



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



FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES DÉP
ARTEMENT DE GÉNIE CIVIL

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

Spécialité : Génie Civil

Option : Structures

Présenté par : BERRAHOU Ferial

BENDJILALI Lamia

Sujet du mémoire

Amélioration des propriétés géotechniques des argiles par ajout de déchets plastiques

Soutenu publiquement, 18 Juillet 2023, devant le jury composé de :

M. SERBAHB.

Président

M. BEKKIH.

Rapporteur

M^{me} DRAOUIA.

Examineur

M^{elle} RENNAKZ.

Examineur

PROMOTION: **2022/2023**

Remerciements

La réalisation de ce travail n'aurait pas été possible sans la contribution de quelques personnes à qui nous souhaitons exprimer notre gratitude.

Nos premiers remerciements vont à notre encadreur, Monsieur BEKKI Hadj, enseignant à notre université qui nous a témoigné son soutien et sa confiance et qui nous a prodigué un enseignement toujours judicieux et rigoureux durant toutes les phases de notre mémoire, Qu'il trouve ici l'expression de notre sincère gratitude. Nous avons particulièrement apprécié la pertinence de ses conseils, de ses commentaires et ses encouragements pour mener à bien ce modeste travail.

Nous tenons à remercier Monsieur SERBAH Boumediene pour nous avoir fait l'honneur d'être Président de notre jury.

Nos remerciements vont également à M^{me} DRAOUI et à M^{elle} RENNAKZ qui ont accepté de juger ce travail avec un grand intérêt. Qu'ils trouvent ici l'expression de notre sincère gratitude

Nos remerciements aux enseignants du département et à leur tête le chef de département Monsieur RABAHI A.

Nos remerciements à tous les employés ainsi qu'aux laborantins du département de Génie Civil

Nos remerciements vont aussi au personnel du L.T.P.O de Tiaret et en particulier aux Messieurs BOURAS Djillali, HADJI Amine et SAFA Ahmed.



Dédicaces

*Je dédie ce mémoire à mes chers parents qui ont été toujours
À mes cotés et m'ont toujours soutenu tout au long de ces longues
Année d'études. En signe de reconnaissance, qu'ils trouvent ici,
L'expression de ma profonde gratitude pour tout ce qu'ils ont consenti
D'efforts et de moyens pour me voir réussir dans mes études.*

A toute ma famille

Et A toute mes amies,

A tous les gens qui me connaissent et que je connais en particulier

HACHEMI Djamel

Et à tous ceux qui aiment le bon travail et ne reculent pas

Devant les obstacles de la vie.

BERRAHOU Ferial



Dédicaces

Je l'ai fait pour le clin d'œil de ma mère et le labeur de la main

De mon père

*Merci à tous ceux qui m'ont soutenu tout au long de
Mon parcours universitaire. Je dédie ma remise de diplôme*

À ceux dont les temps sont bons à côté d'eux et tout

Prend un sens plus profond avec leur rire

Ma famille, mes frères et ami

je connais en particulier

BENDAHOUA Oussama

BENDJILALI Lamia

Résumé

Les déchets plastiques engendrent un grand problème d'ordre environnemental. En effet, la dégradation du plastique après son enfouissement dans le sol peut prendre plusieurs siècles. En plus, ces produits sont fabriqués à partir du pétrole, source non renouvelable et émetteur de gaz à effet de serre. On se propose, à travers ce Projet de fin d'Etudes d'investiguer l'effet de l'ajout des déchets plastiques de type PVC (Poly Vinyl Chloride) sur les propriétés géotechniques des argiles. Le travail consiste à caractériser une argile prise comme matériau de référence, ensuite la stabiliser avec un prétraitement avec la chaux ensuite renforcer sa structure avec des déchets plastiques et enfin déterminer les nouvelles propriétés géotechniques obtenues. Les essais utilisés dans cette étude sont, principalement, les essais de portance (Proctor et CBR) et les essais mécaniques (Oedométrique et de cisaillement à la boîte). Il a été trouvé que l'ajout des déchets de PVC à l'argile prétraitée à la chaux améliore la portance de l'argile en réalisant un compactage faible ou moyen.

Mots clés : Argile, traitement, chaux, stabilisation, déchets plastique, portance, propriétés géotechnique.

Abstract

Plastic waste is a major environmental problem. Indeed, the degradation of plastic after it is buried in the ground can take several centuries. In addition, these products are made from petroleum, a non-renewable source and emitter of greenhouse gases. This work is I aimed to investigate the effect of the addition of PVC (Poly Vinyl Chloride) on the geotechnical properties of clays. The work consists of characterizing clay taken as a reference material, then stabilizing it with a pretreatment with lime, then reinforcing its structure with plastic waste and finally determining the new geotechnical properties obtained. The tests performed in this study are, mainly, the bearing tests (Proctor and CBR) and the mechanical tests (Oedometric and Direct sheartest). It has been found that the addition of PVC waste to pretreated clay improves the itsbearing capacity by achieving low or medium compaction. i.e. without intense compaction

ملخص

النفايات البلاستيكية مشكلة بيئية كبيرة. في الواقع، قد يستغرق تحلل البلاستيك بعد دفنه في الأرض عدة قرون. بالإضافة إلى ذلك، فإن هذه المنتجات مصنوعة من البترول، وهو مصدر غير متجدد وباعث لغازات. نقترح، من خلال مشروع نهاية الدراسة هذا، دراسة تأثير إضافة نفايات بلاستيكية من نوع PVC (Poly Vinyl Chloride) على الخصائص الجيوتقنية للطين. يتكون العمل من توصيف الطين المأخوذ كمادة مرجعية، ثم تثبيته بمعالجة مسبقة بالجير، ثم تقوية هيكله بالنفايات البلاستيكية، وأخيراً تحديد الخصائص الجيوتقنية الجديدة التي تم الحصول عليها. الاختبارات المستخدمة في هذه الدراسة هي، بشكل أساسي، اختبارات التحمل (Proctor و CBR) والاختبارات الميكانيكية. لقد وجد أن إضافة نفايات PVC إلى الطين المعالج بالجير يحسن قدرة تحمل الطين من خلال تحقيق ضغط منخفض أو متوسط.

الكلمات المفتاحية: الطين، المعالجة، الجير، التثبيت، النفايات البلاستيكية، قدرة التحمل، الخصائص الجيوتقنية.

Sommaire

Résumé.....	1
Introduction générale.....	3
I.1 Introduction :.....	6
I.2 Le contexte général de la gestion des déchets.....	6
I.2.1.2 Les déchets non dangereux :.....	6
I.2.1.3 Les déchets inertes :.....	6
I.2.2 Les catégories et sous catégories :.....	6
I.3.Histoires des Déchets plastiques :.....	8
I.3.1Synthèse des polymères (polymérisation) :.....	8
I.3.1.1 Réaction d'addition :.....	8
I.3.1.2 Réactions de condensation :.....	10
I.3.2 Structure des polymères :.....	10
a/Polymères linéaires :.....	10
b/polymères ramifiés :.....	11
c/polymères réticulés :.....	11
d/polymères amorphes et polymères cristallisés :.....	11
I.3.3 Différents types de plastiques (polymères) :.....	12
a/Thermoplastiques :.....	12
b/Thermodurcissables :.....	14
c/Elastomères :.....	14
I.3.4. Propriétés mécanique des polymères :.....	15
I.3.5 Importance et domaine d'utilisation des plastiques :.....	15
I.3.5.1 Importance :.....	15
I.3.5.2 Domaine d'utilisation :.....	17
I.3.5.2.Consommation des plastiques en Algérie :.....	18
I.3.6 Déchets plastiques :.....	19
a/Déchets plastiques industriels :.....	19
b/Les déchets plastiques de post-consommation :.....	19
I.3.6.1.Portrait des différentes catégories de plastique à usage unique :.....	19
a/Le polyéthylène téréphtalate (PET) :.....	20
b/les polyéthylènes (PE) :.....	20
b.1/le polyéthylène basse densité(PEBD).....	20
b.2/Le polyéthylène Haute Densité(PEHD) :.....	21

d/Le polystyrène(PS) :	21
I.4 Recyclage du plastique :	21
I.4.2 Recyclage des en Algérie :	23
Conclusion :	24
II.1. Introduction :	26
II. 2. Les Argiles :	26
II.2.1 : Définition :	26
II.2.3. Texture des argiles :	28
II.2.4 Minéralogie des argiles :	30
II.2.4.1 Minéraux argileux :	30
II.2.5 Gonflement des argiles :	31
II.2.5.1Le gonflement :	31
II.2.5.2 Mécanismes de gonflement des argiles :	31
II.2.5.3 Evolution de la texture au cours du gonflement :	33
II.2.5.4 Identification des argiles gonflantes	34
II.2.5.5 Définition des paramètres de gonflement.....	34
a) la pression de gonflement (σ_G) :	35
b) Le potentiel de gonflement (EG)	35
c) L'indice de gonflement (Cg) :	35
II.2.5.6Retrait des sols gonflants	35
a) La première phase :	35
b) La deuxième phase (transitionnelle).....	35
c)La dernière phase :	35
II.3 Techniques de stabilisation des argiles	36
III.4.Stabilisation chimique (par additifs) :	36
II.5. Origine de la chaux :	36
II.5.1Ajout de chaux pour la stabilisation :	36
II.5.2Utilisation de la chaux	36
II.5.3 Action de la chaux sur les argiles :	37
II.5.4Traitement des sols à la chaux :	38
II.6. Conclusion :	38
III .1.Introduction :	40
III.2.Localisation du gisement d'argile :	40
III.3.Essais d'identifications :	41
III.3.1.Analyse granulométrique tamisage (NF P 94-056) :	41
III.3.2.Analyse granulométrique Sédimentométrie (NF P94-057) :	42
III.3.3.Limite d'Atterberg (NF P 94-051) :	43

III.3.4 Essai d'évaluation de carbonates (NA-2789) CaCO ₃ :	46
III.3.5 Essai bleu de méthylène (NFP 94-068) :	47
III.4 Essais de portance:	48
III.4.1 Essais Proctor normal (NF P 94-093) :	48
III.4.2.2 Indice CBR Imbibé (NF P 94-078) :	54
III.5 Essais mécanique	58
III.5.1 Essai de cisaillement rectiligne à la boîte de Casagrande (NF P 94-071-1994):.....	58
III.5.2 Essai œdométrique (XP P94 090-1) :	60
III.6 Conclusion:	62
IV.1 Introduction :	64
IV.2 Essais Proctor :	64
IV.3 Essais CBR:	65
IV.4 Essais de cisaillement à la boîte:.....	67
IV.5 Essais Œdométrique:.....	68
IV.5 Conclusion :	69
Conclusions Générales	70
Références bibliographiques	73
Annexe	75

Liste des Tableaux

Tableau I.1 : Catégories et sous catégories des déchets (Karim, 2019)	7
Tableau I.2 Dates détaillées de l'histoire du plastique (Aubry, 2014)	9
Tableau I.3: Quelques propriétés des polymères	16
Tableau I.4 : les catégories du polyéthylène	20
Tableau I.5 : type et quantité de sacs consommés annuellement par les ménages.	20
Tableau I.4 : Symboles et caractéristiques des différents types de plastiques recyclables (Gervais, 2010 ; CSEMP, 2004 ; Society of plastique Engainées, 2008 ; HANNE QURTE, 2004)	22
Tableau II.1 : Caractéristiques des argiles (FERRAH, 2006).....	29
Tableau III.1 : Résultats de l'analyse granulométrique par tamisage de l'argile naturelle.	42
Tableau III.2 : Résultats de l'essai de limite de liquidité de l'argile naturelle.	44
Tableau III.3 : Résultats des limites de plasticité de l'argile naturelle.....	45
Tableau III.4 : Limite de liquidité à la coupelle de Casagrande	46
Tableau III.5 : Limite d'Atterberg pour l'argile naturelle.	46
Tableau III.6 : Taux de carbonates présents dans l'argile.	47
Tableau III.7 : Résultats de l'essai de VBS pour l'argile.	48
Tableau III.8: Résultat de l'essai Proctor normal pour l'argile.	50
Tableau III.9 : Résultats de mesures de pH pour les différents mélanges	51
Tableau III.10: Résultat de l'essai Proctor pour l'argile + 3% la chaux.	51
Tableau III.11: Résultat de l'essai Proctor pour l'argile + 3% la chaux +1% déchet plastique (1,00/1,60)mm	53
Tableau III.12 : Résultat de l'essai Proctor pour l'argile + 3% la chaux +1% déchet plastique (2,00/2,50)mm	53
Tableau III.13: Résultat de l'essai Proctor pour l'argile + 3% la chaux +1% déchet plastique (2,50/3,15)mm	53
Tableau III.14: Résultat de l'essai Proctor pour l'argile + 3% la chaux +1% déchet plastique (3,15/4,00)mm	54
Tableau III.15 : Résultat CBR Argile naturelle	56
Tableau III.16 : Résultat CBR Argile +3%la chaux	57
Tableau III.17 : Résultat CBR Argile +3%la chaux+1%déchet plastique (1,00/1,60)mm	57
Tableau III.19 : Résultat CBR Argile +3%la chaux+1%déchet plastique (2,50/3,15)mm	58
Tableau III.20 : Résultat CBR Argile +3%la chaux+1%déchet plastique (3,150/4,00)mm.....	58
Tableau III.21 : Résultats de l'essai de cisaillement Argile naturelle.....	59
Tableau III.22 : Résultats de l'essai de cisaillement Argile +3%la chaux	60

Tableau III.23 : Résultats de l'essai de cisaillement Argile +3%la chaux+1%déchet plastique (2,00/2,50).....	60
Tableau III.24 : Résultats de l'essai œdometrique Argile naturelle.....	61
Tableau III.25 : Résultats de l'essai œdometrique Argile +3%la chaux	62
Tableau IV.1. Classes de PVC.....	64
Tableau IV.1. Indices de gonflement et de compression pour les différents mélanges	68

