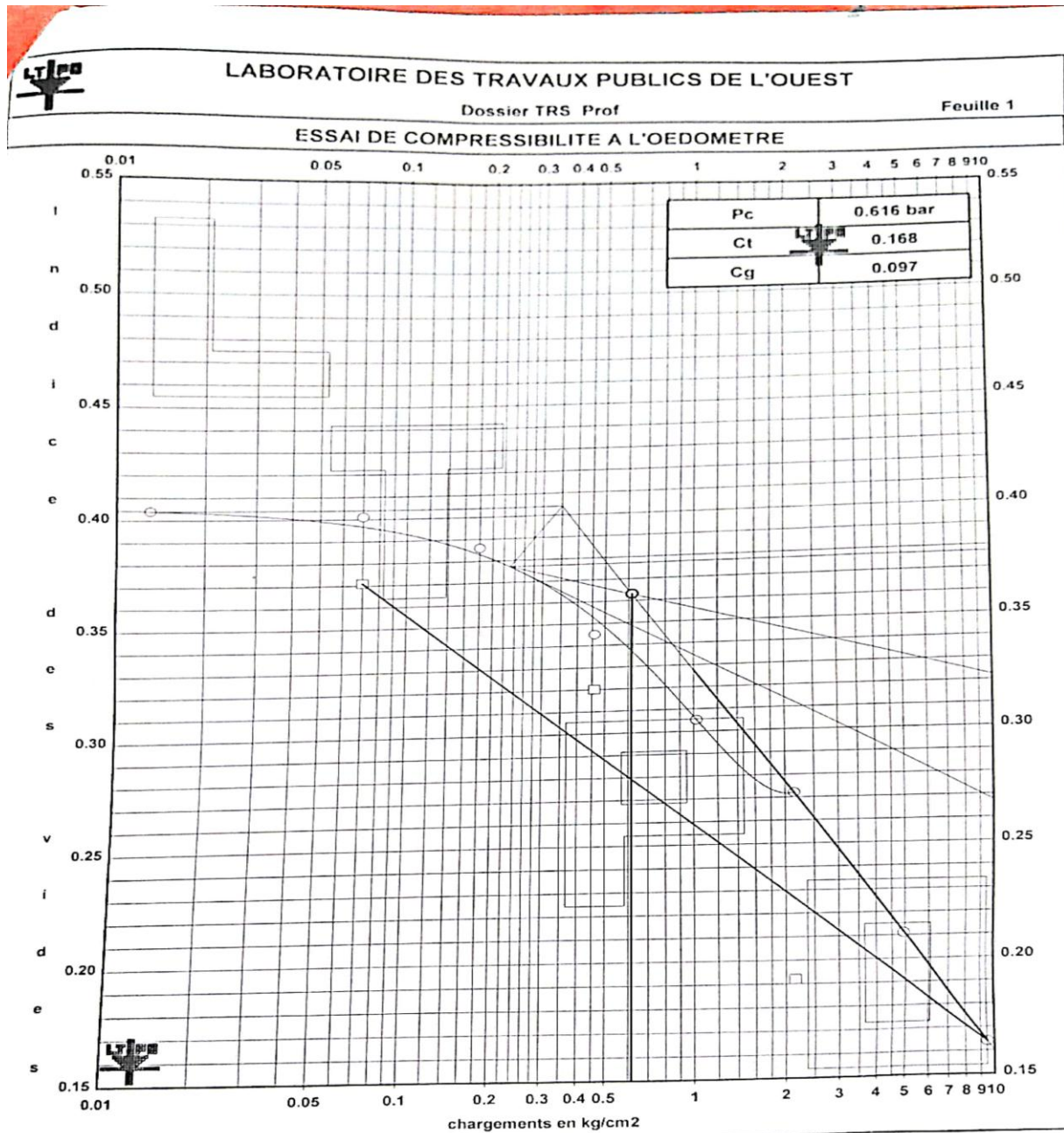


Figure IV.27 : Courbe de compressibilité de l'argile + 30% de verre

Chapitre V :

Interprétation des résultats

V.1. Introduction :

Ce chapitre est consacré à l'analyse et à l'interprétation des résultats présentés dans le chapitre précédent. Ce travail est focalisé, principalement, sur les essais Proctor et de cisaillement à la boîte et cela pour mettre en évidence l'influence de l'ajout du verre broyé et de la chaux sur les caractéristiques mécaniques des argiles.

V.2. Analyse des résultats des essais Proctor :

V.2.1. Mélanges d'Argile et du Verre broyé :

On présente sur la figure II.1 les courbes Proctor des mélanges contenant de l'argile et du verre broyé à différentes proportions (10%, 20% et 30%).

On remarque qu'en ajoutant du verre broyé, la densité sèche du mélange augmente d'une façon significative. Cela est d'autant plus que le dosage du déchet de verre est important. Cela s'explique par le fait que la densité du verre est plus grande que l'argile, d'une part et que le mélange se prête bien pour être compacté, d'autre part.

On constate également qu'en ajoutant du verre broyé, la teneur en eau optimale diminue par rapport à celle de l'argile naturelle. Cela est dû au caractère gonflant de l'argile qui absorbe plus de quantité d'eau.

Il est à noter que les courbes Proctor relatives aux mélanges (Argile + Verre) sont aplaties, ce qui traduit l'effet positif de l'ajout du verre broyé sur l'insensibilité à l'eau.

Ces résultats sont conforme à ce qui à été réalisé par M'raim (M'raim, 2019), ce qui confirme la répétabilité des essais.

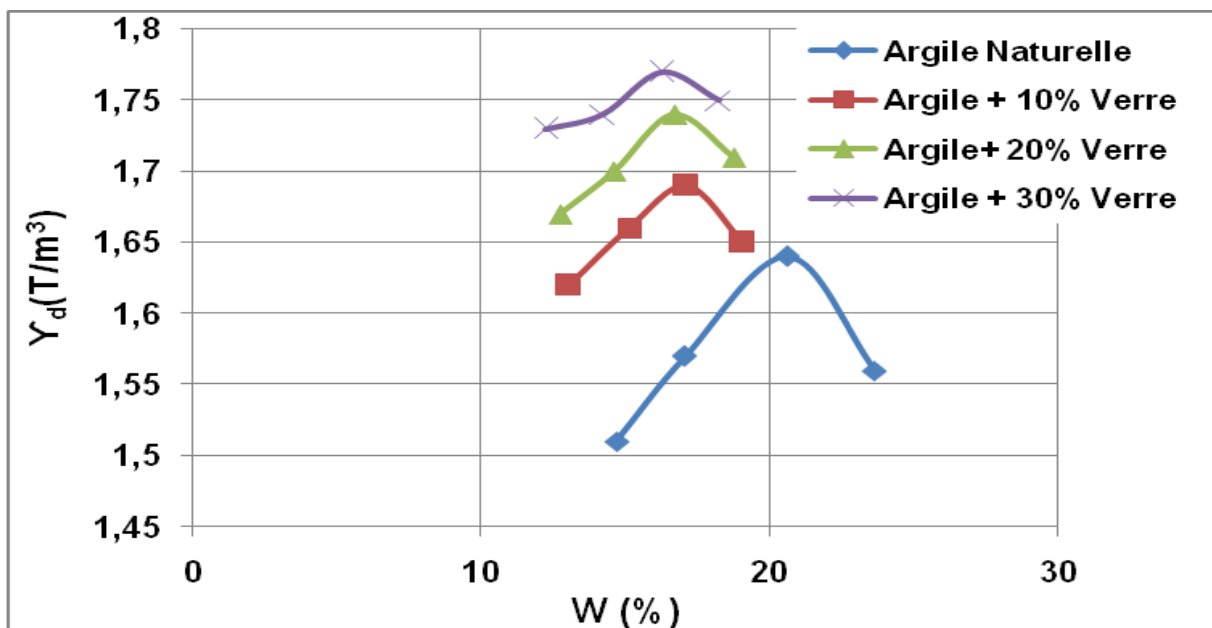


Figure V.1 : Courbes Proctor des différents mélanges d'argile et du verre broyé

Chapitre V:interprétation des résultats

V.2.2. Mélanges d'Argile prétraitée à la chaux et du verre broyé :

Sur la figure II.2, on présente les courbes Proctor des différents mélanges d'argile prétraitée à 1 % de chaux et du verre broyé à différents dosages (10%, 20% et 30%).

On peut remarquer que les mélanges contenant la chaux donnent des densités sèches inférieures par rapport à celle de l'argile naturelle sans ajout. Cela s'explique par le fait que l'ajout de la chaux provoque la floculation des particules d'argile, ce qui engendre une augmentation du volume du mélange et par conséquent une diminution de la densité sèche (Figure II.3).

Il est à noter que la courbe Proctor relative au mélange contenant 1% de chaux et 30% de verre est située en dessous de celle obtenue par un dosage de 1% de chaux et 20% de verre. Cela peut être dû au fait que le dosage de 20% offre un meilleur arrangement des grains et par conséquent une densité sèche supérieure.

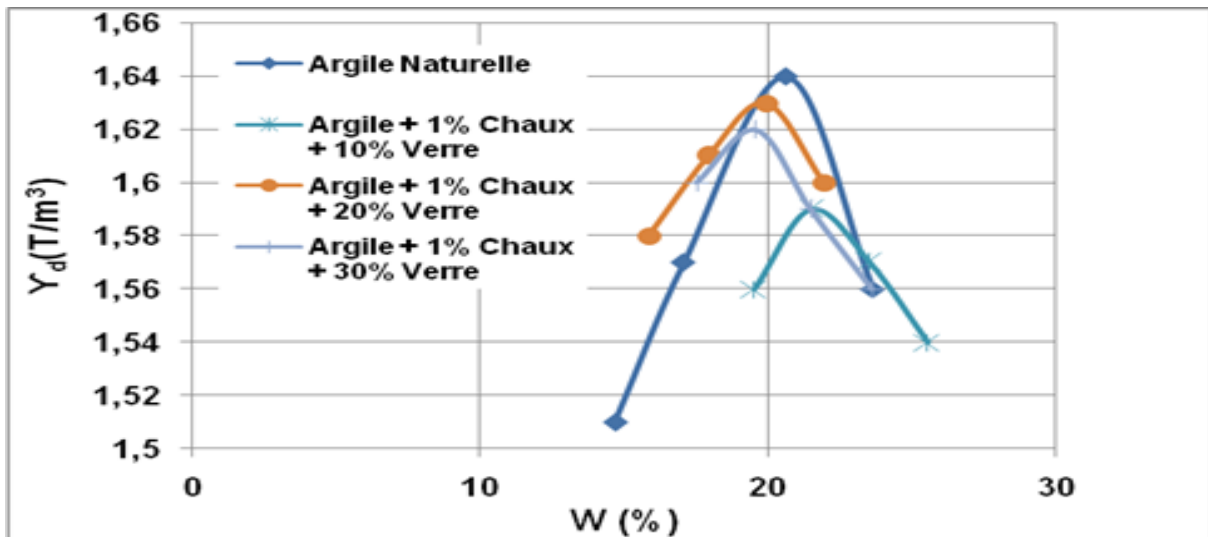


Figure V.2 : Courbes Proctor des différents mélanges d'argile prétraitée et du verre broyé

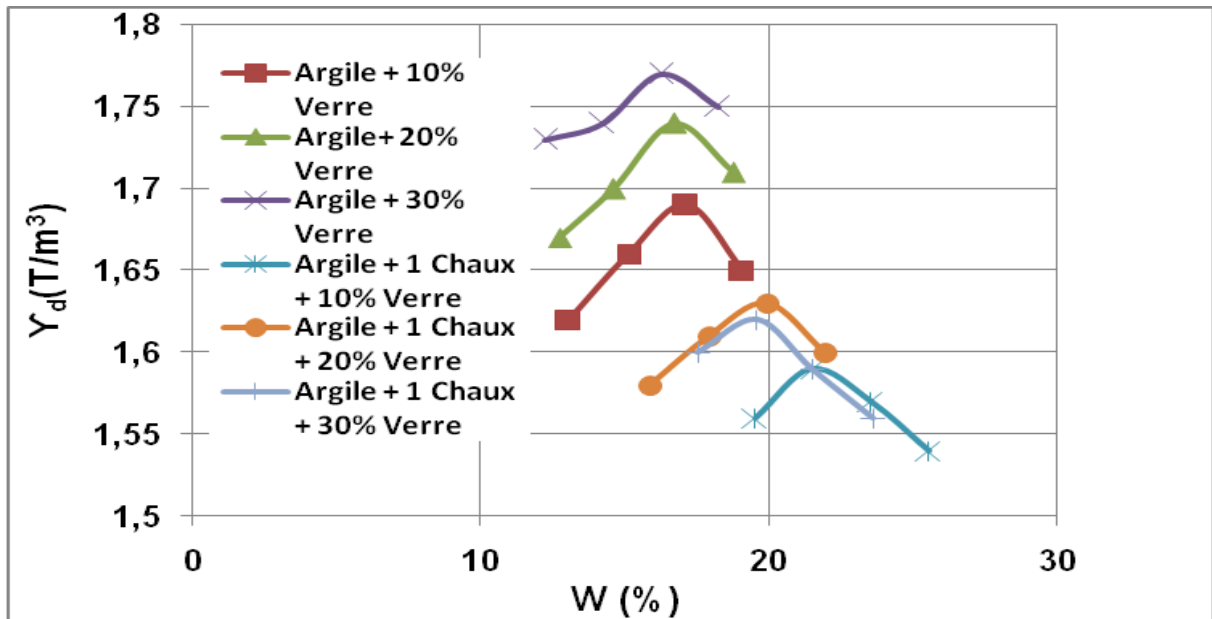


Figure V.3 : Comparaison entre les courbes Proctor des différents mélanges

V.3. Analyse des résultats des essais de cisaillement à la boîte :

V.3.1. Mélanges d'Argile et du verre broyé :

Sur la figure II.4 on présente les résultats d'essais de cisaillement à la boîte effectués sur les différents mélanges avec et sans ajout de verre. Il est important de noter que ces essais ont été réalisés en conditions "Non consolidé non drainé" (UU).

On peut constater que la pente de la courbe intrinsèque diminue en ajoutant du verre broyé à 10 et 20%, puis elle augmente pour un dosage de 30%.

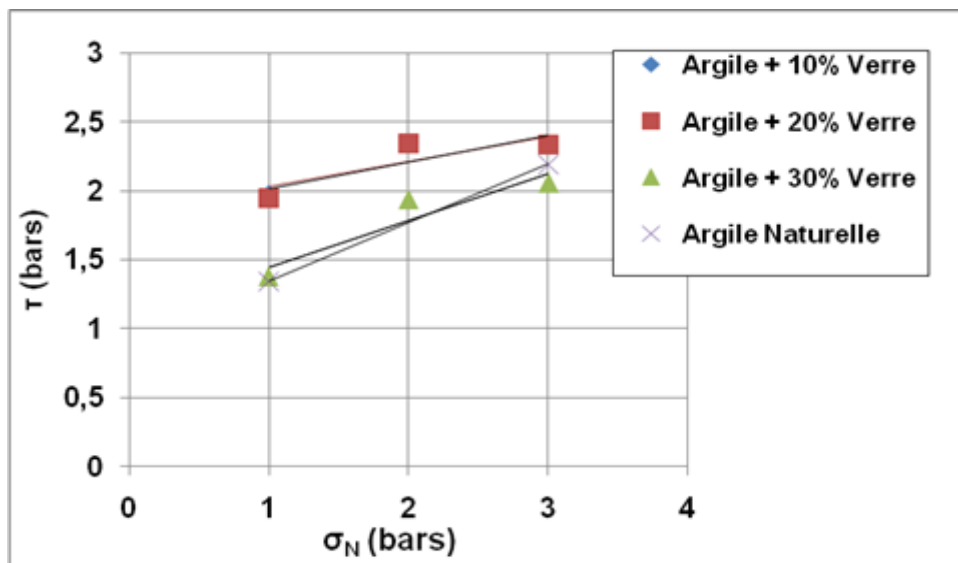


Figure V.4 : Courbes intrinsèques des différents mélanges contenant de l'argile et du verre

Chapitre V:interprétation des résultats

Dans le tableau II.1, on présente les caractéristiques intrinsèques des différents mélanges (C_u et ϕ_u).

On peut constater que l'ajout de verre n'a pas amélioré le comportement de l'argile à court terme. En effet, on s'attendait à une diminution de la cohésion et une augmentation de l'angle de frottement interne comme cela a été obtenu par des essais de cisaillement en conditions consolidés drainés (M'raim, 2019).

Tableau V.1 : Caractéristiques intrinsèques des différents mélanges d'argile et de verre

Composition du mélange	C_u (bars)	ϕ_u
Argile Naturelle	0,92	23°
Argile + 10% Verre	1,81	11°
Argile + 20% Verre	1,81	11°
Argile + 30% Verre	1,10	19°

V.3.2. Mélanges d'Argile prétraitée à la chaux et du verre broyé :

Selon la figure II.5, on peut remarquer la même tendance des résultats. En effet, l'ajout du verre broyé à l'argile prétraitée à la chaux n'améliore pas le comportement à court terme des sols fins.

V.4. Analyse des résultats des essais Géométriques :

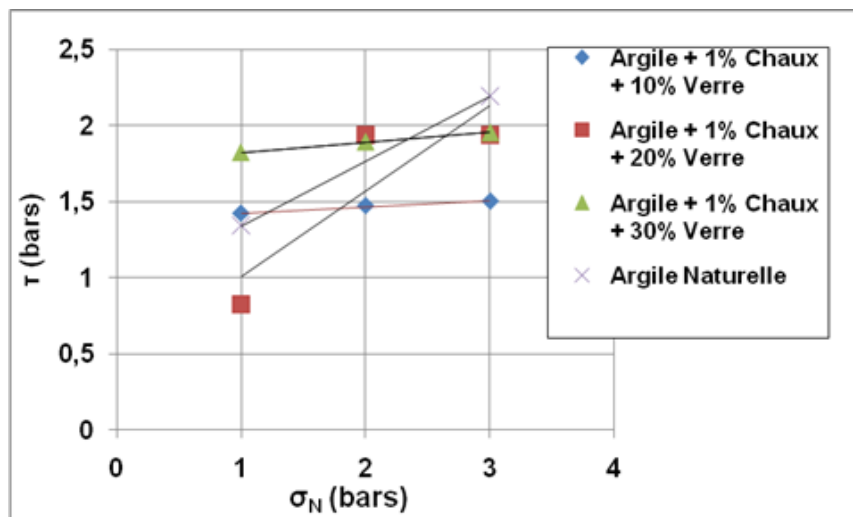


Figure V.5 : Courbes intrinsèques des différents mélanges contenant de l'argile prétraitée et du verre broyé

V.6. Conclusion

D'après l'analyse des résultats présentée auparavant, on peut dire que l'ajout de verre améliore la compactibilité des argiles, mais n'améliore pas leurs caractéristiques intrinsèques à court terme. Cependant, pour en tirer des conclusions approuvables, il faudra confirmer les résultats trouvés par des essais de répétabilité et par une étude paramétriques détaillée.

Conclusions générales et perspectives

Conclusions générales et perspectives

L'analyse des conséquences et des désordres constatés dans les ouvrages géotechniques a permis de mettre en évidence l'importance de l'application des solutions stabilisatrices des sols argileux. L'objectif de notre travail consistait à valoriser les déchets de verre dans les argiles pour améliorer leur portance et pouvoir les réutiliser en remblai. Cela a été réalisé par un prétraitement à la chaux et un ajout de verre broyé.

L'étude expérimentale a été focalisée sur les essais Proctor Normal et les essais de cisaillement à la boîte, et ce en vue d'étudier la compactibilité des sols argileux stabilisés et leur comportement à court terme.

La stabilisation des argiles a été effectuée par ajout de verre à différents pourcentage (10%, 20% et 30%). Un tel dosage a été calculé en fonction de la masse sèche de l'argile. Il a été étudié également l'effet d'ajout de verre sur l'argile prétraitée à la chaux, en fixant un faible dosage du liant de l'ordre de 1%.

En ajoutant du verre broyé, la densité sèche du mélange augmente d'une façon significative. Cela est d'autant plus que le dosage du déchet de verre est important. Ce qui traduit une bonne compactibilité des mélanges Argiles-Verre broyé.

L'ajout du verre broyé à l'argile prétraitée à la chaux a rendu les mélanges moins sensibles à l'eau, mais cela a diminué leurs densités sèches, ce qui rend la stabilisation mixte moins intéressante.

Concernant l'étude du comportement des mélanges à court terme à travers les essais de cisaillement à la boîte en conditions non consolidés non drainés (UU), cela n'a pas été selon ce qu'on s'attendait.

En conséquence, il nous paraît intéressant de pousser l'étude expérimentale pour examiner les aspects suivants :

- Etudier l'effet des dimensions des particules de verre sur l'évolution de la portance des argiles (verre micro-ionisé) ;
- Etudier l'effet de temps de cure sur l'évolution de la portance des argiles contenant du verre broyé (cimentation).
- Etudier le comportement à long terme.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Bakhtiaissa, Etude des caractéristiques élastiques d'une argile expansive stabilisée à faible teneur de mélange ciment –chaux ,mémoire de master, université Mohamed boudiaf msila,2015

Bassett ,Thomas ,J- The peasant cotton evolution in westafrica ,cotéd'Ivoire ,1880-1995 ,Cambridge University Press,2001

BELABBACI Zeyneb, Stabilisation des sols gonflants, Thèse de doctorat, Université Abou-BekrBelkaid – Tlemcen, 2014. BENMESSAOUD Ahmed, Types de solutions de construction sur sols gonflants, ,Mémoire de master, Université KASDI Merbah Ouargla, 2017.

Benmasoud Ahmed ,Type de solution de construction sur sols gonflants ,Mémoire de master, Université Kasdi Merbah Ourgla ,2017

BOUKLIKHA Rachid, MECHERNENE Majid, l'effet du compactage sur les caractéristiques de perméabilité et de résistance d'un sol fin, Mémoire de master, Université Abou-BekrBelkaid – Tlemcen, 2015.

BOURABAH Maghnia Asmahane, Comportement mécanique des sols fins Application à la valorisation des sédiments de barrages en technique routière, Thèse de doctorat, Université Abou-Bekr Belkaid – Tlemcen, 2012.

By ENSCR (BY NC SA)).Traité des matériaux-16céramique et verre-page659- Jean-Marie Haussonne, ClaudCarry ,Paul Bowen ,James Barten

Gasc-Barbier, H. Freissmuthet X. Daupley) cité Par wakim j, 2005

Hakmi Mohamed Amine, Mr Hamdani Mohamed Tarek, valorisation des déchets en verre dans l'industrie des briques réfractaires, mémoire de licence. Université taher moulay saida ,2012

Harrat, Mohamed, Contribution à l'amélioration du procédé de fabrication de la céramique : Etude sur site unité Maghreb céramique de Touggourt; Mémoire de Magister, Université de KasdiMerbah Ouargla, 2007. 'RAIM Tarek, Amélioration de la portance des argiles par l'ajout de particules de verre récupéré, Mémoire de master, Université IBN Khaldoun Tiaret, 2019

www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/bilan-gmr-2015.pdfRevenu Québec. (2018).

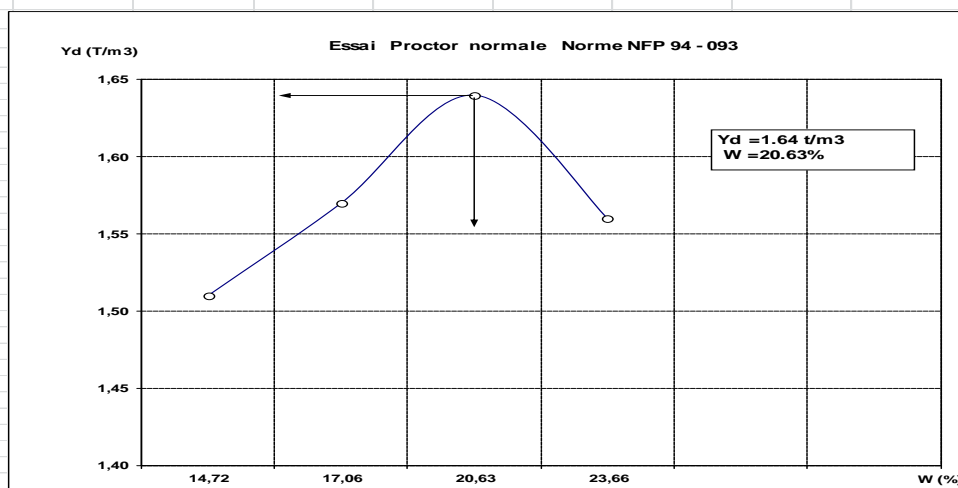
Annexes

Essai Proctor

✓ ARGILE NATUREL :