Liste des figures

Figure I.1: Représentation schématique de polymères linéaires :.....	10
FigureI.2 : Représentation schématique de polymères ramifiés : (a) homopolymère ramifié ;(b) Copolymère ramifié) (Weiss, 2009).....	11
Figure I.3 : représentation schématique de polymères réticulés (Weiss, 2009).....	11
Figure I.4 : structure des polymères (A : amorphe partiellement cristallise et B : fortement réticulé par de nombreux ponts covalents inter chaines).....	12
Figure I.5: modes de fabrication des principaux thermoplastiques (BALOU, 2009).	13
Figure I.6 : Principaux polymères utilisés pour fabriquer des articles en plastique à usage unique (BELOUIZDAD, 2020).....	14
FigureI.7 : la production annuelle mondiale de plastique (S1).....	18
Figure II .1: Représentation de la structure minéralogique d'une particule d'argile, (HARRAT, 2007).....	27
Figure II.2: Couches tétraédriques et octaédriques (FERRAH, 2006).....	27
Figure II .3 : Présentation de la structure des argiles.	28
FigureII.4: Ouverture des fissures en proximité des matériaux rigides selon Montes et al. (wakimj, 2005).	28
FigureII.5: Photographies au Microscope Electronique à Balayage des argiles.....	29
FigureII.6 : structure des minéraux argileux	31
Figure II.7: Schéma présentant les différentes origines du gonflement (Gens et Alonso,1992).	32
FigureII.8: Mécanismes de gonflement des argiles par hydratation. (HARRAT, 2007).....	32
FigureII.9 : Mécanisme de gonflement (BRGM-M. Villey)	32
FigureII.9 : Mécanisme de retrait-gonflement des argiles (Calvet, 2003).....	33
FigureII.10: Observation au MEB d'une texture argileuse (TROALEN et al. 1984).....	33
FigureII.11:Evolution de texture dessoles au cours du gonflement.....	34
Figure 2.11: Les diverses phases du retrait (SCHUBERT, 1982).	36
Figure III.1 :Position du gisement (Google Earth)	40
Figure III.2 : le site de prélèvement.	40
Figure III.3: Echantillon de l'argile étudiée.	41
Figure III.4 : Appareillage d'analyse granulométrique (tamisage).....	42
Figure. III .5 :Essai granulométrique par Sédimentométrie (a) : Préparation d'échantillon, (b): Exécution de l'essai et prise de mesure.....	43
Figure III.6 : Coubes granulométrique de l'argile (tamisage par voie humide et Sédimentométrie)....	43
Figure III.7: Appareillage de limites d'ATTERBERG.	44
Figure III.8 : Limite de liquidité à la coupelle de Casagrande	45

Figure III.9 :Classification IP selon l'abaque de Casagrande.....	46
Figure III.10:Appareil de l'Essai d'évaluation de carbonates.....	47
Figure III.11 : Exécution de l'essai de Bleu de méthylène : (a) ajout de la solution de BM à l'échantillon ; (b) test de tâche.....	48
Figure III.12 : Valeurs de bleu de quelques sols.....	48
Figure III.13 : Mode opératoire de l'essai Proctor normal : (a) réglage de la dame automatique de compactage ; (b) pesée de l'échantillon ; (c) compactage automatique ; (d) pesée du moule rempli après compactage.....	49
Figure III.14 : Courbe Proctor pour l'argile naturelle.....	50
Figure III.15 : Echantillon d'essai pH.....	51
Figure III.16 : PVC avant et après broyage.....	52
Figure III.17 : essai Proctor d'un mélange.....	52
Figure III.18 : Appareil de compactage automatique pour essai CBR.....	54
Figure III.19: Pesée d'une partie de l'échantillon pour la préparation d'une couche argile pour essai CBR.....	55
Figure III.20 : Mesure le gonflement.....	55
Figure III.22: Conservation des éprouvettes pour imbibition.....	55
Figure III.21: Essai de Poinçonnement à la Presse CBR.....	56
Figure III.23: Appareil de cisaillement rectiligne.....	59
Figure III.24 : Dispositif de l'Essai œdométrique.....	61
Figure III.25: Echantillon de l'Essai œdométrique.....	61
Figure IV.1 : les résultats de l'essai Proctor réalisés sur les différents mélanges.....	65
Figure IV.2: Histogrammes représentant les indices CBR à 10 C/C.....	66
Figure IV.3 : Histogrammes représentant les indices CBR à 25 C/C.....	66
Figure IV.4 : Histogrammes représentant les indices CBR à 56 C/C.....	67
Figure IV.5 : Courbes intrinsèques des différents mélanges.....	68
Figure IV.5 : Courbes de compressibilité des différents mélanges.....	69

Introduction générale

Introduction générale

L'une des principales activités des ingénieurs géotechniciens est la stabilisation des sols. C'est un ensemble de procédures visant à augmenter la résistance du sol et/ou à réduire les déformations sous les structures existantes. En outre, le renforcement du solde fondations ou remblais consiste à améliorer sa capacité à supporter diverses charges (permanentes, d'exploitations, ou celles résultant de l'eau). De nombreuses méthodes sont utilisées en géotechnique pour renforcer les sols. Elles sont parfois basées sur des procédés purement chimiques (ajout de ciment, de chaux, de cendres volantes, de liquide, etc.), et d'autres fois sur des approches mécaniques (insertion d'armatures relativement dures).

Le choix entre ces méthodes dépend du type de sol à traiter, de la portée du projet, du type et de l'intensité de la charge appliquée, des ressources disponibles et, dans certains cas, de facteurs environnementaux. Traditionnellement, le premier type de méthode est typiquement considéré comme une stabilisation, tandis que le second est un renforcement.

Les principales méthodes de renforcement des sols consistent à utiliser des matériaux de renforcement linéaires fragiles et préalablement orientés (métal ou géo synthétique), ou des matériaux de renforcement fins et répartis de manière aléatoire (fibres). Dans la première technique, la résistance augmente autour de l'armature, ce qui favorise l'apparition de plans de cisaillement au niveau des inclusions et affecte par conséquent la stabilité locale et/ou globale de l'ouvrage, en particulier lorsqu'il y a plusieurs couches continues d'armature. Par contre, dans le second cas, les fibres sont réparties de manière aléatoire, ce qui réduit l'établissement de plans de faible résistance et peut augmenter la sécurité du sol renforcé.

Les chercheurs étudient de plus en plus les avantages du renforcement des sols par des fibres, tant d'un point de vue théorique que pratique. Dans la littérature, il a été noté que l'utilisation de fibres réparties de manière aléatoire, par opposition aux renforts linéaires présente un certain nombre d'avantages, dont l'un est que les fibres peuvent être facilement ajoutées et mélangées au sol d'une manière similaire à celle utilisée pour stabiliser le sol à l'aide de ciment, de chaux ou d'autres additifs. En outre, ce procédé de renforcement limite le développement de points faibles dans le composite et permet une augmentation isotrope de la résistance du matériau (sol sans fibres). Les fibres se distinguent d'abord par le matériau qui les compose ; par exemple, il existe des fibres en polypropylène, naturelles (végétales), en caoutchouc, en verre, etc. Ces fibres pourraient être utilisées pour stabiliser des sols à la fois cohésifs et pulvérulents.

Cette recherche vise à améliorer les caractéristiques géotechniques d'une argile extraite à partir d'un gîte situé dans la région de Guertoufa (Wilaya de Tiaret). L'aspect très plastique et le caractère fortement gonflé de cette substance la rendent bien connue.

Le but de cette étude est d'examiner la viabilité de la stabilisation de cette argile en utilisant un traitement chimique à la chaux avec des renforts en fibres plastiques (déchet de PVC). Les différents mélanges composés d'argile, de chaux et de fibres plastiques à différentes tailles et proportions feront l'objet d'essais de portance (Proctor et CBR) et d'essais

Introduction générale

mécaniques (Cisaillement à la boîte et essais œdométrique) afin de déterminer la composition du mélange donnant les meilleures propriétés géotechniques.

Le manuscrit est composé de quatre chapitres :

Le chapitre 01 est réservé à la présentation de recyclage des déchets, en particulier, les déchets plastiques qui feront l'objet de notre travail.

Le chapitre 02 est consacré aux argiles et leurs comportements.

Dans **le chapitre 03**, on présentera les différents essais réalisés dans le cadre de cette étude. Il s'agit des essais d'identification, de portance et mécaniques.

Le chapitre 04 sera consacré à la présentation et l'analyse des résultats trouvés.

On terminera notre mémoire par des conclusions générales auxquelles on est arrivé et des perspectives quant à la continuité de ce travail.

Chapitre I :
Les déchets plastiques

Chapitre I : Les déchets plastiques

I.1 Introduction :

Avec la croissance rapide de la population urbaine et l'évolution des modes de consommation, la gestion des déchets est devenue un enjeu majeur dans le monde. En conséquence, la production mondiale de déchets solides municipaux a doublé au cours de la dernière décennie, ce qui pose de nombreux défis à la protection de l'environnement et à la santé publique. Les opportunités de développement économique associées à la gestion des déchets restent significatives si les déchets sont utilisés comme ressource à travers des actions de réutilisation, de recyclage ou de recyclage.

I.2 Le contexte général de la gestion des déchets

I.2.1 Définition de déchet ;

La quantité perdue lors de l'utilisation du produit, la quantité restante après utilisation. Le terme tend à désigner tout objet ou substance qui a subi une modification physique ou chimique, ou qui ne sert plus à rien et est destiné à être éliminé ou recyclé. Les déchets peuvent être divisés en trois catégories :

I.2.1.1 Les déchets dangereux :

Possède une ou plusieurs propriétés dangereuses (oxydante, inflammable, explosive, corrosive, cancérigène, etc.)

I.2.1.2 Les déchets non dangereux :

Est un déchet qui n'a pas de caractéristiques associées à "dangereux". Il s'agit de déchets commerciaux "banals" et sont généralement classés comme déchets ménagers car ils ont la même composition et ont des méthodes de traitement ou des conditions d'élimination similaires. Exemples : matières plastiques (PVC, PE, polystyrène...), bois brut, métal, film plastique, palettes, cartons, emballages non souillés...

I.2.1.3 Les déchets inertes :

Ils sont inoffensifs et ne contiennent aucun ingrédient changeant. Ils "ne se décomposent pas, ne brûlent pas ou ne produisent aucune autre réaction physique ou chimique, ne biodégradent pas ou ne détériorent pas les autres matériaux avec lesquels ils entrent en contact, causant ainsi potentiellement une pollution de l'environnement ou mettant en danger la santé humaine". Dans ce manuscrit, seuls les déchets non dangereux, ainsi, lorsque le terme déchet est utilisé par la suite, il fait référence aux déchets non dangereux.

I.2.2 Les catégories et sous catégories :

Identifiées sont mentionnées dans le **tableau I.1** suivant :

Chapitre I : Les déchets plastiques

Tableau I.1 : Catégories et sous catégories des déchets (Karim, 2019)

Categories	Sous-catégorie
Organique	Compo stable
	Non compo stable
	Pain
	Bois
Papier et carton	Carton
	Papiercouché
	Autrepapier +carton
Plastique	PET
	PEHD
	Sacs plastique
	PVC
	PS
	PP
	PEHD film
Verre	Transparent
	Coloré
	Verre plat
Métaux	Emballage en fer
	Emballage en aluminium
	Autresferreux
	Autresaluminium
	Films d'aluminium
	Autremétaux
Complexes composite s/ /Emballages	
Textiles	
Chaussures	
Dangereux	DEEE
	Déchetsmédicaux
	Piles
	Chimiques
Inertes	
Couches jetables	
Autres (cartables +parapluies,...)	

I.3.Histoires des Déchets plastiques :

Les plastiques sont des matériaux synthétiques composés de polymères qui sont facilement moulés ou façonnés lorsqu'ils sont chauffés et peuvent être flexible ou rigide. Les polymères sont composés de composés appelés unités distinctes, ils sont liés par des liaisons covalentes (Weiss, 2009). Une majorité du plastique utilisé dans le monde (99 %) est fabriqué à partir de pétrole et de gaz (Doublie, 2008). L'histoire des plastiques commence en 1869 (Aubry, 2014). Ce qui suit un concours pour trouver un matériau pour remplacer l'ivoire naturel Billards, les frères John Wesley HYATT (USA) (1837-1920), développé celluloïd (ou nitrate Cellulose) Produits d'origine végétale (bois, coton). En effet, à la fin du XIXe siècle, existant à l'échelle artisanale plutôt qu'industrielle, certaines matières plastiques. Les plus importants basés sur des matériaux naturels sont le celluloïd et le Galalith. En 1909, le chimiste belge Baekeland découvre la résine de formaldéhyde. Son développement sous le nom de BAKELITE depuis 1920 marque véritablement l'ère du plastique (Aubry, 2014). De 1920 assiste au développement de ces résines de condensation phénol/formaldéhyde. En raison de leurs propriétés isolantes, ils ont contribué au développement de l'électricité. De 1940 à 1950, la première utilisation à grande échelle des matériaux thermoplastiques est née industriellement. Il s'agit de chlorure de polyvinyle plastifié (PVC), utilisé pendant la guerre, remplacement du caoutchouc qui ne peut pas être importé. En 1950, la pétrochimie a ensuite permis la naissance d'une multitude de matériaux thermoplastiques, dérivés de Carbures d'oléfinés issus du craquage de produits pétroliers : benzène, Propylène, phénol. Le tableau I.2 résume l'histoire du développement du plastique.

I.3.1 Synthèse des polymères (polymérisation) :

Il existe deux types de réactions pour produire des polymères (WEGHE, 2011) :

- ❖ Réaction d'addition (mécanisme en chaîne)
- ❖ Réaction de condensation (mécanisme étagé)

I.3.1.1 Réaction d'addition :

Les polymères d'addition résultent de réaction en chaîne initiées par des centres actifs générés au milieu. Création d'un site actif à la fin faire pousser du polymère. Une fois cette entité réactive (ou site actif) formée place, il n'y a plus d'obstacle pour créer un grand nombre de liens continus.

Trois sites actifs:

- Un électron = Polymérisation radicalaire libre
- Charge positive = Polymérisation cationique
- Charge négative = Polymérisation anionique

Chapitre I : Les déchets plastiques

Tableau I.2 : Dates détaillées de l'histoire du plastique(Aubry, 2014).