Etape	Feuille de paillasse	Essai Proctor		Code Interne M5.15.02
		NFP 94-093		
1	N° de la fiche de Réception <input type="text"/>	Date: <input type="text"/>	N° Dossier <input type="text"/>	
2	Client : <input type="text"/>	Projet : ARGILE NATUREL		
3	Etuver l'échantillon <input type="checkbox"/> *	Nature de l'échantillon:	ARGIL	
4	Eléments > à 20mm < 30% (00%)	OUI <input type="checkbox"/> *	NON <input type="checkbox"/> /	
5	Acceptation	Oui <input type="checkbox"/> *	NON <input type="checkbox"/> /	
6	Type d'essai	Proctor Normal <input type="checkbox"/> *	Proctor Modifié <input type="checkbox"/>	
7	Type de moule	Moule Proctor <input type="checkbox"/> /	Moule CBR <input type="checkbox"/> *	
8	Peser l'échantillon:ms	<input type="checkbox"/> *		
9	Teneur en eau W1%	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	W2%	14,72	17,81	
	W3%	20,63	23,66	
	W5%	/		
10	Mélanger l'échantillon	<input type="checkbox"/> *		
11	Partager l'échantillon	3 Couches <input type="checkbox"/> /	5 Couches <input type="checkbox"/> *	
12	Nombre de coups/couches	25 <input type="checkbox"/> /	56 <input type="checkbox"/> *	
13	Peser l'échantillon compacté	1643	1754	
		1877	1830	
		/		
	Calculer la densité Proctor	$\gamma d = \frac{\gamma h}{1 + w}$		
	γd_1	1,51	γd_2	
		1,57	γd_3	
		1,64	γd_4	
		1,56	γd_5	
		/		
		$d t/m^3$	1,64	
14		W% O.P.M	20,63	
	Formules de correction			
	Porosité inférieure ou égale à 5%,	Correction $\gamma d t/m^3$	1,64	
	Calcul de la teneur en eau optimum corrigée	W'%	20,63	
		$\Delta W = \frac{m}{100} W$ ET $W' = W - \Delta W$		
	Calcul de la masse volumique sèche	corrigée		
		$\gamma' d = \frac{\gamma d}{1 + \frac{m}{100} [\frac{\gamma d}{\gamma s} - 1]}$		

N° de l'échantillon :				
chaque compactage.....				
Poids total humide g.....	5226	5326	5460	5413
Poids du moule g.....	3583	3583	3583	3583
Poids du sol humide g.....	1643	1743	1877	1830
Poids du sol sec g.....	1432,33	1489,25	1555,65	1479,76
Volume du moule.....	948,565	948,565	948,565	948,565
Densité sèche t/m3.....	1,51	1,57	1,64	1,56
N° de la tare.....	1	2	3	4
Poids total humide g.....	400	400	400	400
Poids total sec g.....	356	350	341	334
Poids de la tare g.....	57	57	55	55
Poids de l'eau g.....	44	50	59	66
Poids du sol sec g.....	299	293	286	279
Teneur en eau %.....	14,72	17,06	20,63	23,66
Moyenne.....				



Le chef de service :
S.HAMRELAINE

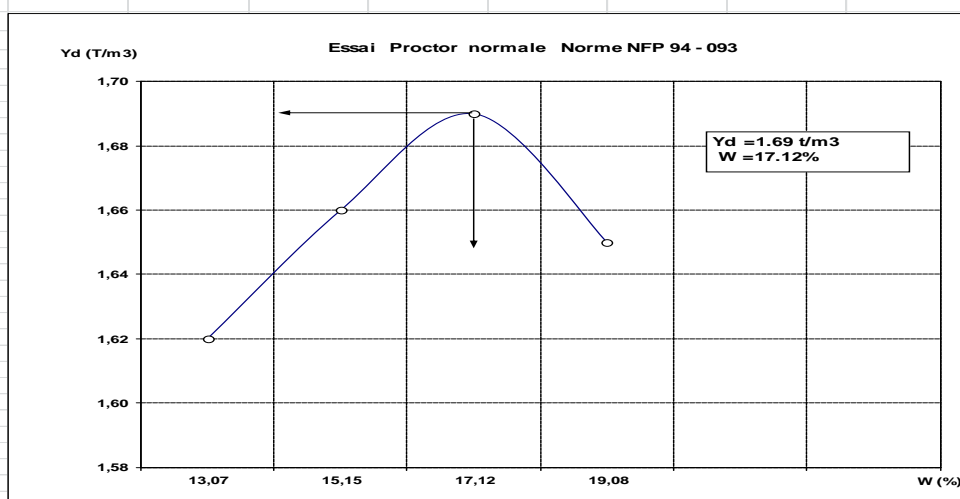
F5-14

W (%)	Yd (T/m3)	Indice CBR	Yd (T/m3)	10 C/C	25 C/C	55 C/C	Ind, 2,5 mm	Ind, 5 mm	55 C/C
14,72	1,51		1,97	780	57	55 C/C			55 C/C
17,06	1,57		2,107	1500	25	25 C/C	25	73	25 C/C
20,63	1,64		2,19	710	17	55 C/C	34	34	25 C/C
23,66	1,56			230			18	18	10 C/C
			380					10 C/C	
			2,19	95 % Proct,	98 % Proct,		2,08	2,15	

✓ ARGILE NATUREL+10%DE VERRE :

Etape	Feuille de paillasse	Essai Proctor NFP 94-093	Code Interne M5.15.02
1	N°de la fiche de Réception <input type="text"/>	Date: 16/07/2020 N°Dossie <input type="text"/>	
2	Client : <input type="text"/>	Projet : ARGILE NATUREL+10%DE VERRE	
3	Etuver l'échantillon <input type="checkbox"/> * Nature de l'échantillon: ARGILE		
4	Eléments > à 20mm < 30% (00%) OUI <input type="checkbox"/> * NON <input type="checkbox"/> /		
5	Acceptation Oui <input type="checkbox"/> * NON <input type="checkbox"/> /		
6	Type d'essai Proctor Normal <input type="checkbox"/> * Proctor Modifié <input type="checkbox"/>		
7	Type de moule Moule Proctor <input type="checkbox"/> / Moule CBR <input type="checkbox"/> *		
8	Peser l'échantillon:ms <input type="checkbox"/> *		
9	Teneur en eau W1% <input type="text"/> 14,72 W2% <input type="text"/> 17,81 W3% <input type="text"/> 20,63 W4% <input type="text"/> 23,66 W5 <input type="checkbox"/> /		
10	Mélanger l'échantillon <input type="checkbox"/> *		
11	Partager l'échantillon 3 Couches <input type="checkbox"/> / 5 Couches <input type="checkbox"/> *		
12	Nombre de coups/couches 25 <input type="checkbox"/> / 56 <input type="checkbox"/> *		
13	Peser l'échantillon compacté <input type="text"/> 1643 <input type="text"/> 1754 <input type="text"/> 1877 <input type="text"/> 1830 <input type="checkbox"/> /		
	Calculer la densité Proctor $\gamma_d = \frac{\gamma_h}{1+w}$		
	γ_{d1} <input type="text"/> 1,51 γ_{d2} <input type="text"/> 1,57 γ_{d3} <input type="text"/> 1,64 γ_{d4} <input type="text"/> 1,56 γ_{d5} <input type="checkbox"/> /		
	d t/m ³ <input type="text"/> 1,64		
14	W% O.P.M <input type="text"/> 20,63		
	Formules de correction		
	Porosité inférieure ou égale à 5%, Correction' γ_{d} t/m ³ <input type="text"/> 1,64		
	Calcul de la teneur en eau optimum corrigée W'% <input type="text"/> 20,63		
	$\Delta W = \frac{m}{100} W$ ET $W' = W - \Delta W$		
	Calcul de la masse volumique sèche corrigée		
	$\gamma' d = \frac{\gamma_d}{1 + \frac{m}{100} [\frac{\gamma_d}{\gamma_s} - 1]}$		
	Date d'essai	Le chef de service :	L'opérateur

N° de l'échantillon :				
chaque compactage.....				
Poids total humide g.....	5321	5396	5461	5447
Poids du moule g.....	3583	3583	3583	3583
Poids du sol humide g.....	1738	1813	1878	1864
Poids du sol sec g.....	1536,67	1574,61	1603,07	1565,12
Volume du moule.....	948,56	948,56	948,56	948,56
Densité sèche t/m3.....	1,62	1,66	1,69	1,65
N° de la tare.....	1	2	3	4
Poids total humide g.....	400	400	400	400
Poids total sec g.....	360	355	350	346
Poids de la tare g.....	54	58	58	63
Poids de l'eau g.....	40	45	50	54
Poids du sol sec g.....	306	297	292	283
Teneur en eau %.....	13,07	15,15	17,12	19,08
Moyenne.....				



Le chef de service :
S. HAMRELAINE

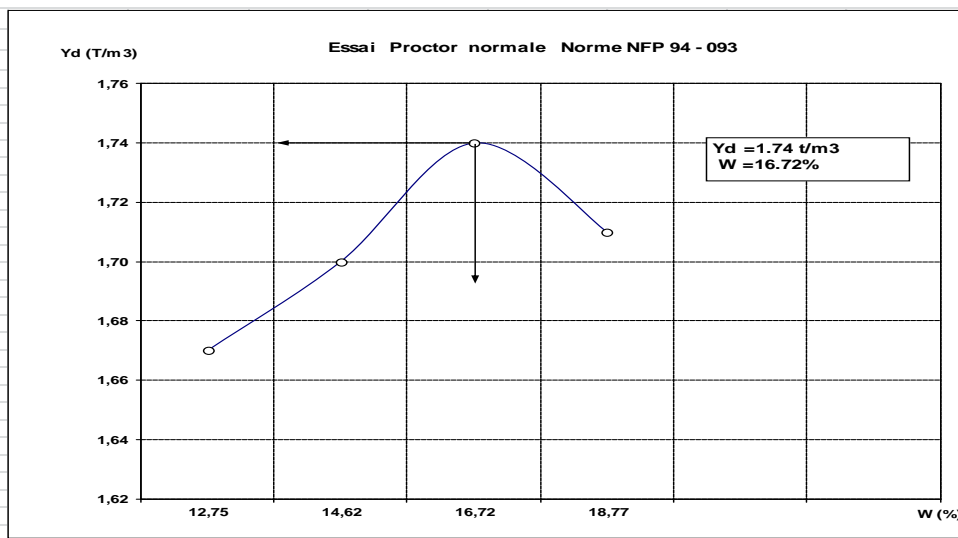
F5-14

W (%)	Yd (T/m3)	Indice CBR	Yd (T/m3)	Ind, 2,5 mm	Ind, 5 mm
13,07	1,62		1,97	780	55 C/C
15,15	1,66		2,107	1500	55 C/C
17,12	1,69	19	2,19	350	25 C/C
19,08	1,65			710	25 C/C
				230	10 C/C
				380	10 C/C
				95 % Proct, 2,08	98 % Proct, 2,15
			2,19		

✓ ARGILE NATUREL+20%DE VERRE :

Etape	Feuille de paillasse	Essai Proctor NFP 94-093		Code Interne M5.15.02
		1	N° de la fiche de Réception <input type="text"/> Date: 16/07/2020 N°Dossier <input type="text"/>	
2	Client : <input type="text"/> Projet : ARGILE NATUREL+20%DE VERRE			
3	Etuver l'échantillon <input type="checkbox"/> * Nature de l'échantillon: ARGILE			
4	Eléments > à 20mm < 30% (00%) OUI <input type="checkbox"/> * NON <input type="checkbox"/> /			
5	Acceptation Oui <input type="checkbox"/> * NON <input type="checkbox"/> /			
6	Type d'essai Proctor Normal <input type="checkbox"/> * Proctor Modifié <input type="checkbox"/>			
7	Type de moule Moule Proctor <input type="checkbox"/> / Moule CBR <input type="checkbox"/> *			
8	Peser l'échantillon:ms <input type="checkbox"/> *			
9	Teneur en eau W1% <input type="text"/> 14,72 W2% <input type="text"/> 17,81 W3% <input type="text"/> 20,63 W4% <input type="text"/> 23,66 W5% <input type="text"/> /			
10	Mélanger l'échantillon <input type="checkbox"/> *			
11	Partager l'échantillon 3 Couches <input type="checkbox"/> / 5 Couches <input type="checkbox"/> *			
12	Nombre de coups/couches 25 <input type="checkbox"/> / 56 <input type="checkbox"/> *			
13	Peser l'échantillon compacté <input type="text"/> 1643 <input type="text"/> 1754 <input type="text"/> 1877 <input type="text"/> 1830 <input type="text"/> /			
	Calculer la densité Proctor $\gamma_d = \frac{\gamma_h}{1+w}$			
	γ_{d1} <input type="text"/> 1,51 γ_{d2} <input type="text"/> 1,57 γ_{d3} <input type="text"/> 1,64 γ_{d4} <input type="text"/> 1,56 γ_{d5} <input type="text"/> /			
	d t/m ³ <input type="text"/> 1,64			
14	W% O.P.M <input type="text"/> 20,63			
	Formules de correction			
	Porosité inférieure ou égale à 5%, Correction' γ_d t/m ³ <input type="text"/> 1,64			
	Calcul de la teneur en eau optimum corrigée W' % <input type="text"/> 20,63			
	$\Delta W = \frac{m}{100} W \quad \text{ET} \quad W' = W - \Delta W$			
	Calcul de la masse volumique sèche corrigée			
	$\gamma'_d = \frac{\gamma_d}{1 + \frac{m}{100} \left[\frac{\gamma_d}{\gamma_s} - 1 \right]}$			
	Date d'essai	Le chef de service :	L'opérateur	

N° de l'échantillon :				
chaque compactage.....				
Poids total humide g.....	5369	5431	5510	5510
Poids du moule g.....	3583	3583	3583	3583
Poids du sol humide g.....	1786	1848	1927	1927
Poids du sol sec g.....	1584,10	1612,55	1650,49	1622,04
Volume du moule.....	948,56	948,56	948,56	948,56
Densité sèche t/m3.....	1,67	1,70	1,74	1,71
N° de la tare.....	1	2	3	4
Poids total humide g.....	400	400	400	400
Poids total sec g.....	361	356	351	345
Poids de la tare g.....	55	55	58	52
Poids de l'eau g.....	39	44	49	55
Poids du sol sec g.....	306	301	293	293
Teneur en eau %.....	12,75	14,62	16,72	18,77
Moyenne.....				



Le chef de service :
S. HAMRELAINE

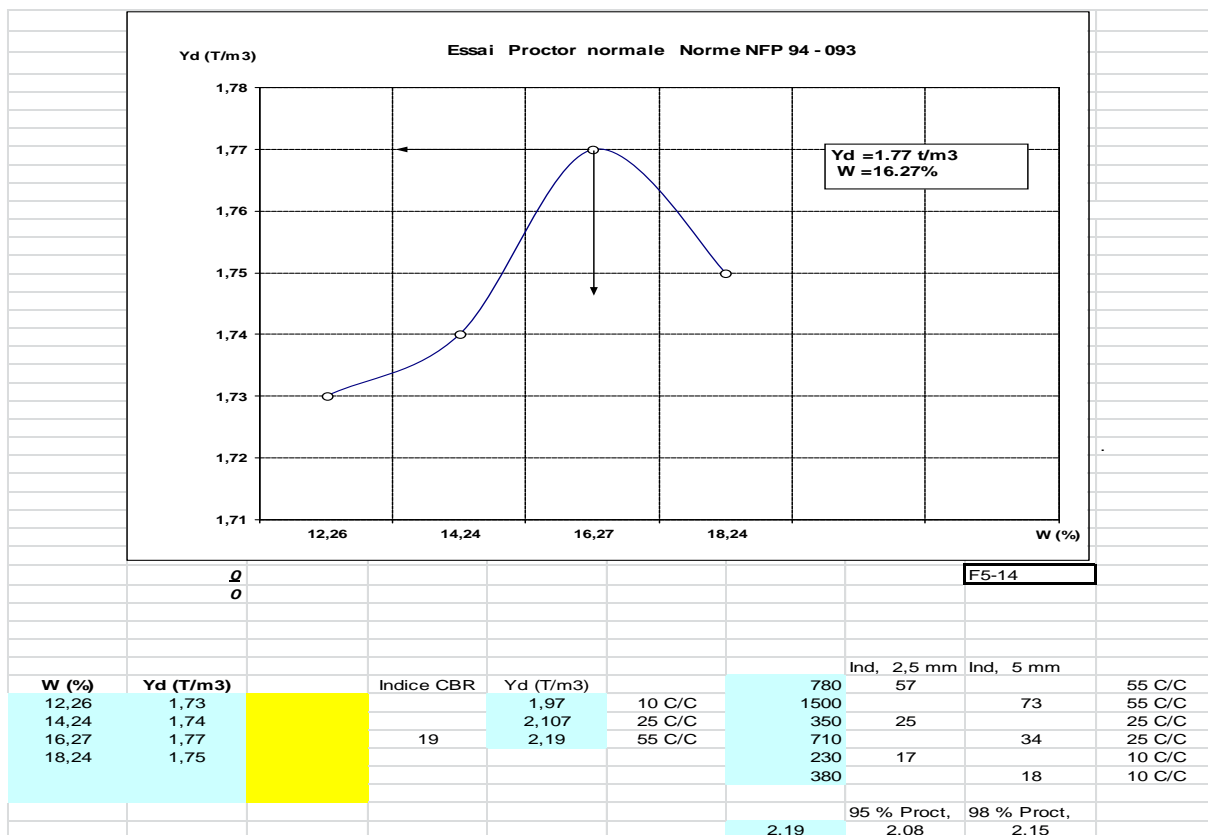
F5-14

W (%)	Yd (T/m3)	Indice CBR	Yd (T/m3)		Ind, 2,5 mm	Ind, 5 mm	
12,75	1,67		1,97	780	57	73	55 C/C
14,62	1,70		2,107	1500	25	34	55 C/C
16,72	1,74	19	2,19	350	17	18	25 C/C
18,77	1,71			710			25 C/C
				230			10 C/C
				380			10 C/C
				2,19	95 % Proct, 2,08	98 % Proct, 2,15	

✓ ARGILE NATUREL+30%DE VERRE :

Etape	Feuille de paillasse	Essai Proctor NFP 94-093	Code Interne M5.15.02
1	N°de la fiche de Réception <input type="text"/>	Date: 16/07/2020 N°Dossier <input type="text"/>	
2	Client : <input type="text"/>	Projet : ARGILE NATUREL+30%DE VERRE	
3	Etuver l'échantillon <input type="checkbox"/> *	Nature de l'échantillon: ARGILE	
4	Eléments >à 20mm < 30% (00%)	OUI <input type="checkbox"/> * NON <input type="checkbox"/> /	
5	Acceptation	Oui <input type="checkbox"/> * NON <input type="checkbox"/> /	
6	Type d'essai	Proctor Normal <input type="checkbox"/> * Proctor Modifié <input type="checkbox"/>	
7	Type de moule	Moule Proctor <input type="checkbox"/> / Moule CBR <input type="checkbox"/> *	
8	Peser l'échantillon:ms	<input type="checkbox"/> *	
9	Teneur en eau W1%	W2% 14,72 W3% 17,81 W4% 20,63 W5% <input type="checkbox"/> /	
10	Mélanger l'échantillon	<input type="checkbox"/> *	
11	Partager l'échantillon	3 Couches <input type="checkbox"/> / 5 Couches <input type="checkbox"/> *	
12	Nombre de coups/couches	25 <input type="checkbox"/> / 56 <input type="checkbox"/> *	
13	Peser l'échantillon compacté	1643 1754 1877 1830 <input type="checkbox"/> /	
	Calculer la densité Proctor	$\gamma d = \frac{\gamma h}{1 + w}$	
		γd_1 1,51 γd_2 1,57 γd_3 1,64 γd_4 1,56 γd_5 <input type="checkbox"/> /	
		d t/m ³ 1,64	
14	Formules de correction	W% O.P.M 20,63	
	Porosité inférieure ou égale à 5%,	Correction' γd t/m3 1,64	
	Calcul de la teneur en eau optimum corrigée	W'% 20,63	
		$\Delta W = \frac{m}{100} W$ ET $W' = W - \Delta W$	
	Calcul de la masse volumique sèche corrigée	$\gamma' d = \frac{\gamma d}{1 + \frac{m}{100} [\frac{\gamma d}{\gamma s} - 1]}$	
	Date d'essai		0 L'opérateur

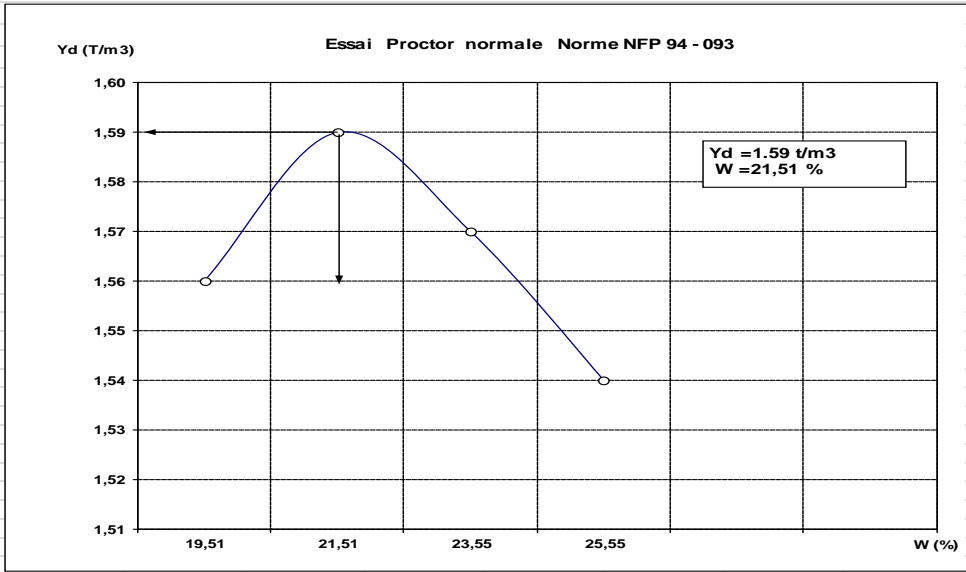
N° de l'échantillon :				
chaque compactage.....				
Poids total humide g.....	5425	5468	5535	5546
Poids du moule g.....	3583	3583	3583	3583
Poids du sol humide g.....	1842	1885	1952	1963
Poids du sol sec g.....	1641,01	1650,49	1678,95	1659,98
Volume du moule.....	948,56	948,56	948,56	948,56
Densité sèche t/m3.....	1,73	1,74	1,77	1,75
N° de la tare.....	1	2	3	4
Poids total humide g.....	400	400	400	400
Poids total sec g.....	362	357	352	346
Poids de la tare g.....	52	55	57	50
Poids de l'eau g.....	38	43	48	54
Poids du sol sec g.....	310	302	295	296
Teneur en eau %.....	12,26	14,24	16,27	18,24
Moyenne.....				



✓ ARGILE NATUREL+10%DE VERRE+1%DE LA CHAUX :

Etape	Feuille de paillasse	Essai Proctor NFP 94-093	Code Interne M5.15.02
1	N°de la fiche de Réception <input type="text"/>	Date: <input type="text"/> N°Dossier <input type="text"/>	
2	Client : <input type="text"/>	Projet : ARGILE NATUREL+10%DE VERRE+1%DE LA CHAUX	
3	Etuver l'échantillon <input type="checkbox"/> * Nature de l'échantillon: ARGILE		
4	Eléments>à 20mm < 30% (00%) OUI <input type="checkbox"/> * NON <input type="checkbox"/> /		
5	Acceptation Oui <input type="checkbox"/> * NON <input type="checkbox"/> /		
6	Type d'essai Proctor Normal <input type="checkbox"/> * Proctor Modifié <input type="checkbox"/>		
7	Type de moule Moule Proctor <input type="checkbox"/> / Moule CBR <input type="checkbox"/> *		
8	Peser l'échantillon:ms <input type="checkbox"/> *		
9	Teneur en eau W1% <input type="text"/> 19,51 <input type="text"/> 21,51 W3% <input type="text"/> 23,55 W4% <input type="text"/> 25,55 W5 <input type="checkbox"/> /		
10	Mélanger l'échantillon <input type="checkbox"/> *		
11	Partager l'échantillon 3 Couches <input type="checkbox"/> / 5 Couches <input type="checkbox"/> *		
12	Nombre de coups/couches 25 <input type="checkbox"/> / 56 <input type="checkbox"/> *		
13	Peser l'échantillon compacté <input type="text"/> 1768 <input type="text"/> 1833 <input type="text"/> 1840 <input type="text"/> 1834 <input type="checkbox"/> /		
	Calculer la densité Proctor $\gamma d = \frac{\gamma h}{1 + w}$		
	γd_1 <input type="text"/> 1,56 γd_2 <input type="text"/> 1,59 γd_3 <input type="text"/> 1,57 γd_4 <input type="text"/> 1,54 γd_5 <input type="checkbox"/> /		
	d t/m ³ <input type="text"/> 1,59		
14	W% O.P.M <input type="text"/> 21,51		
	Formules de correction		
	Porosité inférieure ou égale à 5%, Correction' γd t/m ³ <input type="text"/> 1,59		
	Calcul de la teneur en eau optimum corrigée W' % <input type="text"/> 21,51		
	$\Delta W = \frac{m}{100} W$ ET $W' = W - \Delta W$		
	Calcul de la masse volumique sèche corrigée		
	$\gamma' d = \frac{\gamma d}{1 + \frac{m}{100} [\frac{\gamma d}{\gamma_s} - 1]}$		
	Date d'essai	Le chef de service :	L'opérateur

N° de l'échantillon :				
chaque compactage.....				
Poids total humide g.....	5351	5416	5423	5417
Poids du moule g.....	3583	3583	3583	3583
Poids du sol humide g.....	1768	1833	1840	1834
Poids du sol sec g.....	1479,75	1508,21	1489,24	1460,78
Volume du moule.....	948,56	948,56	948,56	948,56
Densité sèche t/m3.....	1,56	1,59	1,57	1,54
N° de la tare.....	1	2	3	4
Poids total humide g.....	400	400	400	400
Poids total sec g.....	344	340	335	330
Poids de la tare g.....	57	61	59	56
Poids de l'eau g.....	56	60	65	70
Poids du sol sec g.....	287	279	276	274
Teneur en eau %.....	19,51	21,51	23,55	25,55
Moyenne.....				