Invention	Date	Historique
Caoutchouc	1736	Caoutchouc naturel découvert par le français Charles Marie en mission au Pérou
Nitrate de cellulose	1833	Première application industrielle de poudre de coton par l'allemand Schönbein
Vulcanization	1839	Stabilisation des propriétés du caoutchouc le rendant utilisable par l'américain Goodyear
Caoutchoucs artificiels	1860	Isolation de l'isoprène par l'anglais C. Williams
Acetate de cellulose	1869	Les frères HYATT fabriquent des boules de billard en mélangeant à chaud un plastifiant le camphre et une substance végétale la nitrocellulose
Bakelite	1909	Première matière plastique synthétisée par le Belge Baekeland installé aux Etats Unis
PVC	1913	Polymérisation du chlorure de vinyle par l'allemand Klatt.
Polymers	1922	Mise en évidence de la structure particulière des polymères par l'allemand H. Staudinger
Plexiglas	1924	Barker et Skinner obtiennent un verre organique le poly méthacrylate de méthyle connu sous le nom de plexiglas
Polystyrene	1933	Mise au point par l'allemand Wu ff
Polyamide (nylon, Kevlar)	1935	Mise au point chez Du Pont de Nemours(USA) les premières fibres polyamides par W. Carothers
polyurethanes	1937	Inventés par Otto bayer
Téflon	1938	Le TETRAFLUORETHYLENE (téflon)est découvert par R.J. Punkette ingénieur chez du pont de Nemours
polyesters	1938	Première polyesters thermodurcissable par Ellis
polyéthylène's	1939	Première gammes de polyéthylènes basse densité (PEBD) obtenues par Fawcett et GOBSON suivit du polyéthylène Haute Densité (PEHD) par l'allemand Karl Ziegler en 1953
Polypropylene	1954	Polymérisation du propylène par l'italien Natta
PEBA	1981	Nouvelle famille de matières synthétiques créée par Gérard Deleens, intermédiaire entre les élastomères (caoutchouc).

Il existe également un quatrième mode,spécifiquement pour démarrer les agrégats, qui est polymérisation de coordination.

L'agrégation en chaine comporte 3 étapes (généralement) :

- **Initiation** =étape de création d'un nombre limité d'espèces positif,
- **Propagation** = réactions successives de molécules monomères à une extrémité l'activité ou l'activation conduit à l'allongement macromoléculaires,
- **Résiliation** = inactivation ou fin des espèces actives croissance de la chaine,

I.3.1 .2 Réactions de condensation :

Lors de la polycondensation, les monomères sont simultanément éliminés avec Atome ou groupe d'atomes. Les polyamides, les polyester et certains polyuréthanes sont des exemples typiques Polymères obtenus par polycondensation. Dans ce cas, la réaction qui démarre la polymérisation, dite réaction d'amorçage, est de type ionique.

Par un choix judicieux des groupements ioniques initiateurs, il est possible dans certains cas d'obtenir les réactions stéréospécifiques, c'est-à-dire que l'arrangement des monomères dans le polymère n'est pas aléatoire, mais dans l'autre sens. C'est le seul moyen d'obtenir du semi-polymère les cristaux aux propriétés mécaniques particulières, par exemple, donnent naissance à applications dans le domaine des élastomères synthétiques. Pendant la polymérisation de plus, tous les atomes des monomères se retrouvent dans le polymère, la polycondensation conduit à des réactions chimiques qui produisent des formations sous-produit. Les réactions de polycondensation sont des réactions par étapes. Les deux le monomère présent produit une molécule intermédiaire qui constitue l'élément répétitif de base dans les macromolécules.

I.3.2 Structure des polymères :

Les polymères peuvent avoir des structures extrêmement variées. Ils peuvent linéaire, ramifié ou réticulé (LECOMTE-BECKERS J, 2009a). Dans la plupart des cas, ils sont amorphes, ils peuvent parfois être partiellement.

a/Polymères linéaires :

Ces polymères sont constitués de grandes chaînes de monomères liés entre eux par une liaison covalente. Ces macromolécules sont maintenues ensemble par des liaisons secondaires assurer la stabilité du polymère. Ces liens secondaires sont des liens ou des ponts liaisons hydrogène ou liaisons de van der Waal. Lorsque ces liaisons sont présentes, le matériau est rigide et présente un comportement solide. La figure I.1 Donne différents exemples polymère linéaire.

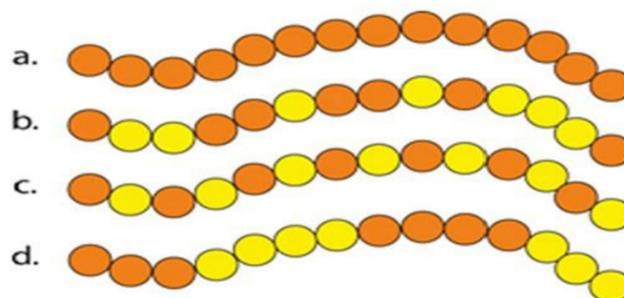


Figure I.1: Représentation schématique de polymères linéaires :
(a) Homopolymère ; (b) Copolymère statistique ; (c) Copolymère alterné ; (d) Copolymère séquencé (Weiss, 2009).

Chapitre I : Les déchets plastiques

b/polymères ramifiés :

Des chaînes homopolymères ou copolymères peuvent être greffées sur d'autres chaînes processus de polymérisation. Au-dessus de la température de transition vitreuse, ces matériaux présentent un comportement visqueux plus prononcé que les polymères linéaires. La figure I.2. montrées différent types de polymères ramifiés.

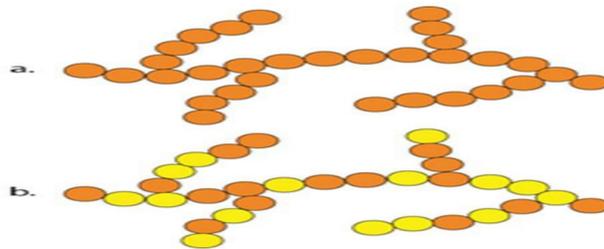


Figure I.2 : Représentation schématique de polymères ramifiés : (a) homopolymère ramifié ;(b) Copolymère ramifié) (Weiss, 2009)

c/polymères réticulés :

La réticulation correspond à la formation de différentes liaisons chimiques orientation spatiale pendant la polymérisation, la polycondensation ou la réaction polyaddition et conduit à la formation d'un réseau (figure).

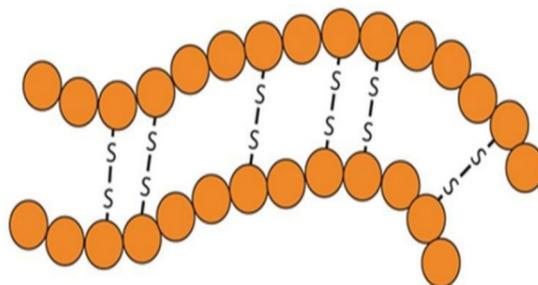


Figure I.3 : représentation schématique de polymères réticulés (Weiss, 2009).

d/polymères amorphes et polymères cristallisés :

Polymères amorphes et cristallins selon la structure physique des polymères, ils peuvent être divisés en trois états (SEYNI, 2008, CHARMET, 2015) :

- ❖ **L'état amorphe**, arrangement désordonné des molécules défaut. l'absence de cet ordre entraîne l'absence de points de fusion, la présence de la température de transition vitreuse, qui marque la transition de l'état vitreux (ou matériau se comporte comme du verre, c'est-à-dire dur et cassant) à un état caoutchouteux (ou la chaîne peut glisser plus facilement), et transparence à la lumière visible, comme le polystyrène « cristal » ou le poly (chlorure de vinyle) «cristallin» est entièrement amorphe.

Chapitre I : Les déchets plastiques

- ❖ **L'état cristallin**, caractérisé par un arrangement organisé des molécules. Les chaînes s'organisent de façon ordonnée et compacte. Le polymère est décrit par son réseau et son motif. Les principales caractéristiques de l'état cristallin sont une compacité supérieure à celle de la phase amorphe, l'existence d'un point de fusion et l'absence de transition vitreuse, une rigidité supérieure à celle de la phase amorphe.
- ❖ **L'état semi cristallin**, composé de phases cristallines et amorphes polymère. Leurs microstructures sont souvent complexes et, par conséquent, décrivent il en va de même pour leurs attributs. leurs propriétés mécaniques sont généralement élevées. Cestriosétatssontreprésentéssur la figure I.4.

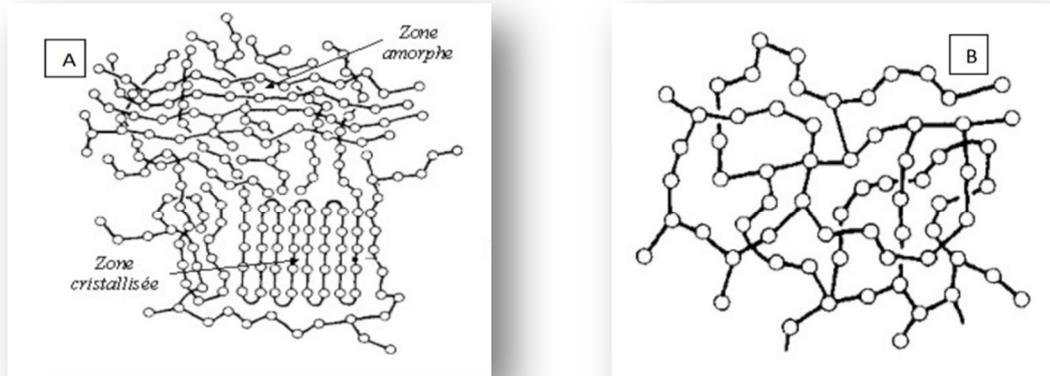


Figure I.4 : structure des polymères (A : amorphe partiellement cristallisé et B : fortement réticulé par de nombreux ponts covalents inter chaînes).

I.3.3 Différents types de plastiques (polymères) :

Les polymères sont principalement divisés en trois catégories :

- Les thermoplastiques.
- Les thermodurcissables.
- Les élastomères.

a/Thermoplastiques :

Les polymères ou résines thermoplastiques sont des composés dérivés d'éléments ingrédients organiques naturels qui fondent lorsqu'ils sont chauffés. Tout cela sont des matériaux « traitables par fusion », ce qui signifie qu'ils peuvent être donnés des formes utilisables lorsqu'elles sont en phase liquide (fondue) ou visqueuse. La plupart d'entre eux lors de la fabrication, les thermoplastiques sont chauffés puis moulés en formes injection, extrusion ou thermoformage, laissant le produit fini jusqu'à refroidissement sa forme.

Selon l'agrégation, différents produits sont obtenus, qui sont :

- Les PVC (chlorure de polyvinyle)
- Les polyéthylènes
- Les polystyrènes et
- Les polypropylènes

Chapitre I : Les déchets plastiques

La figure I.5 résume les méthodes de fabrication des principaux thermoplastique.

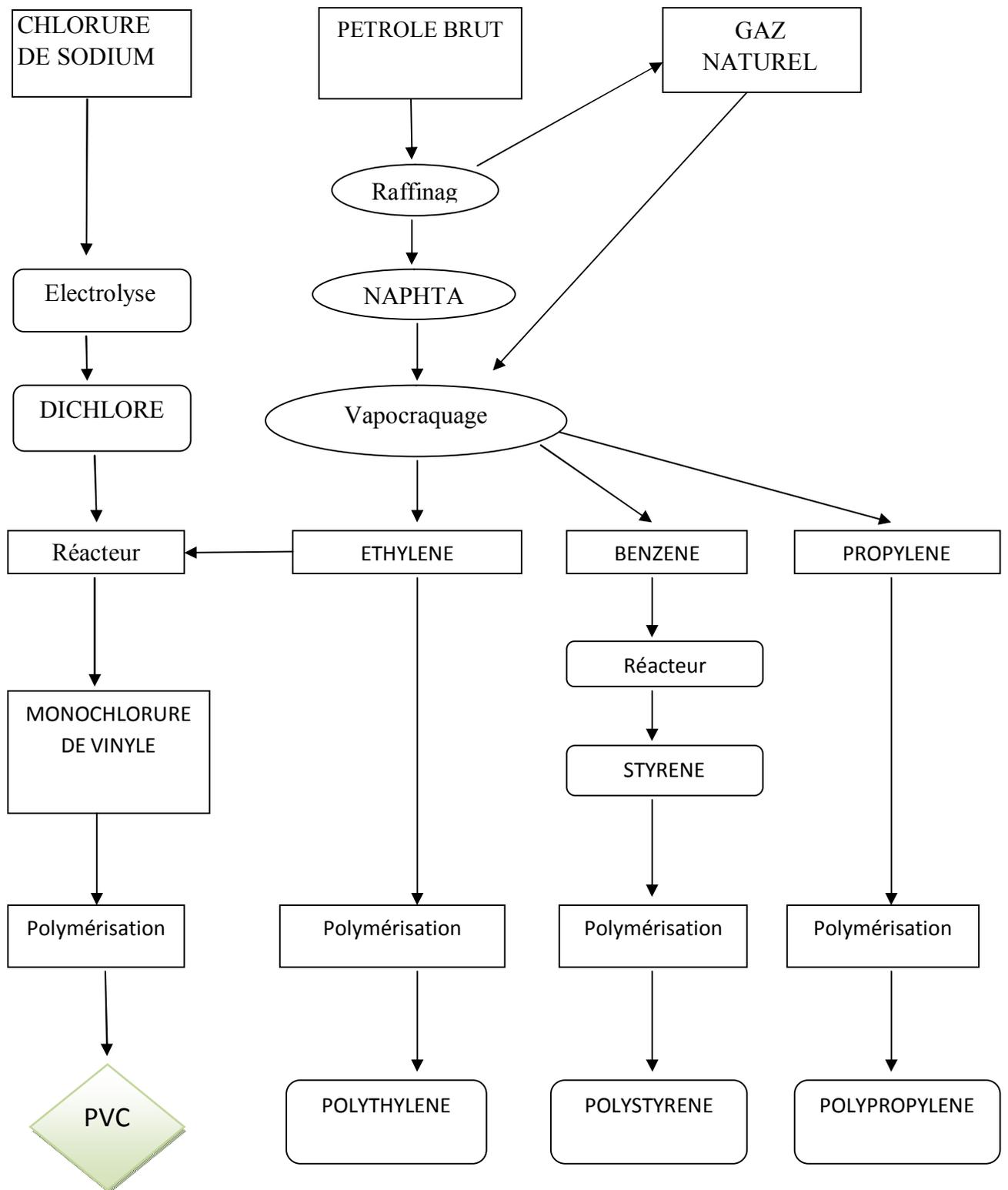


Figure I.5: modes de fabrication des principaux thermoplastiques (BALOU, 2009).

Chapitre I : Les déchets plastiques

b/Thermodurcissables :

Un thermodurcissable est un polymère qui durcit sous l'action de la chaleur. Les molécules (monomères) qui le composent se lient, ce qui le rend plus rigide en formant un réseau tridimensionnel. Les matériaux thermodurcissables ne doivent être utilisés qu'une seule fois. Donc non recyclable. La mise en œuvre des thermodurcissables signifie la réalisation du réseau 3D dans le moule. C'est-dire qu'une substance liquide ou visqueuse devient absolument solide : il s'agit d'une construction en maille. Lorsqu'une substance est un solide, on dit qu'elle est Engrenée.