Le chef de service :
S.HAMRELAINE

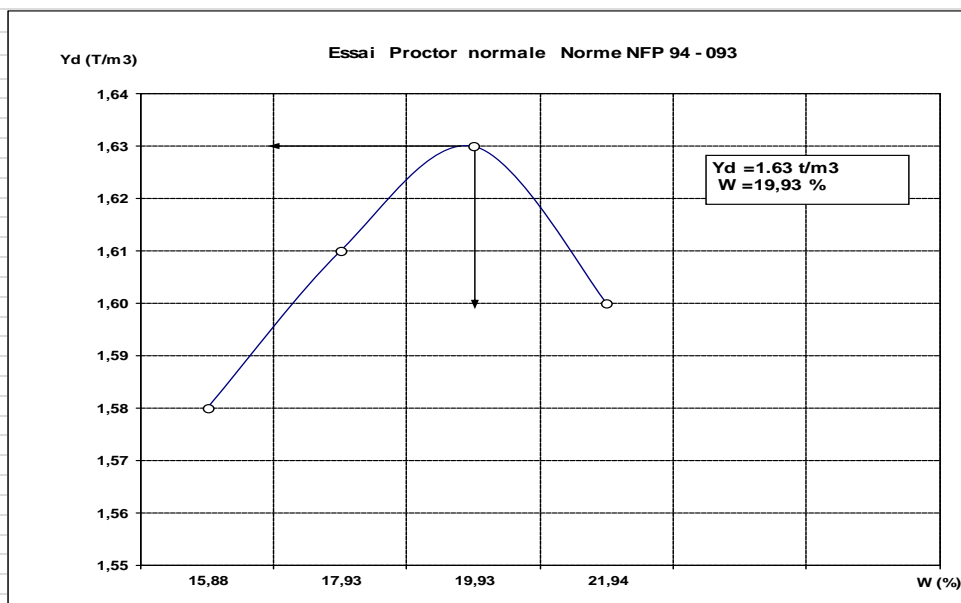
F5-14

W (%)	Yd (T/m3)	Indice CBR	Yd (T/m3)	Ind, 2,5 mm	Ind, 5 mm
19,51	1,56		1,97	780	55 C/C
21,51	1,59		2,107	1500	55 C/C
23,55	1,57	19	2,19	350	25 C/C
25,55	1,54			710	25 C/C
				230	10 C/C
				380	10 C/C
					95 % Proct, 2,08
					98 % Proct, 2,15

✓ ARGILE NATUREL+20%DE VERRE+1%DE LA CHAUX :

Etape	Feuille de paillasse	Essai Proctor NFP 94-093	Code Interne M5.15.02
1	N°de la fiche de Réception <input type="text"/>	Date: <input type="text"/> N°Dossier <input type="text"/>	
2	Client : <input type="text"/>	Projet : ARGILE NATUREL+20%DE VERRE+1%DE LA CHAUX	
3	Etuver l'échantillon <input type="checkbox"/> * Nature de l'échantillon: ARGILE		
4	Eléments > à 20mm < 30% (00%) OUI <input type="checkbox"/> * NON <input type="checkbox"/> /		
5	Acceptation Oui <input type="checkbox"/> * NON <input type="checkbox"/> /		
6	Type d'essai Proctor Normal <input type="checkbox"/> * Proctor Modifié <input type="checkbox"/>		
7	Type de moule Moule Proctor <input type="checkbox"/> / Moule CBR <input type="checkbox"/> *		
8	Peser l'échantillon:ms <input type="checkbox"/> *		
9	Teneur en eau W1% <input type="text"/> 15,88 W2% <input type="text"/> 17,93 W3% <input type="text"/> 19,93 W4% <input type="text"/> 21,94 W5% <input type="checkbox"/> /		
10	Mélanger l'échantillon <input type="checkbox"/> *		
11	Partager l'échantillon 3 Couches <input type="checkbox"/> / 5 Couches <input type="checkbox"/> *		
12	Nombre de coups/couches 25 <input type="checkbox"/> / 56 <input type="checkbox"/> *		
13	Peser l'échantillon compacté <input type="text"/> 1737 <input type="text"/> 1801 <input type="text"/> 1854 <input type="text"/> 1851 <input type="checkbox"/> /		
	Calculer la densité Proctor $\gamma d = \frac{\gamma h}{1 + w}$		
	γd_1 <input type="text"/> 1,58 γd_2 <input type="text"/> 1,61 γd_3 <input type="text"/> 1,63 γd_4 <input type="text"/> 1,60 γd_5 <input type="checkbox"/> /		
	d t/m ³ <input type="text"/> 1,63		
14	W% O.P.M <input type="text"/> 19,93		
	Formules de correction		
	Porosité inférieure ou égale à 5%, Correction' γd t/m ³ <input type="text"/> 1,63		
	Calcul de la teneur en eau optimum corrigée W' % <input type="text"/> 19,93		
	$\Delta W = \frac{m}{100} W$ ET $W' = W - \Delta W$		
	Calcul de la masse volumique sèche corrigée		
	$\gamma' d = \frac{\gamma d}{1 + \frac{m}{100} [\frac{\gamma d}{\gamma_s} - 1]}$		
	Date d'essai	Le chef de service :	L'opérateur

N° de l'échantillon :				
chaque compactage.....				
Poids total humide g.....	5320	5384	5437	5434
Poids du moule g.....	3583	3583	3583	3583
Poids du sol humide g.....	1737	1801	1854	1851
Poids du sol sec g.....	1498,72	1527,18	1546,15	1517,70
Volume du moule.....	948,56	948,56	948,56	948,56
Densité sèche t/m3.....	1,58	1,61	1,63	1,60
N° de la tare.....	1	2	3	4
Poids total humide g.....	400	400	400	400
Poids total sec g.....	353	348	343	339
Poids de la tare g.....	57	58	57	61
Poids de l'eau g.....	47	52	57	61
Poids du sol sec g.....	296	290	286	278
Teneur en eau %.....	15,88	17,93	19,93	21,94
Moyenne.....				



Le chef de service :
S.HAMRELAINE

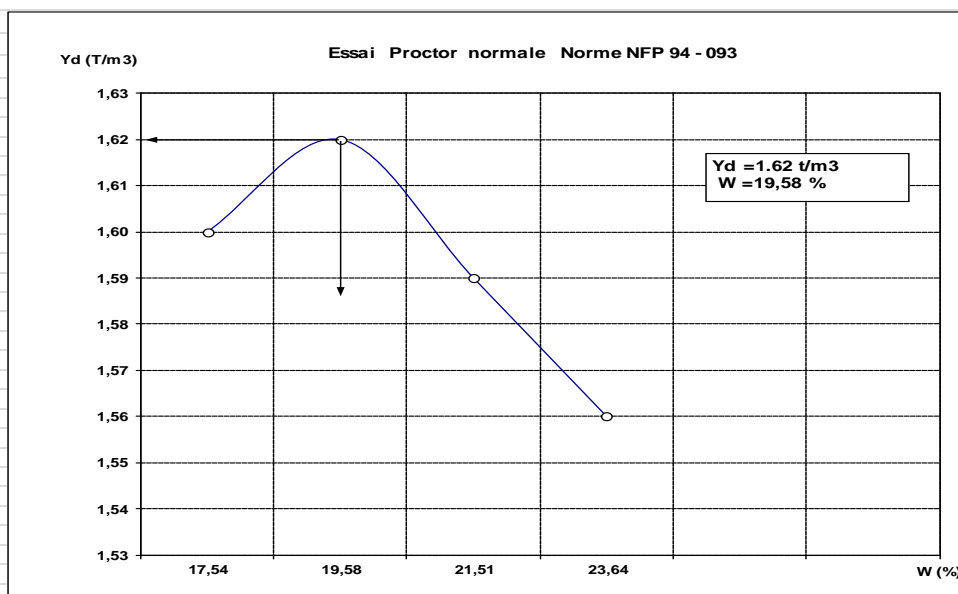
F5-14

W (%)	Yd (T/m3)	Indice CBR	Yd (T/m3)		Ind, 2,5 mm	Ind, 5 mm	
15,88	1,58		1,97	10 C/C	780	57	55 C/C
17,93	1,61		2,107	25 C/C	1500	73	55 C/C
19,93	1,63	19	2,19	55 C/C	350	25	25 C/C
21,94	1,60				710	34	25 C/C
					230	17	10 C/C
					380	18	10 C/C
					95 % Proct,	98 % Proct,	
					2,19	2,08	2,15

✓ ARGILE NATUREL+30%DE VERRE+1%DE LA CHAUX :

Etape	Feuille de paillasse	Essai Proctor NFP 94-093	Code Interne M5.15.02
1	N°de la fiche de Réception <input type="text"/>	Date: <input type="text"/> N°Dossier <input type="text"/>	
2	Client : <input type="text"/>	Projet : ARGILE NATUREL+30%DE VERRE+1%DE LA CHAUX	
3	Etuver l'échantillon <input type="checkbox"/> * Nature de l'échantillon: ARGILE		
4	Eléments > à 20mm < 30% (00%) OUI <input type="checkbox"/> * NON <input type="checkbox"/> /		
5	Acceptation Oui <input type="checkbox"/> * NON <input type="checkbox"/> /		
6	Type d'essai Proctor Normal <input type="checkbox"/> * Proctor Modifié <input type="checkbox"/>		
7	Type de moule Moule Proctor <input type="checkbox"/> / Moule CBR <input type="checkbox"/> *		
8	Peser l'échantillon:ms <input type="checkbox"/> *		
9	Teneur en eau W1% <input type="text"/> 17,54 <input type="text"/> 19,58 W3% <input type="text"/> 21,51 W4% <input type="text"/> 23,64 W5% <input type="checkbox"/> /		
10	Mélanger l'échantillon <input type="checkbox"/> *		
11	Partager l'échantillon 3 Couches <input type="checkbox"/> / 5 Couches <input type="checkbox"/> *		
12	Nombre de coups/couches 25 <input type="checkbox"/> / 56 <input type="checkbox"/> *		
13	Peser l'échantillon compacté <input type="text"/> 1784 <input type="text"/> 1838 <input type="text"/> 1833 <input type="text"/> 1830 <input type="checkbox"/> /		
	Calculer la densité Proctor $\gamma d = \frac{\gamma h}{1 + w}$		
	γd_1 <input type="text"/> 1,60 γd_2 <input type="text"/> 1,62 γd_3 <input type="text"/> 1,59 γd <input type="text"/> 1,56 γ <input type="checkbox"/> /		
	d t/m ³ <input type="text"/> 1,62		
14	W% O.P.M <input type="text"/> 19,58		
	Formules de correction		
	Porosité inférieure ou égale à 5%, Correction' γd t/m ³ <input type="text"/> 1,62		
	Calcul de la teneur en eau optimum corrigée W' % <input type="text"/> 19,58		
	$\Delta W = \frac{m}{100} W$ ET $W' = W - \Delta W$		
	Calcul de la masse volumique sèche corrigée		
	$\gamma' d = \frac{\gamma d}{1 + \frac{m}{100} [\frac{\gamma d}{\gamma_s} - 1]}$		
	Date d'essai	Le chef de service :	L'opérateur

N° de l'échantillon :				
chaque compactage.....				
Poids total humide g.....	5367	5421	5416	5413
Poids du moule g.....	3583	3583	3583	3583
Poids du sol humide g.....	1784	1838	1833	1830
Poids du sol sec g.....	1517,70	1536,67	1508,21	1479,75
Volume du moule.....	948,56	948,56	948,56	948,56
Densité sèche t/m3.....	1,60	1,62	1,59	1,56
N° de la tare.....	1	2	3	4
Poids total humide g.....	400	400	400	400
Poids total sec g.....	350	344	340	335
Poids de la tare g.....	65	58	61	60
Poids de l'eau g.....	50	56	60	65
Poids du sol sec g.....	285	286	279	275
Teneur en eau %.....	17,54	19,58	21,51	23,64
Moyenne.....				