Il existe 3 méthodes de conversion :

- Injection : similaire au montage vis/piston utilisé pour l'injection des thermoplastiques permettent aux matériaux de préchauffer et de plastifier thermodurcissable, puis injecté dans un moule chaud, ou la réticulation.
- Compression : mise en place du matériau dans un moule chauffé. Ce dernier ferme matière.
- Compression de transfert : placez le matériau dans le cylindre chauffé et le piston le matériau dans la cavité.

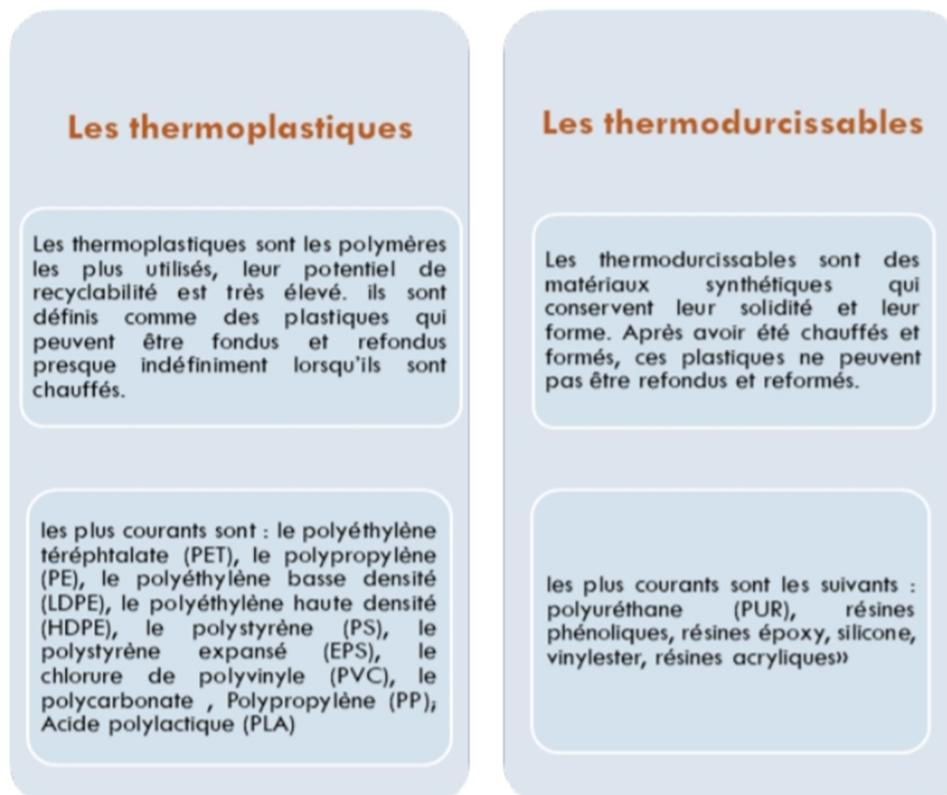


Figure I.6 : Principaux polymères utilisés pour fabriquer des articles en plastique à usage unique (BELOUIZDAD, 2020)

c/Elastomères :

Ces polymères ont la même élasticité que le caoutchouc. Elastomère a une grande déformabilité (6 à 8 fois sa longueur d'origine), et obtenu à partir de polymères linéaires caractérisés par des liaisons extrêmement faibles. Par conséquent, ces polymères sont des liquides très visqueux. Utilisé comme caoutchouc, des ponts (nœuds de liaison croisée)

Chapitre I : Les déchets plastiques

doivent être introduits entre les chaînes, cela donne au matériau une structure tridimensionnelle, ce qui assure la réversibilité de la déformation mécanique. L'introduction de nœuds de réticulation par des réactions chimiques une fois le matériau formé, on parle de vulcanisation.

I.3.4. Propriétés mécaniques des polymères :

La résistance mécanique varie selon la composition chimique. En général les polymères sont généralement plus résistants et plus légers que les pièces métalliques, garantissant même fonction. Résistance et dureté à la traction et à la compression dépend principalement de la nature et de la cohésion entre les chaînes polymères. La résistance aux chocs n'est pas seulement liée à la cohésion intermoléculaire, mais aussi à la dissipation d'énergie dans les matériaux : les plastiques souples sont plus fragiles que les plastiques durs. Par exemple, l'ajout de particules d'élastomère au polystyrène rend ce matériau très résistant aux chocs. Le tableau ci-après résume quelques résistances des plastiques couramment utilisés (Marc, 2016 ; Contexte, 2015 ; Lecomte-Becker, 2009a ; Viviers, 2006).

I.3.5.1 Importance :

Les plastiques ont beaucoup de qualités :

- ❖ **Les plastiques sont peu coûteux** ils sont fabriqués à partir de matières premières relativement abondantes et, jusqu'à récemment, bon marché : le pétrole.
- ❖ **Les plastiques ont des propriétés physico-chimiques variées** selon leur composition ils peuvent être élastiques ou rigides, durs ou malléables, résistances à la chaleur, aux chocs, produits corrosifs et dangereux tels que les acides.
- ❖ **Les plastiques peuvent être facilement modelés ou moulés** pour prendre forme souhaitées, même les plus complexes, par conséquent, le toit du stade de Pékin, le célèbre temple « Nid d'oiseau » des Jeux olympiques d'été de 2008 est en plastique renforcé.
- ❖ **Les plastiques sont légers**, les frais d'expédition sont donc inférieurs à ceux des matériaux en plastique métal ou bois. Grâce aux plastiques, la voiture moyenne pèse moins 200 kg (**Doublier, 2008**). Il en résulte une réduction significative de la consommation de carburant. De même divers emballages (alimentaires, contenants divers, divers produits de base, etc.) sont fortement réduits grâce à l'utilisation de plastique, tandis que les garder résistants : un gros plus pour économiser du carburant transport.

I.3.5 Importance et domaine d'utilisation des plastiques :

- ❖ **Les plastiques sont d'excellents isolants thermiques.**
- ❖ **Les plastiques sont relativement durables.** Ils ne sont pas sensibles à la corrosion et mauvais temps. Par conséquent, le tuyau en plastique peut facilement durer plus de 50 ans. La peinture automobile en polyuréthane est particulièrement résistante.
- ❖ **Les plastiques sont faciles à nettoyer.**
- ❖ **Les plastiques utilisés comme une barrière de protection.** Rétention de nourriture plus longtemps dans un étui en plastique. Le plastique est imperméable et aide ainsi

Chapitre I : Les déchets plastiques

limiter la contamination provenant de sources externes. Les sacs poubelles en plastique sont très hygiéniques. Les jouets en plastique sont plus sûrs pour les enfants.

- ❖ **Le plastique permet de stocker de grandes quantités de données** sur des supports de petite taille (CD, DVD, carte mémoire, etc.).
- ❖ **Le plastique est partiellement recyclable.**

Tableau I.3: Quelques propriétés des polymères

	polymères	Densité	T° fusion (°C)	Résistance compression (MPa)	Limite d'élasticité	Module de Young (GPa)	Allongement à la rupture (%)
Thermoplastiques	PEHD(polyéthylène haute densité)	0,94à 0,95	200	15 à 23	25	1	50
	PEBD(polyethylene basse densité)	0,90à 0,93	120à 170	7 à10	15	0,2	500
	PVC (polychlorure de vinyle)	1,4	125	20 à 50	40	2 à3	20 à70
	PET(polyéthylène téréphtalate)	1,34	200à 255	12 à 15	20	2,7 à 4,1	40
	P.S (polystyrène)	1,04	160	10 à 30	15	2,3 à 4,1	3
	P.P (polypropylène)	0,90	165	12 à35	15	1,3	20
	Thermo durcis sable	Polyester	1,7	260	40 à60	10 à20	2
Epoxyde		1,1	260	50 à80	10 à20	2	400 à500
Elastomères	Poly Isoprène (latex)	0,95	280	28	30 à60	1	100 à800
	Poly butadiène	0,97	280	50 à100	30 à60	1	100 à800

Chapitre I : Les déchets plastiques

I .3.5.2 Domaine d'utilisation :

Les plastiques sont utilisés dans de nombreux domaines:

- **Emballage** : Cette industrie est la plus grande consommatrice de plastiques. Ils sont utilisés pour entreposer, transporter, protéger et conserver des produits de toutes sortes, notamment des produits nourriture.
- **Bâtiments et construction** : le plastique est souvent présent, mais essentiel. Ils sont utilisés pour leurs propriétés importantes :
 - Durabilité et résistance à la corrosion (huisseries, canalisations),
 - isolation froide, thermique et acoustique (cloisons),
 - faible coût,
 - entretien minimal ou nul (par exemple pas besoin de repeindre),
 - hygiénique et propre (facile à nettoyer),
 - Économisez des ressources (faible coût + installation facile + longue durée de vie).
- **Légèreté** : le plastique léger de nouvelle génération permet d'économiser de l'argent. Les voitures, les trains, les avions deviennent plus légers grâce à l'intégration de plus en plus de plastique. En même temps, ils apportent aux gens une agréable sensation de confort utilisateur, par exemple en autorisant une augmentation de la pression et de l'humidité avion.
- **Énergie et électronique** : les plastiques améliorent les performances dans ce domaine : réduction de poids, miniaturisation, isolation électrique et thermique. Les plastiques sont solides, flexibles et faciles à façonner. Les plastiques sont connus pour leurs qualités d'isolant électrique.
- **Agriculture** : l'utilisation du plastique dans l'agriculture peut augmenter les rendements, récolter plus tôt, réduire la dépendance aux herbicides et aux pesticides, meilleure protection des aliments et conservation de l'eau plus efficace. Par exemple, dans les régions arides, les systèmes de drainage en plastique peuvent réduire les coûts d'irrigation de deux à trois fois tandis que les rendements sont doublés.
- **Domaine médical** : les traitements médicaux modernes nécessitent l'utilisation de plastiques (Seringues à usage unique, poches de sang, valves cardiaques, etc.). De nombreux appareils ; l'orthopédie et les prothèses d'aujourd'hui sont en plastique. Certains comprimés sont entourés de polymères qui se dégradent lentement et libèrent le médicament progressivement ou en petites quantités.
- **Sport** : les plastiques ont révolutionné les équipements sportifs, les rendant plus efficace et technique que jamais. Puis pour:

Chapitre I : Les déchets plastiques

- Les ballons de football sont résistants à l'eau et à l'abrasion, et les trajectoires sont plus prévisibles,
- les chaussures de sport sont légères, résistantes,
- les raquettes de tennis sont plus solides, plus légères et plus puissantes, elles absorbent mieux les chocs,
- l'équipement nautique en plastique composite est léger et très résistant pour coques, structures et mâts de bateaux, de planches à voile et de surf... ;

De ces utilisations diverses découle une production importante de plastique dans le monde. La figure I.7 : suivante montre quelques données sur le plastique.

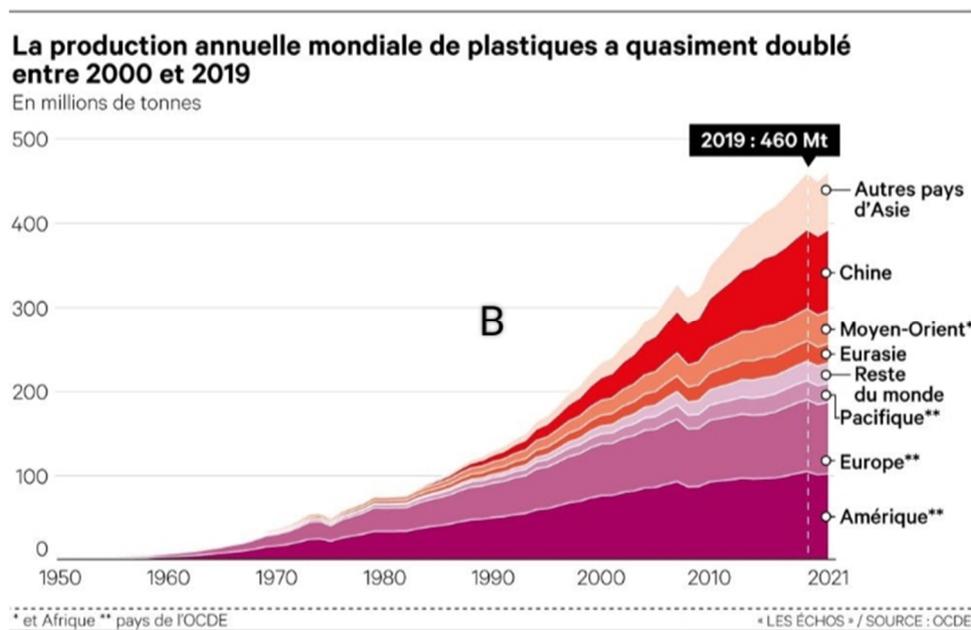


Figure I.7 : la production annuelle mondiale de plastique (S1)

I.3.5.2. Consommation des plastiques en Algérie :

Selon le Centre national de l'informatique et des statistiques (CNIS), l'Algérie a près de 2,03 milliards de dollars d'intrants importés pour l'industrie des plastiques en 2017. Cela se compare à 1,9 milliard de dollars en 2016 et à 1,7 milliard de dollars en 2015. 11% d'augmentation annuelle de la consommation de ce matériau documenté durant la décennie 2007-2017 : La consommation était de 10 kg par habitant en 2007, passe à 25,8 kg en 2020. 60% de cette consommation est utilisée pour l'emballage et 20% pour la construction et autres industries.

Chapitre I : Les déchets plastiques

I.3.6 Déchets plastiques :

Les déchets plastiques proviennent des résidus de processus de production, de transformation et de consommation. Il existe donc plusieurs types de déchets plastiques.

a/Déchets plastiques industriels :

Ces déchets comprennent tous les déchets générés lors de la production de résines (trouvées principalement dans les sites pétrochimiques). Dans la plupart des cas, on trouve des polymères grand public (PE, PP, PS et PVC). Quant aux déchets de traitement, ils proviennent de toutes les opérations de transformation du plastique qui permettent la production de produits finis (extrusion, injection, soufflage, calandrage...).

b/Les déchets plastiques de post-consommation :

Il s'agit de tous les déchets issus de la consommation industrielle ou de l'usage privé. Les déchets plastiques utilisés dans cette étude entrent dans cette catégorie. Nous distinguons :

- Déchets agricoles constitués principalement de films, sacs, fûts et bidons pesticide. La particularité de ce gisement réside dans sa solidité Pollution (sol, pierre) et pollution. Ce sont principalement des polyoléfines (polyéthylène basse densité, polyéthylène haute densité et polypropylène).
- Déchets commerciaux ou de distribution, y compris les emballages industriels. Les sacs de grande capacité sont utilisés dans l'industrie chimique, l'agro-alimentaire, bâtiment et travaux publics, pour emballer et transporter divers autres produits.
- Déchets électriques et électroniques de tous les secteurs de produits d'équipements électriques et électroniques tels que : ordinateurs, téléphones, appareils électroménagers, divers appareils et câbles.
- Ordures ménagères constituées principalement de matériaux d'emballage. Les principaux matériaux concernés par ce dépôt sont : le PET (bouteille eau gazeuse, eau minérale,...), HDPE (bouteilles de lait, détergents,...), LDPE (sacs d'emballage) et PVC (Boîtes, emballage,...).
- Déchets du bâtiment et des travaux publics provenant des huisseries, canalisations, sols, profils de fenêtres, conduits électriques, câbles, mousse isolation. Ces matériaux sont très fortement mélangés et leur degré de pollution est souvent élevé.
- Déchets des véhicules de transport représentés par tous les plastiques constituant des véhicules hors d'usage (VHU) (moyenne 14 % en masse véhicule). Ces déchets comprennent la polyoléfine, le PVC, le polycarbonate, le polyamide, polyuréthane, diverses résines thermodurcissables, sans oublier l'élastomère.

I.3.6.1.Portrait des différentes catégories de plastique à usage unique :

a/Le polyéthylène téréphtalate (PET) :

Chapitre I : Les déchets plastiques

Le PET est un matériau transparent dont les applications sont très nombreuses, mais les principales restent Fabrication de bouteilles en plastique coché. Le PET met 100 à 400 ans à décomposer et diviser en microparticules plastique, donc, ils sont de nature très sensible en forme de déchets de bouteilles d'eau et de boissons.

b/les polyéthylènes (PE) :

Le polyéthylène PE met environ 450 ans à se dégrader en raison de sa très stables, ils se divisent en deux groupes différents selon Densité (**tableau I.4** ci-dessous) :

Tableau I.4 : les catégories du polyéthylène

LE POLYETHYLENE BASSE DENSITE (PEBD)	LE POLYETHYLENE HAUTE DENSITE (PEHD)
Défini par une gamme de densité de 0.910-0.940g/cm³, il est flexible et résistant et peut être fabriqué dans des variétés translucides ou opaques.	Sa densité peut varier de 0.93 à 0.97g/cm ³ , il est plus dur et plus opaque que le (PEBD) et peut résister à des températures très élevée.

b.1/le polyéthylène basse densité(PEBD)

La principale application du PEBD est Fabrication : sacs, films, sachets, sacs poubelles, etc. Dans cet événement Caractérisation quatre Le type de sac a été déterminé ti fie (sacs 1-3 Litres, 5 litres, 8-10 litres et sac poubelle). Donne le tableau I.6 ci-dessous Aperçu des quantités et classe de paquet Utilisation à la maison en Algérie. Ces sacs en plastique tellement légers qu'ils sont facilement balayés par le vent et attachés à l'arbre et persistants dans l'environnement terrestre et marin représentent un grand danger pour la flore et la faune. Donne le **tableau I.5** ci-dessous Aperçu des quantités et classe de paquet Utilisation à la maison en Algérie.

Tableau I.5 : type et quantité de sacs consommés annuellement par les ménages.

Capacité	Quantités
1à3litre	5milliards
5litre	12milliards
8à12litre	1milliards
Sacs poubelle	500milliards
Autre sacs	5milliareds

Le PEBD crée 8,14 %, soit le taux le plus élevé de la catégorie des déchets plastiques générés. Le taux de plastique HDPE est de 1,26% des totaux déchets ménagers Algérie. Sur la côte

Chapitre I : Les déchets plastiques

algérienne, plus de 341 Des sacs en plastique ont été identifiés Sur différentes lignes droites de 100 m plage différente, qui donne 4ème dans le top 10 des déchets PEBD les plus courants Zones côtières (plage).

b.2/Le polyéthylène Haute Densité(PEHD) :

Le PEHD est un plastique dur utilisé pour Utilisé dans la fabrication de bouchons en liège ; bouteille de nourriture; bouteille de détergent/cosmétiques ; film d'emballage Caissier industriel ; ...ETC. Le taux de plastique HDPE est de 1,26% des totaux déchets ménagers Algérie. Sur la côte algérienne Le couvercle en plastique HDPE est Top 10 classé premier Objets collectés sur la section transversale 100 étagères, 5229 bouchons et bouchons de bouteilles d'eau, Boissons et détergents.

d/Le polystyrène(PS) :

Le polystyrène est un plastique Peut être de forme rigide ou mousse, qui provient du Monomère de styrène polymérisant. Il Aussi connu pour ses propriétés Isolant et facile à traiter. Couché Le polystyrène fournit de très nombreuses applications de la vie par jour (jetable), nous Fabriqué avec PS : (Verres et gobelets en plastique ; contenants à emporter ; Mousse isolante en faisant des réserves ;

I.4 Recyclage du plastique :

Le recyclage du plastique est considéré comme l'une des meilleures façons d'envisager du développement durable. Pour cette raison, la gestion est devenue une priorité absolue pour le développement durable (**Coulibaly, 2008**). Jusqu'à récemment, la plupart des produits en plastique en fin de vie étaient envoyés dans des décharges. La tendance aujourd'hui est de faire bon usage de ces plastiques usagés (non biodégradables), ou en les recyclant, ou si pour une raison quelconque cela n'est pas possible Techniquement ou économiquement, l'énergie est produite en les brûlant dans un incinérateur. Les systèmes de gestion varient d'un pays à l'autre spécificité, leurs options stratégiques et les technologies disponibles. Aussi, la situation est différente dans les zones rurales et urbanisées et il existe plusieurs solutions différentes qui peuvent être mises en œuvre dans le même pays. Les matières plastiques sont de plus en plus recyclées sous l'effet de l'évolution de la réglementation et des exigences écologiques et sociales par des associations pour la protection de l'environnement et la qualité de l'environnement. Des codes d'Identification des matières plastiques basés sur leur aspect recyclable ont été mis au point (Gervais, 2010 ; CSEMP, 2004 ; Society of plastique Engainées, 2008 ; HANNE QURTE, 2004) (TableauI.4).

Chapitre I : Les déchets plastiques

Tableau I.4 : Symboles et caractéristiques des différents types de plastiques recyclables
(Gervais, 2010 ; CSEMP, 2004 ; Society of plastique Engainées, 2008 ; HANNE
QURTE, 2004)

N° de recyclage	Abréviations	Nom du polymère	Utilisation
	PETE ou PET	Polyéthylènetéréphthalate	Recyclable pour produire des bouteilles de limonade, des plateaux de traiteur et de boulangerie, des vêtements, des tapis, des pinceaux, etc.
	HDPE ou PEHD	Polyéthylène haute densité	Recyclable pour produire des bouteilles, sacs à provisions, poubelles, tuyaux agricoles, sous-tasse, barrières, équipement de terrains de jeu, buches plastiques, conteneur d'acide (le PEHD est un plastique qui résiste aux acides)
	PVC	Polychlorure de vinyle	Recyclable pour produire des tuyaux, des profilés pour la construction (fenêtres, lames de terrasses, portails...) des grillages et des bouteilles non-alimentaires.
	LDPE ou PEBD	Polyéthylène basse densité	Recyclable pour fabriquer des sacs et films plastique.
	PP	Polypropylène	Recyclable en pièces de voiture, cabarets, tapis et fibres géotextiles et industrielles.
	PS	Polystyrène	Recyclable dans une grande variété de produits incluant accessoires de bureau, cabarets, jouets, cassettes vidéo et boîtiers, et panneaux isolants.
	OTHER		Autres plastiques, incluant le polycarbonate, l'acrylique et le nylon

Chapitre I : Les déchets plastiques

Il existe en général trois grandes méthodes de valorisations du plastique (**Bruneau, 2015**) :

- **La récupération d'énergie** comprend la combustion des déchets plastiques pour les recycler, Ils contiennent de l'énergie sous forme de chaleur. Le recyclage permet de recycler la plupart des déchets plastiques.

En revanche, il peut présenter des risques importants s'il n'est pas bien maîtrisé ; affectant l'environnement et la santé biologique par l'émission de dioxines et d'hydrocarbures aromatiques polycycliques, molécules cancérigènes présentes dans la fumée.

- **Recyclage mécanique** incluant la réutilisation des déchets plastiques de transformation minimale du matériau. Cette technique est utilisée pour Traitement des déchets thermoplastiques. Il est d'abord basé sur une collection ; sélectionner ou trier les déchets plastiques des ordures ménagères. Il est souvent nécessaire de trier les déchets plastiques par type de résine plastique. Plus l'efficacité du tri est élevée, meilleur est le produit obtenu. Le recyclage des déchets plastiques par cette méthode est utilisé pour le recyclage et la fabrication d'éléments de construction.

Le recyclage des matières plastiques est la technologie la plus utilisée dans le monde, Que ce soit au Nord ou au Sud, parce que ce procédé permet de recycler tous les thermoplastiques, soit 75 % de la production mondiale de plastique. Régénération y compris la production de matériaux en poudre, granulés ou broyés à partir de déchets plastiques, comparable à la résine vierge, la réintroduisant sur le marché international de la résine plastique. Cette technologie impose des exigences très strictes sur la classification des plastiques (car différentes résines les thermoplastiques ne sont pas miscibles entre eux) et la propreté de la résine, de sorte qu'il adopté par le fabricant. La régénération est la technique la plus efficace mais nécessite du matériel et des compétences relativement chères et techniques.

La fabrication d'éléments de construction comprend l'utilisation de matières plastiques (en particulier sacs en plastique) comme adhésif, au lieu de ciment, pour produire différents Eléments architecturaux tels que pavés, briques, tuiles... Cette technique, Avec l'avantage d'un faible investissement, la pochette peut être améliorée Même non lavé, il est très apprécié en Afrique. Il a été testé par de nombreux Une structure plus ou moins réussie.

- **Le recyclage chimique** consiste à convertir les matières plastiques en molécules de base (polymères, esters, etc.), qui peuvent être utilisées pour synthétiser de nouvelles matières plastiques, ou pour les produits pétrochimiques. Ces technologies sont encore peu développées ou limitées à certains types de résines plastiques.

I.4.2 Recyclage des en Algérie :

Sur les 13,1 millions de tonnes de déchets générés chaque année (2018), 2,1 millions de tonnes contiennent des résines plastiques, selon les données fournies, ce montant est en légère

Chapitre I : Les déchets plastiques

baisse par rapport à l'année 2014. Ceci peut être interprété comme la création de filière de récupération et de recyclage des déchets plastiques. Malgré la disponibilité de données à jour et d'informations disponibles, le recyclage reste difficile en raison d'un secteur informel difficile à reconnaître d'une façon fiable. Le taux de recyclage du plastique par rapport aux divers types de déchets est d'environ 15% (ET-2020). Quant au nombre de recycleurs inscrits, ils sont environ : 358 pour le PET, 343 pour le HDPE et 336 pour le film plastique. Le développement du recyclage repose sur de grandes infrastructures de tri et de transformation du déchet plastique (par type de polymère) capables de produire du plastique recyclé, voué à être utilisé par les industriels, mais aussi d'une réglementation incitative spécifique qui permet d'accroître la compétitivité du recyclage.

Conclusion :

Les plastiques sont fabriqués à partir de pétrole ou de gaz naturel. Leur présence dans la nature et la durée de vie Impacte les écosystèmes terrestres et marins. Leur recyclage s'est avéré nécessaire pour protéger notre environnement.

Chapitre II :

Les argiles

Chapitre II : Les argiles

II.1. Introduction :

Dans ce chapitre, on présentera les matériaux argileux qui sont parfois appelés "argiles". On exposera, dans un premier temps, les propriétés des argiles, leur comportement et leurs utilisations, puis on abordera les techniques de stabilisation de ces matériaux.

II. 2. Les Argiles :

II.2.1 : Définition :

Le terme argile désigne un sol herbeux et mou contenant un ensemble de petites particules dont la plus grande est fixée à $2\mu\text{m}$. Chargé négativement tels que la smectite, l'illite et la kaolinite. La présence de ces minéraux donne à l'argile sa couleur. Très sensible à la polarité des molécules d'eau. Cette sensibilité se manifeste par des gonflements, des retraites et des changements de propriétés mécaniques. Les argiles sont abondantes dans la nature et représentent environ 42% du volume total de l'océan. Défini terrestre comme "terrestrial" (WAKIM, 2005). Ils peuvent être divisés en deux grandes catégories :

- Les argiles plastiques sont souples et se déforment facilement ;
- Les argiles raides sont in durables et ont un comportement plus rigide.

En raison de la présence de carbonates et de quartz, le matériau est à la fois fragile et ductile à la limite de l'élasticité. Le matériau naturel argile, qui contient généralement des phyllo silicates (silicates en filets), est un plastique à l'état humide qui peut être séché ou chauffé pour durer. La variation de la tension de l'eau est le facteur à l'origine des fluctuations de volume. Une augmentation de la tension de l'eau provoque le phénomène de gonflement, tandis qu'une diminution provoque le phénomène de retrait. La variation de la tension de l'eau est le facteur à l'origine des fluctuations de volume. Une augmentation de la tension de l'eau provoque le phénomène de gonflement, tandis qu'une diminution provoque le phénomène de retrait. Il est nécessaire de comprendre la qualification de cette teneur en eau. Elle est composée de deux parties : l'eau connectée et l'eau libre. Les cinétiques d'évolution lors de ces deux teneurs en eau ne sont pas identiques. En effet, en raison de phénomènes électrostatiques, la vitesse d'adsorption de l'eau liée est plus rapide. La fluctuation du volume des argiles est fortement influencée par des facteurs microscopiques et macroscopiques. Ces facteurs sont complexes au niveau microscopique et sont principalement déterminés par les propriétés minéralogiques. Des matériaux argileux et des propriétés chimiques du fluide hydratant.

La représentation de la structure minéralogique d'une particule d'argile est donnée par L'organigramme suivant (Figure II .1) ainsi que dans les figures II.2 et Figure II .3.