Le chef de service :
S.HAMRELAINE

F5-14

W (%)	Yd (T/m3)	Indice CBR	Yd (T/m3)	780	1500	350	710	230	380	Ind, 2,5 mm	Ind, 5 mm	55 C/C
17,54	1,60		1,97	10 C/C						57	73	55 C/C
19,58	1,62		2,107	25 C/C						25	34	25 C/C
21,51	1,59	19	2,19	55 C/C						17	18	25 C/C
23,64	1,56											10 C/C
												10 C/C
										95 % Proct,	98 % Proct,	
										2,08	2,15	
									2,19			

Essai Cisaillement

✓ argil naturel :

L.T.P.O. Unité de Tiarret

Naturel

Essai de Cisaillement Norme NFP 94-071-1

Code Interne M5.10.02

Réception de l'échantillon: [] Demandeur: [] Date de l'essai: []

N° dossier: [] Client: []

Projet: []

Acceptation: Oui [] Non []

Type d'essai: UU [] CU [] CD []

Sp: [] Pur [] Prof: [] Nature: []

Etat de l'échantillon: Intact [] Remanié []

Étuvage: Température (°C) T: [] $105 \leq T \leq 50 \text{ °C}$

Préparer les plaques drainantes: []

Découper et tailler l'échantillon: 1 [] 2 [] 3 [] 4 []

Sabrer l'échantillon: []

Tracer le contour exact et dresser la face inf et sup. soigneusement

Section carrée (60 x 60 mm) [] Section circulaire ($\phi = 60 \text{ mm}$) []

(100 x 100 mm) [] Section circulaire ($\phi = 100 \text{ mm}$) []

Mesurer la hauteur h (mm): [] $20 \leq h \leq L/2$

Peser l'échantillon (gr)

N° Eprouvette	initial	final	initial	final	initial	final	initial	final
Poids du Moule (g)								
PH + Moule (g)	127,0		107,0		127,0		107,0	

10- Introduire l'éprouvette dans les deux demi-boîtes solidarisées: []

11- Placer le piston muni de sa plaque sur le sommet de l'éprouvette: []

12- Mettre l'éprouvette dans le châssis étanche fixé sur le bâti: []

13- Fixer le système de mesure de l'effort de cisaillement "horizontal" (T) et noter la valeur d'origine du capteur de l'effort (T): []

21- Arrêter l'essai soit lorsque: $dh \geq 5 \text{ mm}$ []

22- $\Delta P \leq 1/100$ de l'effort max []

23- Enlever des poids du plateau de charge: []

24- Enlever la boîte du chariot de la machine: []

25- Mesurer la teneur en eau: []

N° de la tare	i	f	i	f	i	f	i	f
P - Tare	103	132	112	112	112	112	112	112
PH + la Tare	70,3	72,1	77,2	78	77,6	80,3		
P - sans la Tare	61,9	63,1	67,3	67,9	67,6	69,2		

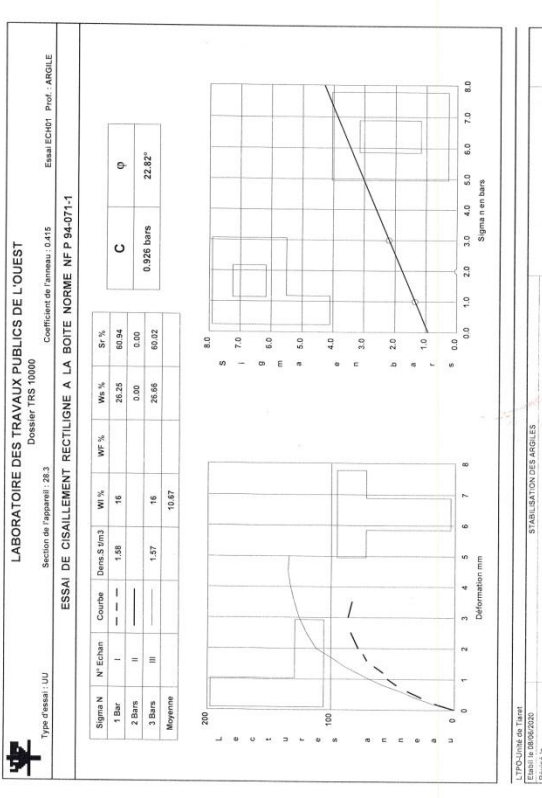
Noter les valeurs calculées:

Echantillon	1	2	3	4
Teneur en eau (%)	16	20,93	16	20,93
H (g/cm ³)	1,84		1,82	
D (g/cm ³)	1,59		1,57	
W _s (%)	26,15		26,77	
S _s (%)	61,2		59,8	
Contrainte normale (kpa)	1		3	
Déformation (mm)	3		4,5	
Section (cm ²)	26,5		25,6	
Force (Kgf)	351,60		561,03	
Contrainte de cisaillement (kpa)	1,34		2,19	

Argile naturelle

Date: [] L'Opérateur: [] Le Chef de service: []

Déformation (mm)	Lecture anneau (100 kpa)	Lecture anneau (200 kpa)	Lecture anneau (300 kpa)	Lecture anneau (400 kpa)
0,2	116		116	
0,4	118		118	
0,6	119		119	
0,8	120		120	
1,0	121		121	
1,2	122		122	
1,4	123		123	
1,6	124		124	
1,8	125		125	
2,0	126		126	
2,5	127		127	
3,0	128		128	
3,5	129		129	
4,0	130		130	
4,5	131		131	
5,0	132		132	
5,5				
6,0				
6,5				
7,0				
7,5				
8,0				
8,5				
9,0				
9,5				
10,0				
10,5				
11,0				
11,5				
12,0				
12,5				
13,0				
13,5				
14,0				
14,5				
15,0				
15,5				
16,0				
16,5				
17,0				



✓ argile + 10% verre :

L.T.P.O Unité de Tiaret

Essai de Cisaillement Norme NFP 99-71-1 Code Interne MS-10.02

Feuille de Paillasson

Réception de l'échantillon : N° dossier *125/Novo* Demandeur *Novo* Date de l'essai *Montée*

Client *Novo*

Projet *Novo*

Acceptation : Oui Non *Novo*

Type d'essai : UU CU CD

Sp. Puits Prof. *NOI* Nature *Argile*

Etat de l'échantillon : Intact Remanié

Enivrage : Température (°C) T *105 ≤ T ≤ 50 °C*

Préparer les plaques drainantes :

Couper et tailler l'échantillon : 1 2 3 4

Saturer l'échantillon :

Tracer le contour exact et dresser la face inf et sup. soigneusement

Section carrée (60 x 60 mm) Section circulaire (φ = 60 mm)

(100 x 100 mm) Section circulaire (φ = 100 mm)

Mesurer la hauteur h (mm) *20 ≤ h ≤ L/2*

Peser l'échantillon (gr)

N° Eprouvette	initial	final	initial	final	initial	final	initial	final
Poids du moule (g)	<i>104.0</i>		<i>107.0</i>		<i>107.0</i>			
PH + Moule (g)	<i>210.0</i>		<i>210.0</i>		<i>210.0</i>			

10 Introduire l'éprouvette dans les deux demi-boîtes solidarisées :

11 Placer le piston muni de sa plaque sur le sommet de l'éprouvette :

12 Mettre l'éprouvette dans le châssis étanche fixé sur le bâti :

13 Fixer le système de mesure de l'effort de cisaillement horizontal (T) et noter la valeur d'origine du capteur de l'effort (T) :

21 Arrêter l'essai soit lorsque : $sh \geq 5 \text{ mm}$

22 $\sigma \leq 1 / 100$ de l'effort max

23 Enlever des poids du plateau de charge :

24 Enlever la boîte du chariot de la machine :

25 Mesurer la teneur en eau :

N° de la tare	i	f	i	f	i	f	i	f
P - Tare g								
Fin - la Tare g								
P - sec + la Tare g								

Nettoyer les pierres poreuses et les boîtes de cisaillement :

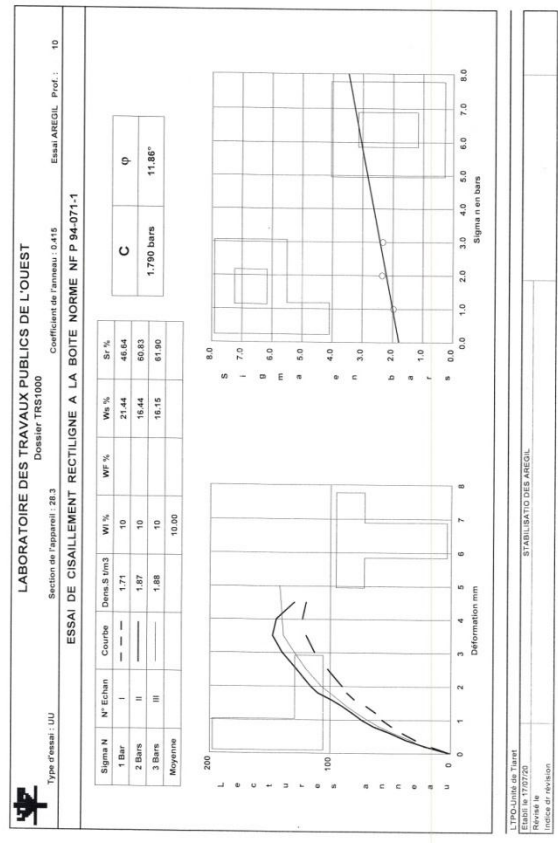
Noter les valeurs calculées :

Echantillon	1	2	3	4
Teneur en eau (%)	<i>10.2</i>	<i>10.2</i>	<i>10.1</i>	
H (g/cm ³)	<i>1.89</i>	<i>1.90</i>	<i>1.88</i>	
D (g/cm ³)	<i>1.25</i>	<i>1.27</i>	<i>1.24</i>	
W _s (%)	<i>21.43</i>	<i>21.64</i>	<i>21.19</i>	
S _s (%)	<i>26.6</i>	<i>26.8</i>	<i>26.5</i>	
Contrainte normale (kpa)	<i>110</i>	<i>210</i>	<i>310</i>	
Déformation (mm)	<i>4.0</i>	<i>3.5</i>	<i>5.0</i>	
Section (cm ²)	<i>21.9</i>	<i>21.2</i>	<i>21.3</i>	
Force (Kgf)	<i>60.9</i>	<i>61.2</i>	<i>59.9</i>	
Contrainte de cisaillement (kpa)	<i>1.97</i>	<i>2.34</i>	<i>2.32</i>	

10% verre, Argile

Date _____ L'Opérateur _____ Le Chef de service _____

Déformation (mm)	Lecture anneau (100 kpa)	Lecture anneau (200 kpa)	Lecture anneau (300 kpa)	Lecture anneau (400 kpa)
0.2	<i>16</i>	<i>20</i>	<i>22</i>	
0.4	<i>28</i>	<i>32</i>	<i>33</i>	
0.6	<i>40</i>	<i>50</i>	<i>42</i>	
0.8	<i>48</i>	<i>64</i>	<i>50</i>	
1.0	<i>52</i>	<i>74</i>	<i>60</i>	
1.2	<i>53</i>	<i>82</i>	<i>70</i>	
1.4	<i>70</i>	<i>90</i>	<i>76</i>	
1.6	<i>76</i>	<i>99</i>	<i>83</i>	
1.8	<i>90</i>	<i>110</i>	<i>100</i>	
2.0	<i>90</i>	<i>116</i>	<i>102</i>	
2.5	<i>102</i>	<i>124</i>	<i>110</i>	
3.0	<i>113</i>	<i>140</i>	<i>120</i>	
3.5	<i>120</i>	<i>148</i>	<i>130</i>	
4.0	<i>133</i>	<i>161</i>	<i>140</i>	
4.5	<i>120</i>	<i>130</i>	<i>144</i>	
5.0	<i>110</i>		<i>102</i>	



✓ argil +20% verre :

L.T.P.O. Unité de Tiarét

Feuille de Paillasse

Essai de Cisaillement Norme NF P 94-71-1

Code Interne M5_10.02

Réception de l'échantillon: N° dossier: *125/1000* Demandeur: *Moine* Date de l'essai: *11/01/02*

Client: *Moine*

Acceptation: Oui Non *Moine*

Type d'essai: UU CU CD

Sp: Ruite Prof: *NOI* Nature: *Argile*

Etat de l'échantillon: Intact Remanée

Étrépage: Température (°C) T: *105 ≤ T ≤ 50 °C*

Préparer les plaques drainantes:

Désouper et tailler l'échantillon: 1 2 3 4

Saturer l'échantillon:

Traçer le contour exact et dresser la face inf et sup soigneusement

Section carrée (60 x 60 mm) Section circulaire (φ = 60 mm)