Chapitre II : Les argiles

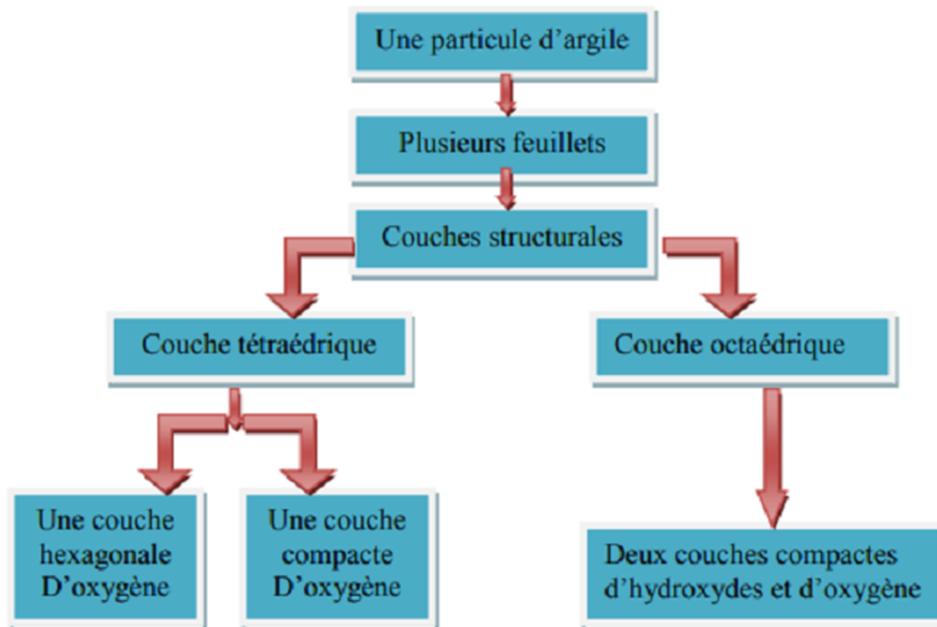


Figure II .1: Représentation de la structure minéralogique d'une particule d'argile, (HARRAT, 2007)

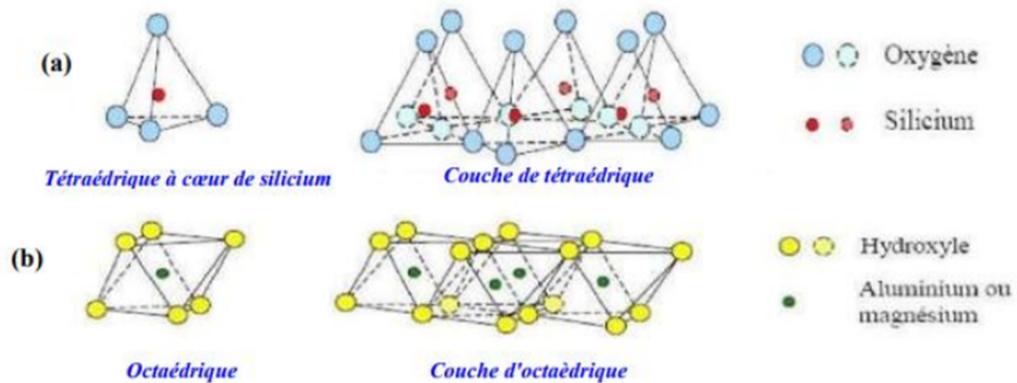


Figure II.2: Couches tétraédriques et octaédriques (FERRAH, 2006).

Chapitre II : Les argiles

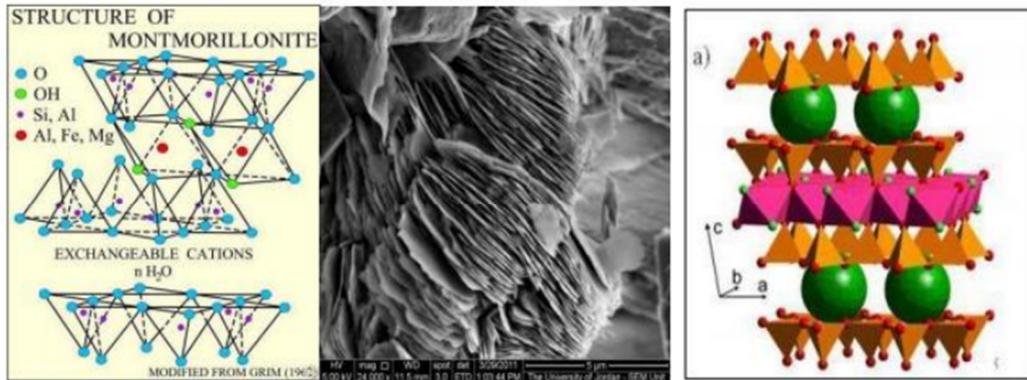


Figure II .3 : Présentation de la structure des argiles.

II.2.3. Texture des argiles :

Le mode de sédimentation et l'état de consolidation affectent tous deux la texture des minéraux argileux. Par rapport à un sol argileux dont la sédimentation a été, une disposition dentelée et orientée des particules argileuses dans une roche ne provoque pas un gonflement aussi important. Il s'agit donc d'un sol qui peut être rapide, courant, et pour lequel l'espace maximal entre les plaquettes existe. Cette disposition des minéraux argileux est le principal facteur de gonflement de l'anisotrope (Wakim J, 2005). Les matériaux en forme d'armure ne se composent pas uniquement d'argiles. Au cœur il peut y avoir coexistence de plusieurs types de minéraux, selon l'argile. Ainsi, la structure des matériaux argileux l'emporte sur celle des autres minéraux non argileux. La structure et la texture sont extrêmement compliquées en raison de cette hétérogénéité, en particulier lorsque des minéraux carbonatés sont mélangés à des minéraux argileux. Les observations microscopiques faites par Montes et al. Citées par (Wakim j, 2005) sur les argilites qui sont soumises à des cycles d'humidification et de dessiccation, il y a des fracturations le long des surfaces qui sont concentrées près des matériaux durs non gonflants (**Figure II.4**). La texture des minéraux de l'argilite dépend du type.

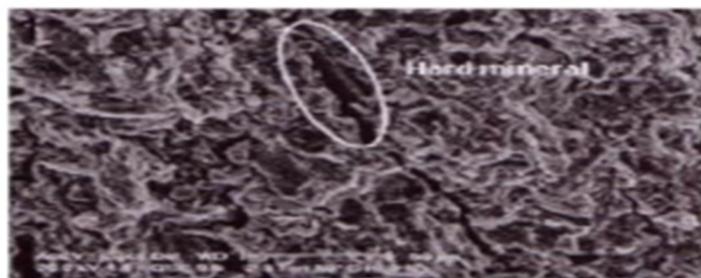


Figure II.4: Ouverture des fissures en proximité des matériaux rigides selon Montes et al. (wakimj, 2005).

L'évolution de la micro texture en fonction de l'hydratation peut être observée à l'aide d'un microscope électronique à balayage (MEB) ou d'une tomographie à rayons X (M. GASC-Barbier, H. FREISSMUTH, et X. DAUPLEY), comme mentionné dans Wakim J., 2005.

Chapitre II : Les argiles

D'après les observations, le gonflement de la kaolinite ne se produit qu'entre les agrégats, au niveau des pores interstitiels, mais le gonflement des smectites ne se produit qu'intra-agrégats, c'est-à-dire entre les feuillets (BULTEL Frédéric, 2001). Ces observations microscopiques confirment une nouvelle disposition des paillettes argileuses, qui peut être considérée comme un déplacement angulaire observable en parallèle dans le cas des roches argileuses ou comme un déplacement angulaire et un effet de rotation combinés dans le cas des sols argileux non indurés (Wakim J, 2005). Globalement, la proportion des propriétés mécaniques gonflées, des carbonates, des minéraux non gonflés et des minéraux non gonflés a un impact significatif sur les propriétés mécaniques gonflées, retirées et modifiées. Le **tableau II.1** résume les caractéristiques de ces argiles. Des images de ces argiles capturées par un microscope à balayage électronique sont présentées dans la **Figure II.5**

Tableau II.1 : Caractéristiques des argiles (FERRAH, 2006).

Argile	Type	Nombre de feuillets par particule	Diamètre d'une particule (μm)	Épaisseur d'une particule (μm)	Surface spécifique en m^2/g	C.E.C. (meq/100g)
Kaolinite	1 : 2	100-200	0.1- 4	1-10	10-20	3-15
Illite	1 : 2	1- 10	0.1-4	0.03-0.01	65-100	10-40
Montmorillonite	1:2	1	0.1	0.001	700-840	80-150

C.E.C: capacité d'échange cationique.

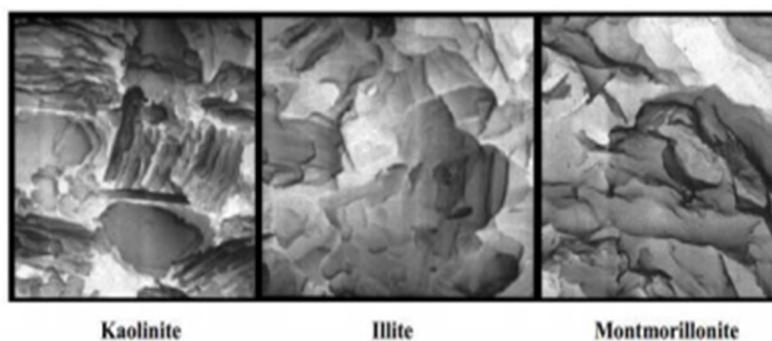


Figure II.5: Photographies au Microscope Electronique à Balayage des argiles (DJAANI M, BENMANSOUR S F, 2011)

II.2.4 Minéralogie des argiles :

Chapitre II : Les argiles

Les minéraux argileux sont de très petites particules extrêmement actives au niveau atomique. Lorsque le pourcentage d'argile augmente, l'influence de la partie argileuse sur le comportement global du sol augmente proportionnellement.

II.2.4.1 Minéraux argileux :

Les minéraux argileux sont des phyllo silicates d'aluminium hydratés qui se présentent sous forme de feuillets. Deux éléments structuraux fondamentaux constituent la structure atomique des argiles (**Figure II.6**) :

- ❖ Le tétraèdre de silice SiO_4 .
- ❖ L'octaèdre d'aluminium $\text{Al}_2(\text{OH})_6$ ou de magnésium $\text{Mg}_3(\text{OH})_6$

Lorsque plusieurs de ces éléments sont combinés, ils forment des feuillets élémentaires octaédriques et tétraédriques qui sont reliés par des liaisons covalentes.

Pour des raisons de visualisation, ces grilles sont représentées par un rectangle pour la grille octaédrique et un trapèze pour la grille triangulaire.

Différents minéraux argileux sont créés en assemblant les plaques atomiques constitutives dans diverses combinaisons.

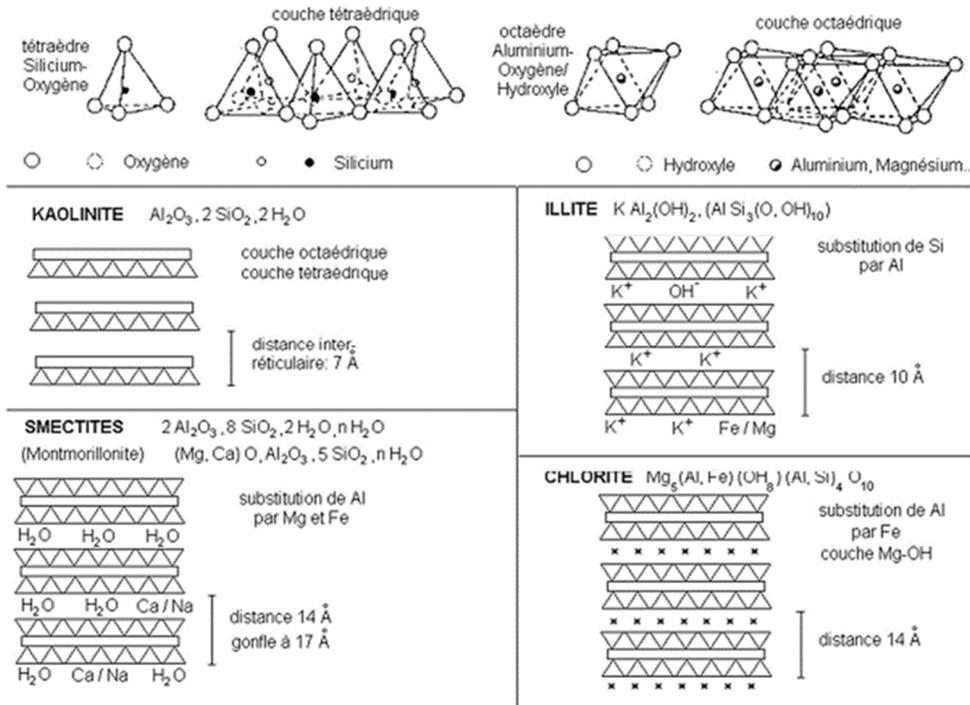
Combinaisons différentes. Les trois variétés d'argile les plus connues dans les milieux géotechniques sont la kaolinite, l'illite et la montmorillonite.

La kaolinite est constituée par l'empilement de plusieurs couches alternées de feuillets octaédriques et tétraédriques, d'une épaisseur de 0,72 nm chacun, les uns sur les autres. Elles sont maintenues ensemble par des liaisons hydrogène extrêmement fortes qui les empêchent de se séparer. Les feuilles sont maintenues ensemble par des liaisons hydrogène extrêmement fortes qui les empêchent de se séparer. La kaolinite est utilisée dans les céramiques, le papier, la peinture et la médecine.

L'illite est créée par l'empilement de plusieurs couches de 0,96 nm d'épaisseur, chacune étant constituée de deux feuillets octaédriques pris en sandwich entre un feuillet tétraédrique (inversé), comme le montre la **Figure II.6**. Ils sont maintenus ensemble par des ions potassium, où les connexions ne sont pas aussi fortes que dans la kaolinite.

La structure atomique des montmorillonites, également appelées smectites, est la même que celle de l'illite, mais la force de van der Waal maintient les couches ensemble. Il est facile de séparer les couches lorsque de l'eau s'infiltré entre elles, et le volume augmentera de manière significative - un processus connu sous le nom de gonflement. Le terme "argiles expansives" ou "réactives" est utilisé pour décrire les argiles de type montmorillonite. Ils gonflent en présence d'eau et se contractent à nouveau après séchage.

Chapitre II : Les argiles



FigureII.6 : structure des minéraux argileux

II.2.5 Gonflement des argiles :

II.2.5.1 Le gonflement :

En général, le gonflement des sols est caractérisé par des mouvements de faible amplitude de différents terrains, qui sont provoqués par des changements de volume de certains sols argileux lorsque leur teneur en eau change.

II.2.5.2 Mécanismes de gonflement des argiles :

Les sols argileux naturels, les marnes, les roches argileuses et les roches contenant de l'anhydrite font partie des matériaux qui peuvent se dilater lorsqu'on leur applique de l'eau.

Divers phénomènes physiques, chimiques et mécaniques peuvent intervenir séparément ou en combinaison dans le cadre du processus de gonflement intercellulaire. Le gonflement dépend également de la texture du matériau, ou plus précisément de la façon dont les plaquettes sont disposées les unes entre les autres, comme nous le verrons ci-dessous (FigureII.7).

Chapitre II : Les argiles

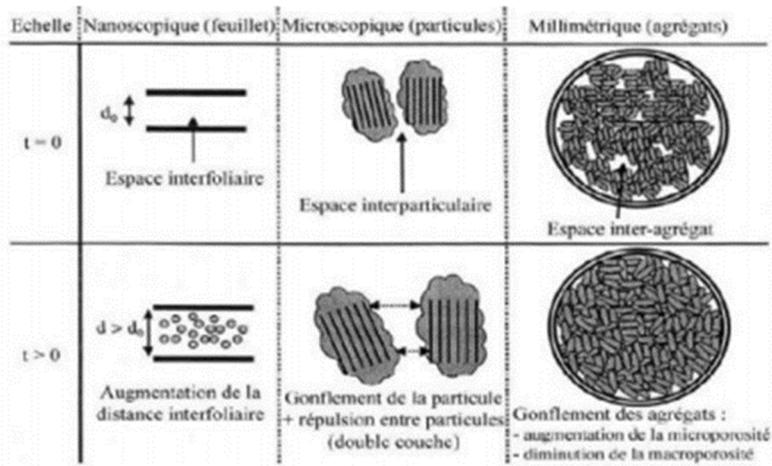
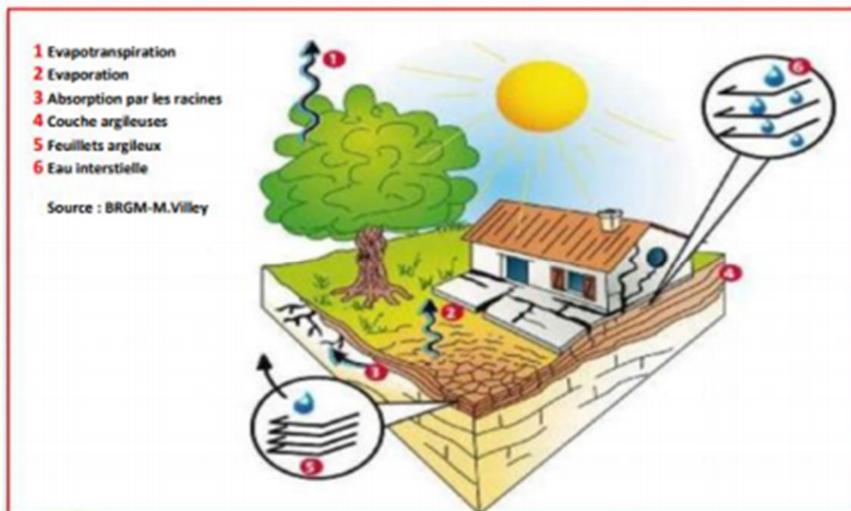


Figure II.7: Schéma présentant les différentes origines du gonflement (Gens et Alonso,1992).

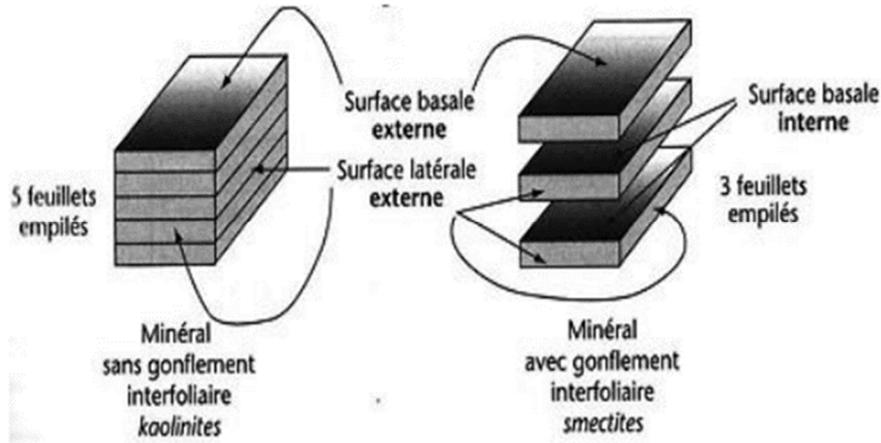


FigureII.8: Mécanismes de gonflement des argiles par hydratation. (HARRAT, 2007).



FigureII.9 : Mécanisme de gonflement (BRGM-M. Villey)

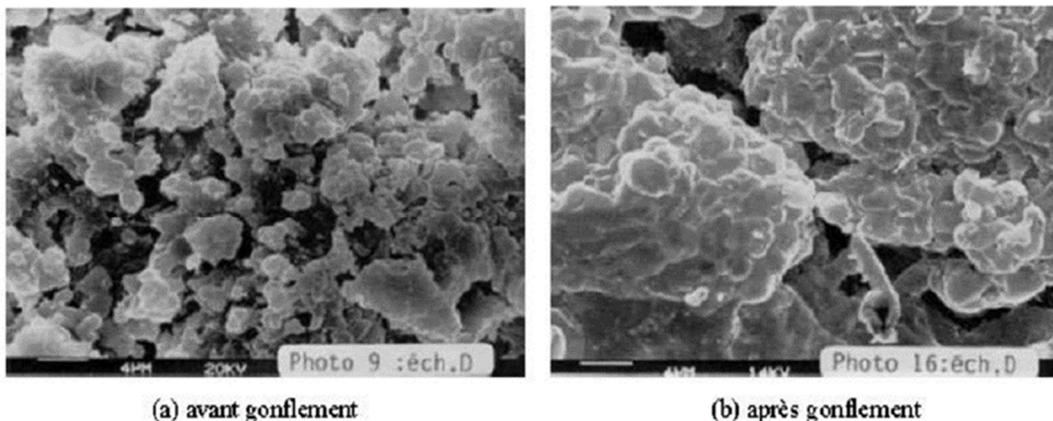
Chapitre II : Les argiles



FigureII.9 : Mécanisme de retrait-gonflement des argiles (Calvet, 2003).

II.2.5.3 Evolution de la texture au cours du gonflement :

Deux autres approches, l'imagerie par faisceau électronique (M.E.B.) et le proximètre par injection de mercure, peuvent être utilisées pour étudier les changements dans la texture du sol au cours du processus de gonflement. La texture peut être observée à l'aide de la microscopie électronique à balayage. Le réseau poreux peut être quantifié en mesurant les ondes des pores grâce au proximètre par injection de mercure. L'étude du réseau poreux est essentielle car le volume macroscopiquement agrandi est le résultat d'une dilatation du volume.



FigureII.10: Observation au MEB d'une texture argileuse (TROALEN et al. 1984).

Les recherches au M.E.B. ont montré que les sols étudiés ont, à l'état naturel, une texture assez compacte constituée plus ou moins entièrement d'agrégats discrets, argileux et pressés les uns contre les autres. Cette texture se transforme en une configuration d'agrégats séparés par des pores géométriques quelque peu bidimensionnels au fur et à mesure de l'expansion. Au cours du processus de gonflement, la taille des agrégats diminue et l'épaisseur des pores augmente. Cette évolution est illustrée par la FigureII.11.

Chapitre II : Les argiles

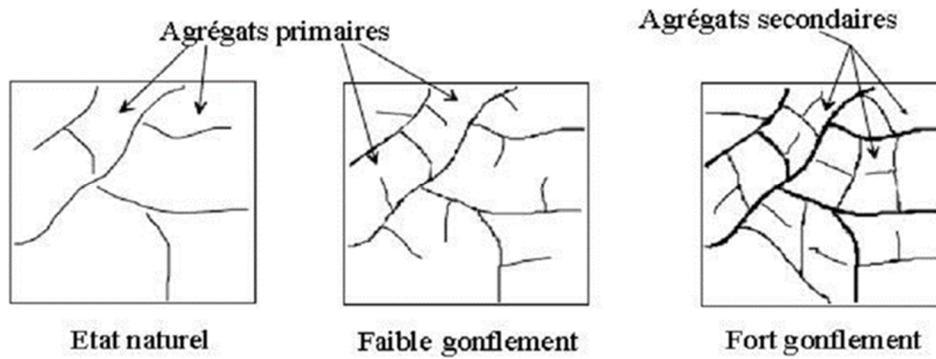


Figure II.11: Evolution de texture des sols au cours du gonflement.

II.2.5.4 Identification des argiles gonflantes

Identification des sols gonflés par l'étude de la forme et de l'agencement des microstructures argileuses. Ce procédé est coûteux et ne permet pas de définir clairement les paramètres qui régissent le processus de retrait-gonflement. Cependant, une identification primaire basée sur des expériences relativement simples et peu coûteuses pourrait présenter un intérêt significatif et se traduire par des économies de temps et d'argent. Différents auteurs ont décrit diverses méthodes empiriques permettant d'évaluer le potentiel d'expansion des sols (Tableaux 2). En fait, un certain nombre de classifications ont été proposées par divers chercheurs pour estimer le potentiel d'expansion du sol. Potentiel de gonflement en fonction des paramètres du sol comme l'indice de plasticité et la limite de retrait (DJEDID et al. 2001)

Potentiel de gonflement d'après Altmeyer (1955)		Potentiel de gonflement d'après Ranganatham et Satyanarayana (1965)		Potentiel de gonflement d'après Sneath (1980)	
w_s (%)	Potentiel de gonflement	I_p (%)	Potentiel de gonflement	I_p (%)	Potentiel de gonflement
< 10	Fort	0 – 20	Faible	> 35	Très élevé
10 – 12	Critique	20 – 30	Moyen	22 – 48	Elevé
> 12	faible	30 – 60	Fort	22 – 32	Moyen
		> 60	Très fort	< 18	Faible

II.2.5.5 Définition des paramètres de gonflement

L'approche macroscopique de l'inflation est la plus adaptée aux applications géotechniques. Elle distingue trois notions : la pression de gonflement, le potentiel de gonflement et l'indice de gonflement. Parce qu'elles dépendent des circonstances dans lesquelles le gonflement se produit, ces notions ne sont pas considérées comme des propriétés intrinsèques du matériau gonflant et ne peuvent pas recevoir de définition objective. Malgré cela, elles sont largement utilisées et ont eu un impact significatif sur les procédures d'essai en laboratoire. Elles sont définies comme suit :

Chapitre II : Les argiles

a) la pression de gonflement (σ_G) :

Lorsque l'état physique initial d'une roche ou d'un sol est connu, son état peut être décrit comme l'effort nécessaire pour maintenir son volume constant tout au long de l'imbibition sans déformation jusqu'à saturation complète. Cette définition de la pression inflationniste est la plus fréquemment citée, bien qu'elle ne soit pas la seule.

b) Le potentiel de gonflement (EG)

La déformation maximale (h/h) d'un élément de roche ou de sol dont l'état physique est connu résulte de la soumission de cet élément à un état de contrainte nul ou quasi nul jusqu'à saturation.

c) L'indice de gonflement (C_g) :

Décrit l'importance de la déformation inflationniste causée par une décharge par rapport à un ensemble particulier de contraintes. A la fin d'une période d'équilibre, on obtient la déformation par inflation. En général, ces trois phénomènes sont mesurés à l'aide d'éprouvettes de compression isotrope ou œdométrique. L'indice de gonflement provient d'une décharge mécanique, contrairement à la pression et au potentiel de gonflement qui sont obtenus lors de la saturation du sol.

II.2.5.6 Retrait des sols gonflants

L'évaporation de l'eau provoque une diminution de volume car elle se produit dans les pores du sol. La cause des contraintes de cisaillement est l'assèchement progressif qui consiste en des tensions capillaires

La limite de retrait correspond donc à la résistance à la traction de l'eau pour laquelle le retrait est interrompu car la résistance à la traction du sol augmente en même temps que les tensions capillaires.

Selon (SCHUBERT, 1982), trois phases sont à prendre en considération lors de l'assèchement d'un sol :

a) La première phase :

Les macropores ont complètement atteint la saturation (figure II.11-a).

b) La deuxième phase (transitionnelle)

Le sol se dessèche et l'air pénètre dans les pores à mesure que l'hydratation superficielle des macropores s'évapore. Cependant, l'air est piégé dans les pores et certains d'entre eux sont encore saturés (Figure II.12.a).

c) La dernière phase :

Le sol se dessèche et l'air pénètre dans les pores à mesure que l'hydratation superficielle des macropores s'évapore. Cependant, l'air est piégé dans les pores et certains d'entre eux sont encore saturés (Figure II.12 .b).

Chapitre II : Les argiles

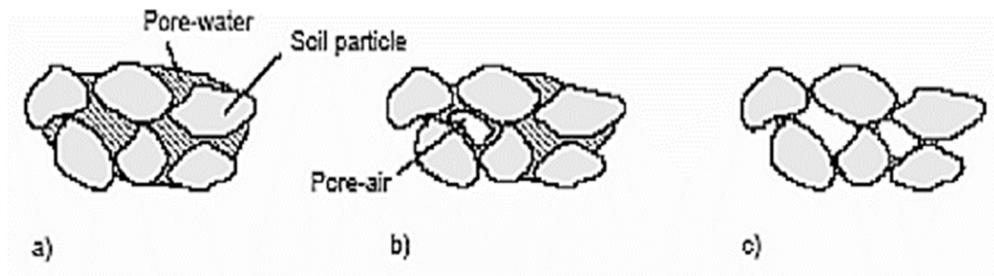
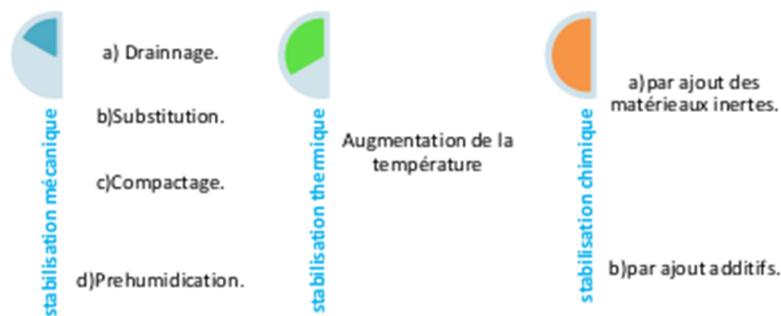


Figure 2.11: Les diverses phases du retrait (SCHUBERT, 1982).