(100 x 100 mm) Section circulaire (φ = 100 mm)

Mesurer la hauteur h (mm) *20 ≤ h ≤ L/2*

Peser l'échantillon (gr)

N° Eprouvette	initial	final	initial	final	initial	final	initial	final
Poids du Moule (g)	<i>104,0</i>	<i>104,0</i>	<i>104,0</i>	<i>104,0</i>				
Pht + Moule (g)	<i>210,4</i>	<i>210,4</i>	<i>210,4</i>	<i>210,4</i>				

13. Fixer le système de mesure de l'effort de cisaillement horizontal (T) et noter la valeur d'origine du capteur de l'effort (T):

21. Arrêter l'essai soit lorsque: 6h ≥ 5 mm

22. * AP ≤ 1 / 100 de l'effort max

23. Enlever des poids du plateau de charge:

24. Enlever la boîte du chariot de la machine:

25. Mesurer la teneur en eau:

N° de la tare	1	2	3	4
P - Tare (g)				
P ₁ - la Tare (g)				
P ₂ - la Tare (g)				

Nettoyer les pierres poreuses et les boîtes de cisaillement:

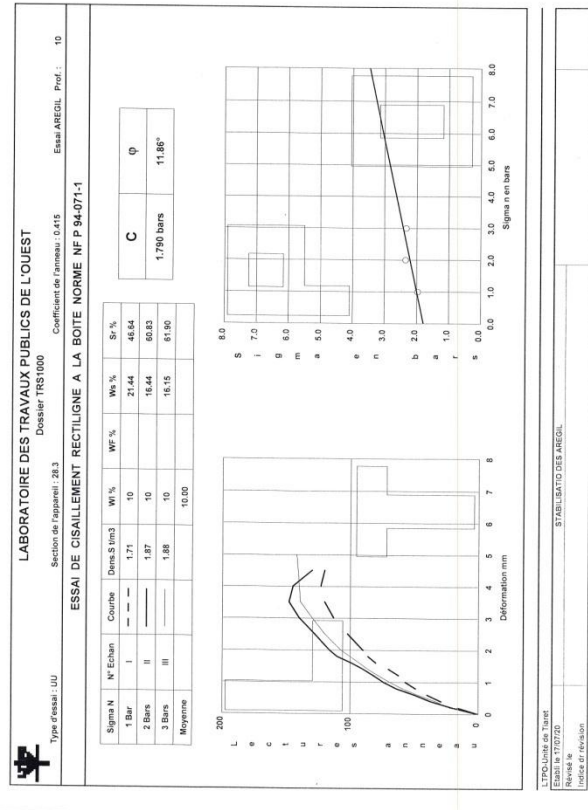
Nota: les valeurs calculées:

Echantillon	1	2	3	4
Teneur en eau (%)	<i>110,2</i>	<i>107,0</i>	<i>110,1</i>	
H (g/cm ³)	<i>1,89</i>	<i>1,98</i>	<i>1,89</i>	
D (g/cm ³)	<i>1,21</i>	<i>1,20</i>	<i>1,21</i>	
W _s (%)	<i>81,89</i>	<i>81,64</i>	<i>81,89</i>	
S _s (%)	<i>46,6</i>	<i>46,6</i>	<i>46,6</i>	
Contrainte normale (kpa)	<i>110</i>	<i>210</i>	<i>310</i>	
Déformation (mm)	<i>4,0</i>	<i>3,1</i>	<i>1,0</i>	
Section (cm ²)	<i>2,81</i>	<i>2,81</i>	<i>2,81</i>	
Force (Kgr)	<i>120</i>	<i>210</i>	<i>180</i>	
Contrainte de cisaillement (kpa)	<i>1,97</i>	<i>2,84</i>	<i>2,32</i>	

10% verre; # argile

Date: _____ L'Opérateur: _____ Le Chef de service: _____

Déformation (mm)	Lecture anneau (100 kpa)	Lecture anneau (200 kpa)	Lecture anneau (300 kpa)	Lecture anneau (400 kpa)
0.2	16	20	22	
0.4	28	32	33	
0.6	40	40	42	
0.8	48	48	48	
1.0	52	54	54	
1.2	62	62	62	
1.4	70	70	70	
1.6	80	80	82	
1.8	86	86	86	
2.0	90	90	90	
2.5	102	102	102	
3.0	113	113	113	
3.5	120	119	119	
4.0	133	141	140	
4.5	140	130	140	
5.0	140	130	140	



✓ argil +30% verre :

L.T.P.O Unité de Tiaré

Feuille de Paillasse Essai de Cisaillement Norme NFP 94-71-1 Code interne M5.10.02

Réception de l'échantillon Demandeur Date de l'essai

N° classer C'ient

Projet

Acceptation : Oui Non 30%

Type d'essai : UU CU CD

Sp. Pluif Prof. Nature

Elat de l'échantillon Intact Remanié

Envrge : Température (c°) T 105 ≤ T ≤ 50 c°

Préparer les plaques drainantes :

Découper et tailler l'échantillon : 1 2 3 4

Saturer l'échantillon :

Préparer le contour exact et dresser la face inf et sup. soigneusement

Section carrée (60 x 60 mm) Section circulaire (φ = 60 mm)

100 x 100 mm Section circulaire (φ = 100 mm)

Mesurer la hauteur h (mm) 20 ≤ h ≤ L/2

Peser l'échantillon (gr)

N° Eprouvette	initial	final	initial	final	initial	final	initial	final
Poids du Moule (g)	164,0		164,0		100,0			
PH + Moule (g)	211,9		212,2		349,6			

Introduire l'éprouvette dans les deux demi-boîtes solidarisées :

Placer le piston muni de sa plaque sur le sommet de l'éprouvette :

Mettre l'éprouvette dans le châssis étanche fixé sur le bâti :

Fixer le système de mesure de l'effort de cisaillement horizontal (T) et noter la valeur d'origine du capteur de l'effort (T) :

21 Arrêter l'essai soit lorsque : $dh \geq 5 \text{ mm}$

22 $\Delta P \leq 1 / 100$ de l'effort max

23 Enlever des poids du plateau de charge :

24 Enlever la boîte du châssis de la machine :

25 Mesurer la teneur en eau :

N° de la tare	i	f	i	f	i	f	i	f
P - Tare g								
Pfin + la Tare g								
Psec + la Tare g								

Nettoyer les pierres poreuses et les boîtes de cisaillement :

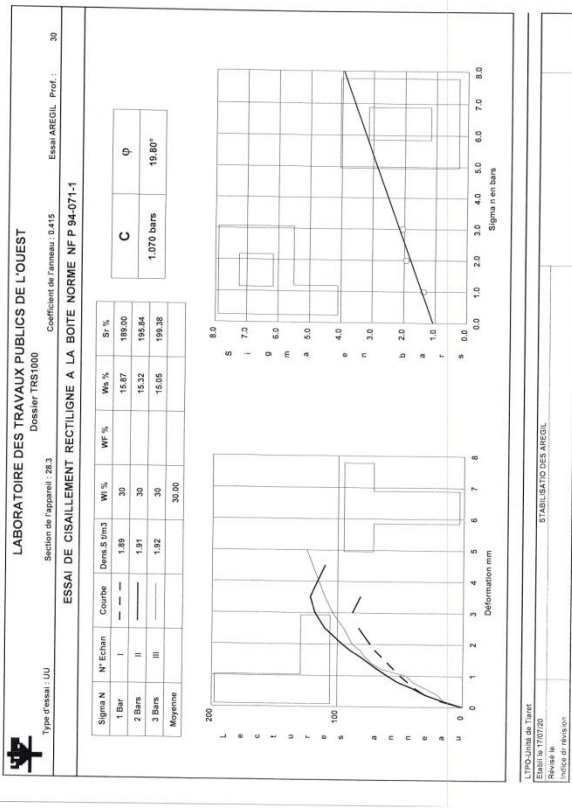
Noter les valeurs calculées :

Echantillon	1	2	3	4
Teneur en eau (%)	30	30	30	
H (g/cm ³)	1,99	1,98	1,98	
D (g/cm ³)	1,45	1,48	1,49	
W _s (%)	27,5	30,48	30,78	
S _s (%)	29,5	36,9	37,8	
Contrainte normale (kpa)	110	210	310	
Déformation (mm)	3,0	3,5	5,0	
Section (cm ²)	26,5	26,6	26,3	
Force (Kgf)	36,43	59,61	61,89	
Contrainte de cisaillement (kpa)	1,37	1,93	2,01	

30% verre + argile

Date L'Opérateur Le Chef de service

Déformation (mm)	Lecture anneau (100 kpa)	Lecture anneau (200 kpa)	Lecture anneau (300 kpa)	Lecture anneau (400 kpa)
0.2	18	16	15	
0.4	30	30	20	
0.6	38	40	30	
0.8	46	52	40	
1.0	50	60	45	
1.2	55	68	65	
1.4	60	75	73	
1.6	65	82	78	
1.8	70	90	82	
2.0	74	96	88	
2.5	83	110	95	
3.0	88	118	104	
3.5	92	122	110	
4.0	95	146	115	
4.5	98	110	110	
5.0			125	



10% verre+01% la chaux :

L.T.P.O Unité de Taret

Feuille de Paillasse Essai de Cisaillement Norme NFP 94-71-1 Code Interne M5.10.03

Réception de l'échantillon Demander Date de l'essai 15/09/10

N° essai Client

Projet

Accrochage Oui Non 10%

Type d'essai UU CU CD

Sp. Pluis Prof Nature 10% Vitré - 01% Chaux

Etat de l'échantillon Intact Remanié

Environnement Température (°C) T 105 ≤ T ≤ 60 °C

Préparer les plaques drainantes

Couper et tailler l'échantillon

Saler l'échantillon

Traiter le contour exact et dresser la face inf et sup soigneusement

Section carrée (60 x 60 mm) Section circulaire (φ = 60 mm)

(100 x 100 mm) Section circulaire (φ = 100 mm)

Mesurer la hauteur h (mm) 20 ≤ h ≤ L / 2

Peser l'échantillon (gr)

N° Eprouvette	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final
1	104,0	104,0	104,0	104,0				
Poids du Moule (g)								
PH + Moute (g)	601,6	601,0	604,0	604,0				

Introduire l'éprouvette dans les deux demi-boîtes solidarisées

Placer le piston muni de sa plaque sur le sommet de l'éprouvette

Mettre l'éprouvette dans le châssis étanche fixé sur le bâti

Fixer le système de mesure de l'effort de cisaillement horizontal (T) et noter la valeur d'origine du capteur de l'effort (T)

Arrêter l'essai soit lorsque : Sh ≥ 5 mm

* ΔP ≤ 1 / 100 de l'effort max

Enlever des poids du plateau de charge

Enlever la boîte du châssis de la machine

Mesurer la teneur en eau

N° de la tare	i	f	i	f	i	f	i	f
P - Tare								
P - la Fare								
P - sec + la Tare								

Nettoyer les pierres poreuses et les boîtes de cisaillement

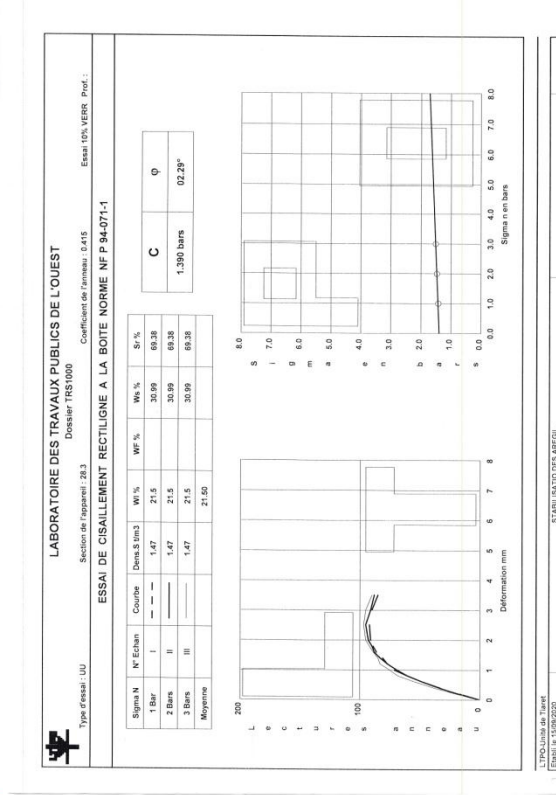
Noter les valeurs calculées :

Echantillon	1	2	3	4
Teneur en eau (%)	21,5	21,5	21,5	
H (g/cm ³)	1,29	1,29	1,29	
D (g/cm ³)	1,48	1,48	1,48	
W _s (%)	10,99	10,99	10,99	
S _s (%)	69,01	69,01	69,01	
Contrainte normale (kpa)	1,0	2,0	3,0	
Déformation (mm)	2,5	2,5	2,5	
Section (cm ²)	26,9	26,9	26,9	
Force (Kgf)	39,18	79,47	90,04	
Contrainte de cisaillement (kpa)	1,42	1,48	1,10	

10% vitré, 1% la chaux

Date L'Opérateur Le Chef de service

Déformation (mm)	Lecture anneau (100 kpa)	Lecture anneau (200 kpa)	Lecture anneau (300 kpa)	Lecture anneau (400 kpa)
0,2	17	18	20	
0,4	23	24	29	
0,6	48	48	44	
0,8	60	60	67	
1,0	71	69	75	
1,2	77	72	83	
1,4	91	83	88	
1,6	86	88	88	
1,8	89	90	99	
2,0	91	93	97	
2,5	92	95	98	
3,0	90	91	95	
3,5	88	88	90	
4,0				
4,5				
5,0				
5,5				
6,0				
6,5				
7,0				
7,5				
8,0				
8,5				
9,0				
9,5				
10,0				
10,5				
11,0				
11,5				
12,0				
12,5				
13,0				
13,5				
14,0				
14,5				



✓ 20% verre+01% la chaux :

6

L.T.P.O Unité de Tialet

Feuille de Paillasse Essai de Cisaillement Norme NFP 094-71-1 Code Interne MS_10.02

Reception de l'échantillon : [] Demandeur : [] Date de l'essai : []

N° dossier : [] Client : []

Projet : []

Acceptation : Oui [] Non [] *20%*

Type d'essai : UU [] CU [] CD []

Sg [] Bu [] Prof [] Nature : *20% Verre - 01% chaux*

Etat de l'échantillon : Intact [] Remanée []

Enlèvement : Température (°C) : T [] $105 \leq T \leq 50$

Préparer les plaques drainantes : []

Découper et tailler l'échantillon : 1 [] 2 [] 3 [] 4 []

Sauver l'échantillon : []

Tracer le contour exact et dresser la face inf et sup. soigneusement

Section carrée (60 x 60 mm) [] Section circulaire ($\phi = 60$ mm) []

Section circulaire ($\phi = 100$ mm) []

Mesurer la hauteur h (mm) : [] $20 \leq h \leq 172$

Peser l'échantillon (gr)

N° Eprouvette	initial	final	initial	final	initial	final	initial	final
Poids du Moule (g)								
Pil + Moule (g)	101,0	104,0	104,0	104,0				
Pil + Moule (g)	105,0	108,6	108,6	108,6				

Introduire l'éprouvette dans les deux demi-boîtes solidarisées : []

Placer le piston muni de sa plaque sur le sommet de l'éprouvette : []

Mettre l'éprouvette dans le châssis étréanche fixé sur le bâti : []

Fixer le système de mesure de l'effort de cisaillement horizontal (T) et noter la valeur d'origine du capteur de l'effort (T) : []

1/5

Arrêter l'essai soit lorsque : $h \geq 5$ mm []

$\Delta P \leq 1/100$ de l'effort max []

Enlever des poids du plateau de charge : []

Enlever la boîte du chariot de la machine : []

Mesurer la teneur en eau : []

N° de la tare	i	f	i	f	i	f	i	f
P - Tare								
Pil + Tare								
P sec + la Tare								

Nettoyer les pierres poreuses et les boîtes de cisaillement : []

Noter les valeurs calculées :

Echantillon	1	2	3	4
Teneur en eau (%)	19,93	19,93	19,93	
H (g/cm ³)	1,29	1,30	1,29	
D (g/cm ³)	1,40	1,40	1,40	
W _s (%)	20,18	20,18	20,18	
S _s (%)	66,06	66,06	66,06	
Contrainte normale (kpa)	1,0	2,0	3,0	
Déformation (mm)	1,0	2,0	3,0	
Section (cm ²)	29,7	29,7	29,7	
Force (Kgf)	22,93	22,93	22,93	
Contrainte de cisaillement (kpa)	0,92	1,94	1,90	

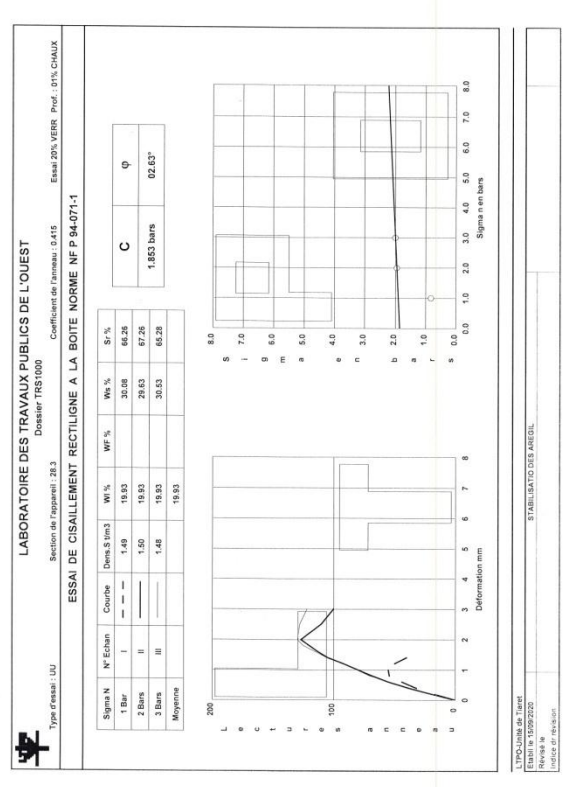
20% verre, 1% chaux

Date : [] L'Opérateur : [] Le Chef de service : []

5/5

Déformation (mm)	Lecture anneau (100 kpa)	Lecture anneau (200 kpa)	Lecture anneau (300 kpa)	Lecture anneau (400 kpa)
0.2	18	19	20	
0.4	30	34	39	
0.6	44	55	64	
0.8	61	78	90	
1.0	85	100	115	
1.2	110	130	150	
1.4	140	165	190	
1.6		195	220	
1.8		225	250	
2.0		260	285	
2.2		300	330	
2.4		340	365	
2.6		380	400	
2.8		420	435	
3.0		460	470	
3.2		500	505	
3.4		540	540	
3.6		580	575	
3.8		620	610	
4.0		660	645	
4.2		700	680	
4.4		740	715	
4.6		780	750	
4.8		820	785	
5.0		860	820	
5.2		900	855	
5.4		940	890	
5.6		980	925	
5.8		1020	960	
6.0		1060	995	
6.2		1100	1030	
6.4		1140	1065	
6.6		1180	1100	
6.8		1220	1135	
7.0		1260	1170	
7.2		1300	1205	
7.4		1340	1240	
7.6		1380	1275	
7.8		1420	1310	
8.0		1460	1345	
8.2		1500	1380	
8.4		1540	1415	
8.6		1580	1450	
8.8		1620	1485	
9.0		1660	1520	
9.2		1700	1555	
9.4		1740	1590	
9.6		1780	1625	
9.8		1820	1660	
10.0		1860	1695	
10.2		1900	1730	
10.4		1940	1765	
10.6		1980	1800	
10.8		2020	1835	
11.0		2060	1870	
11.2		2100	1905	
11.4		2140	1940	
11.6		2180	1975	
11.8		2220	2010	
12.0		2260	2045	
12.2		2300	2080	
12.4		2340	2115	
12.6		2380	2150	
12.8		2420	2185	
13.0		2460	2220	
13.2		2500	2255	
13.4		2540	2290	
13.6		2580	2325	
13.8		2620	2360	
14.0		2660	2395	
14.2		2700	2430	
14.4		2740	2465	
14.6		2780	2500	
14.8		2820	2535	
15.0		2860	2570	
15.2		2900	2605	
15.4		2940	2640	
15.6		2980	2675	
15.8		3020	2710	
16.0		3060	2745	
16.2		3100	2780	
16.4		3140	2815	
16.6		3180	2850	
16.8		3220	2885	
17.0		3260	2920	

4/5



✓ 30% verre+01% la chaux :

L.T.P.O Unité de Tlaret

Fouille de Paillasse Essai de Cisaillement Norme NFP 84-071-1 Code Interne M5_10.22

Réception de l'échantillon: _____ Demandeur: _____ Date de l'essai: _____

N° dossier: _____ Client: _____

Projet: _____

Acceptation: Oui Non *30%*

Type d'essai: UU CU CD

Sol: _____ Prof: _____ Nature: *30% Verre - 01% chaux*

Etat de l'échantillon: Intact Remanié

Effort: Température (°C): T _____ $100 < T \leq 60^{\circ}C$

Préparer les plaques drainantes:

Découper et tailler l'échantillon: 1 2 3 4

Saturer l'échantillon:

Tracer le contour exact et dresser la face inf et sup: soigneusement

Section carrée (80 x 80 mm) Section circulaire ($\phi = 80$ mm)

(100 x 100 mm) Section circulaire ($\phi = 100$ mm)

Mesurer la hauteur h (mm): $20 \leq h \leq 42$

Peser l'échantillon (g)

N° Eprouvette	initial	final	initial	final	initial	final	initial	final
Poids du Moule (g)								
PH + Moule (g)	<i>101.6</i>	<i>101.6</i>	<i>101.6</i>	<i>101.6</i>	<i>101.6</i>	<i>101.6</i>	<i>101.6</i>	<i>101.6</i>

Introduire l'éprouvette dans les deux demi-boîtes solidarifiées:

Placer le piston muni de sa plaque sur le sommet de l'éprouvette:

Mettre l'éprouvette dans le châssis étanche fixé sur le bâti:

Forer le système de mesure de l'effort de cisaillement horizontal (T) et noter la valeur d'origine du capteur de l'effort (T):

Arrêter l'essai soit lorsque: $\delta h \geq 5$ mm

* AF $\leq 1 / 100$ de l'effort max

Enlever des poids du plateau de charge:

Enlever la boîte du chariot de la machine:

Mesurer la teneur en eau:

N° de la tare	l	f	l	f	l	f	l	f
P - Tare g								
P - la Tare g								
P - sec + la Tare g								

Nettoyer les pierres poreuses et les boîtes de cisaillement:

Noter les valeurs calculées:

Echantillon	1	2	3	4
Teneur en eau (%)	<i>19.86</i>	<i>19.89</i>	<i>19.89</i>	<i>19.89</i>
H (g/cm ³)	<i>1.85</i>	<i>1.83</i>	<i>1.84</i>	<i>1.84</i>
D (g/cm ³)	<i>1.55</i>	<i>1.53</i>	<i>1.54</i>	<i>1.54</i>
W _s (%)	<i>23.67</i>	<i>23.29</i>	<i>23.01</i>	<i>23.01</i>
S _a (%)	<i>10.22</i>	<i>69.86</i>	<i>10.14</i>	<i>10.14</i>
Contrainte normale (kpa)	<i>1.0</i>	<i>2.0</i>	<i>3.0</i>	
Déformation (mm)	<i>11.6</i>	<i>11.8</i>	<i>11.9</i>	
Section (cm ²)	<i>22.3</i>	<i>22.82</i>	<i>23.04</i>	
Force (Kgf)	<i>49.98</i>	<i>51.46</i>	<i>53.16</i>	
Contrainte de cisaillement (kpa)	<i>1.92</i>	<i>1.89</i>	<i>1.91</i>	

30% verre, 0.1% chaux

Date: _____ L'Opérateur: _____ Le Chef de service: _____

Déformation (mm)	Lecture anneau (100 kpa)	Lecture anneau (200 kpa)	Lecture anneau (300 kpa)	Lecture anneau (400 kpa)
0.2	<i>18</i>	<i>18</i>	<i>18</i>	
0.4	<i>36</i>	<i>36</i>	<i>37</i>	
0.6	<i>54</i>	<i>53</i>	<i>55</i>	
0.8	<i>72</i>	<i>73</i>	<i>75</i>	
1.0	<i>90</i>	<i>94</i>	<i>96</i>	
1.2	<i>96</i>	<i>98</i>	<i>101</i>	
1.4	<i>104</i>	<i>110</i>	<i>114</i>	
1.6	<i>120</i>	<i>123</i>	<i>126</i>	
1.8	<i>100</i>	<i>124</i>	<i>129</i>	
2.0		<i>120</i>	<i>123</i>	
2.5	<i>90</i>	<i>110</i>	<i>116</i>	
3.0				
3.5				
4.0				
4.5				
5.0				
5.5				
6.0				
6.5				
7.0				
7.5				
8.0				
8.5				
9.0				
9.5				
10.0				
10.5				
11.0				
11.5				
12.0				
12.5				
13.0				
13.5				
14.0				
14.5				
15.0				
15.5				
16.0				
16.5				
17.0				