II.3 Techniques de stabilisation des argiles

La stabilisation des sols expansifs est fréquemment réalisée afin d'augmenter leur résistance et de réduire leur sensibilité aux variations de pression de l'eau.



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, le type de sol à traiter, la durée du projet, l'accessibilité des matériaux à utiliser, ainsi que les circonstances environnementales.

La stabilisation des sols expansifs est fréquemment réalisée afin d'augmenter leur résistance et de réduire leur sensibilité aux variations de pression de l'eau.

III.4. Stabilisation chimique (par additifs) :

Deux méthodes de stabilisation chimique peuvent être utilisées :

- La stabilisation chimique par ajout de matériaux.
- La stabilisation chimique par additifs.

II.5. Origine de la chaux :

Le carbonate de calcium (CaCO_3), produit sous forme de roche sédimentaire, est la source de la chaux. Le carbonate est produit lorsque le sol est broyé.

Chapitre II : Les argiles

Le carbonate de calcium est appelé chaux agricole. Elle peut être appliquée pour neutraliser les sols acides. Pour les applications de génie civil ou de construction, il existe plusieurs types de chaux

II.5.1 Ajout de chaux pour la stabilisation :

L'application de la chaux pour stabiliser les argiles a été couronnée de succès pendant de nombreuses années. En outre, de nombreuses études ont montré que les propriétés mécaniques d'un véhicule sont plus importantes que celles d'un sol

Il est possible d'altérer de façon permanente un sol traité avec des produits chimiques (BICZYSKO, 1996 ; GREAVES, 1996 ; Kelley, 1988). Little (1995) indique que, de manière générale, un sol stabilisé au niveau des fissures a des performances structurelles comparables à celles d'une fondation construite sur un sol naturel ou concave.

L'ajout d'argile à un sol à grains fins provoque un certain nombre de réactions, notamment l'échange cationique et la floculation, qui modifient presque immédiatement les propriétés de plasticité, de maniabilité, de résistance et de déformation du sol (Moore, 1987).

II.5.2 Utilisation de la chaux

L'application de la chaux pour stabiliser les argiles a été couronnée de succès pendant de nombreuses années. En outre, de nombreuses études ont montré que les propriétés mécaniques d'un sol traité avec des produits chimiques peuvent être modifiées de manière permanente (BICZYSKO, 1996 ; GREAVES, 1996 ; Kelley, 1998).

Les propriétés mécaniques d'un sol traité avec des produits chimiques peuvent être modifiées de manière permanente (BICZYSKO, 1996 ; GREAVES, 1996 ; Kelley, 1998). Difficilement (1995). D'une manière générale, un sol qui a été stabilisé pour fournir une performance structurellement comparable à une fondation de gravier naturelle ou concave.

Lorsque l'on ajoute de la chaux à un sable à grains fins, plusieurs réactions se produisent. Tout d'abord, l'échange cationique et la fiction modifient presque immédiatement les propriétés de plasticité, de maniabilité, de résistance et de déformation d'un sol (Moore, 1987). Ces deux premières réactions entraînent une modification de la composition mécanique du sol. La réalisation d'un tel changement ne nécessite souvent pas plus de 1 % de recettes fiscales La période de stabilisation est constituée d'une deuxième série de réactions dites pouzzolaniques. Au cours de cette réaction, le mélange chaux-argile forme des agents de cimentation qui augmentent la résistance ainsi que la durabilité du mélange. La température a un impact significatif sur les réactions pouzzolaniques, qui évoluent également dans le temps. Les réactions pounomadiques étant un phénomène qui peut prendre du temps, la résistance d'un sol peut augmenter sur plusieurs années. En outre, une température d'environ. La période de stabilisation est constituée d'une deuxième série de réactions dites pouzzolaniques. Au cours de cette réaction, le mélange chaux.

La majorité des minéraux argileux sont produits par l'agitation des roches. On les trouve dans les sols, les sédiments, les roches sédimentaires, les zones d'amplification hydrothermale et

Chapitre II : Les argiles

les roches sédimentaires. La majorité d'entre eux sont des silicatées phyllo. C'est-à-dire que ce qui est présent sous

II.5.3 Action de la chaux sur les argiles :

Les couches de silicates se présentent sous la forme de feuilles d'aluminium de petite taille, plus ou moins humidifiées. Les couches qui composent les feuillettes sont des couches tétraédriques de SiO_4 et octaédriques d' $\text{Al}(\text{OH})_6$ reliées par des atomes partagés de O^{2+} et OH . La capacité des minéraux argileux à adsorber les molécules d'eau dans la région interfoliaire varie d'une espèce d'argile à l'autre. Elle est à l'origine de la sensibilité des argiles à l'eau.

Lorsque la chaux vivante est associée à un sol argileux humide, elle s'hydrate rapidement et fixe une quantité importante d'eau.

II.5.4 Traitement des sols à la chaux :

Le traitement de la chaux est réalisé avec de l'oxyde de calcium (chaux viva) ou de l'hydroxyde de calcium (chaux éteinte). Le produit chimique agricole commun est le carbonate de calcium (CaCO_3). Il est inefficace pour stabiliser et améliorer les conditions du sol. L'interaction entre les minéraux argileux et les chaux détermine l'effet stabilisateur. Les principaux effets de la réaction sont les suivants :

Augmentation de la résistance au cisaillement et de la capacité de charge du sol, diminution de la sensibilité au gonflement et au retrait, amélioration de la résistance à la circulation et aux intempéries, diminution de la pression de l'eau, amélioration de la maniabilité et amélioration des caractéristiques de compactage, entre autres.

II.6. Conclusion :

Les problèmes posés par l'expansion des sols et des roches au cours des projets de génie civil se sont considérablement développés. Le phénomène affecte de nombreuses sortes de matériaux, est répandu dans un large éventail de zones géographiques et attire beaucoup d'attention.

D'ouvrages La nécessité de caractériser ce mode de comportement et d'établir les paramètres qui lui sont associés afin de concevoir de nouveaux ouvrages ou d'améliorer le confort des ouvrages existants s'est donc fait sentir depuis longtemps. Cela a conduit à la nécessité de tester les sols et les roches en laboratoire à l'aide d'expériences de gonflage. Les techniques de stabilisation les plus populaires sont déterminées par un certain nombre de facteurs, notamment les considérations économiques, le type de sol à traiter, la durée du projet, la disponibilité des matériaux à utiliser et les conditions environnementales.

Dans notre projet, nous prévoyons de remplacer une partie de l'argile par du déche plastique ; ce nouveau procédé sera étudié dans la partie expérimentale.

Chapitre III :
Présentation des essais réalisés

Chapitre III : Présentation des essais réalisés

III.1.Introduction :

Le contenu de ce chapitre est une étude expérimentale menée au laboratoire des Travaux Publics de l'Ouest - Unité Tiaret Ouest (L.T.P.O), selon le mode opératoire résumé ci-dessous dos.

Il est à rappeler que l'objectif du travail est de valoriser les déchets plastiques comme renforts pour la stabilisation des argiles de très faible portance.

L'étude expérimentale vise à caractériser le comportement des sols situés dans la commune de **GUERTOUFA** et déterminer les paramètres physiques et mécaniques qui affectent la portance et la variation de volume du matériau argileux, en utilisant des essais classiques d'identification, essais de Portance (Proctor et CBR) et des essais mécaniques (essais de cisaillement à la boîte, essais œdométrique).

III.2.Localisation du gisement d'argile :

Le gisement d'argile est situé sur la route nationale RN23 à 9 Kms de la ville de GUERTOUFA (Wilaya de Tiaret) (Figure III.1).



Figure III.1 :Position du gisement (Google Earth)



Figure III.2 : le site de prélèvement.

Chapitre III : Présentation des essais réalisés

Le programme expérimental est réparti en trois parties :

a- Essais d'identifications

- L'analyse granulométrique (par tamisage).
- L'analyse granulométrique (par Sédimentométrie).
- Les limites d'Atterberg.
- Analyse chimique (teneur en carbonates, bleu de méthylène VBS)

b- Essais de Portance

- Essais Proctor modifié.
- Essais CBR

c- Essais mécaniques

- Essais à la boîte de cisaillement directe.
- Essai œdométrique.

Le matériau utilisé présente à l'œil nu des caractéristiques d'une argile avant son identification (Figure III.3).



Figure III.3: Echantillon de l'argile étudiée.

III.3. Essais d'identifications :

III.3.1. Analyse granulométrique tamisage (NF P 94-056) :

Son but est de déterminer la répartition des particules qui composent le squelette "Sol" pour sa classification. Le test consiste à séparer des particules agglomérées de matériau de masse connue par tamisage sous l'eau. Le sol séché est fractionné à travers une série de tamis, puis pesé les résidus accumulés sur chaque tamis à tour de rôle. La masse de refus cumulé sur chaque tamis est rapportée à la masse sèche totale de l'échantillon soumis à l'analyse.

Les tailles des mailles des tamis utilisés sont les suivantes : 5mm, 4mm, 2mm, 1mm, 0.5mm, 0.4mm, 0.315mm, 0.2mm, 0.1mm, 0.08mm. (Figure III.4).

Les refus ont été séchés à l'étuve à une température de 105°C pendant 24 heures. La masse initiale exacte utilisée est de 500g.

Chapitre III : Présentation des essais réalisés

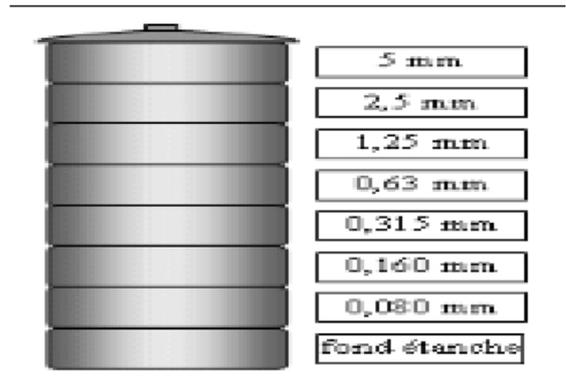


Figure III.4 : Appareillage d'analyse granulométrique (tamisage).

Les résultats de l'analyse granulométrique sont représentés dans le **tableau III.1**:

Tableau III.1 : Résultats de l'analyse granulométrique par tamisage de l'argile naturelle.

Tamis (mm)	Masse des refus cumulés	% refus cumulés	% tamisât cumulés
4	00	00	100
2	07	01	99
1	13	01	99
0.500	20	02	98
0.400	22	03	97
0.315	25	03	97
0.200	30	03	97
0.100	39	04	96
0.080	62	06	94

III.3.2. Analyse granulométrique Sédimentométrie (NF P94-057) :

L'analyse par sédimentation est un essai géotechnique qui complète l'analyse granulométrique par tamisage. Les particules inférieures à 80 μm séparées du reste du sol par tamisage sont mises en suspension dans de l'eau additionnée d'un dé flocculant. 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 la profondeur d'immersion de l'appareil. La distribution pondérale de la taille des particules est calculée à partir de ces données (Figure. III.5).

Chapitre III : Présentation des essais réalisés

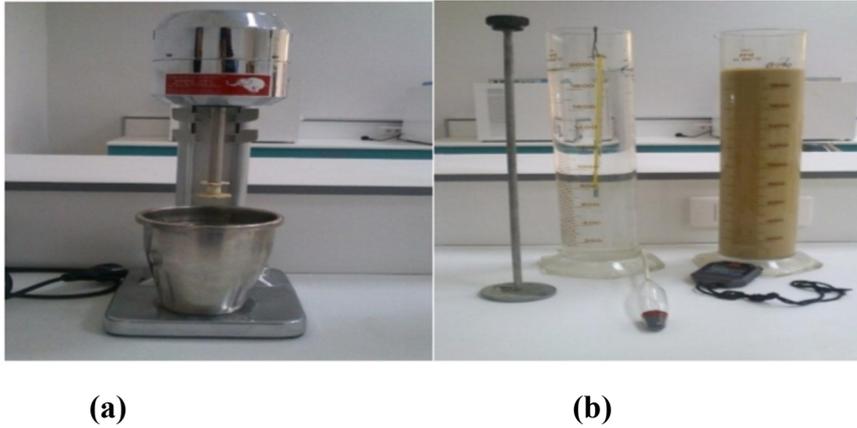


Figure. III .5 :Essai granulométrique par Sédimentométrie (a) : Préparation d'échantillon, (b): Exécution de l'essai et prise de mesure.

La courbe granulométrique (tamisage et Sédimentométrie) de l'argile est représentée sur la **figure III.6.**

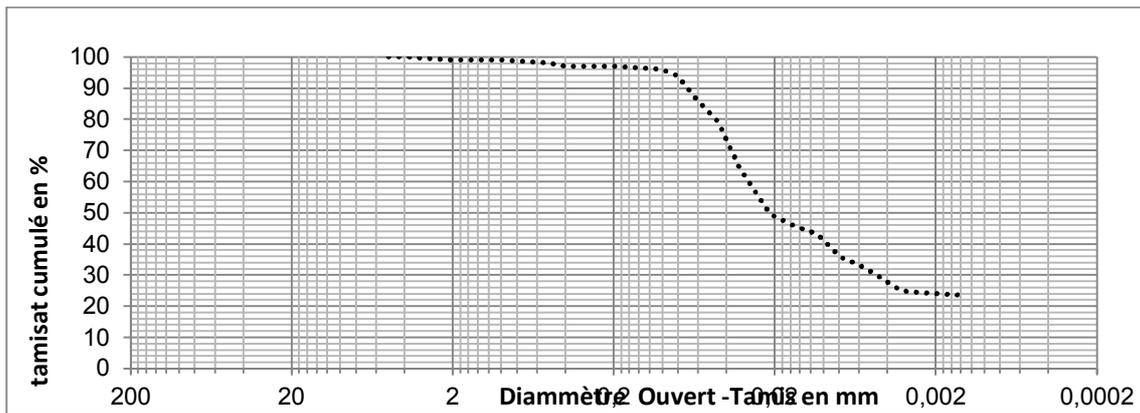


Figure III.6 : Coubes granulométrique de l'argile (tamisage par voie humide et Sédimentométrie).

III.3.3.Limite d'Atterberg (NF P 94-051) :

Les limites de consistance ou limites d'Atterberg (selon le pédologue suédois) constitue des indicateurs importants en géotechnique. Ces limites sont mesurées avec un équipement standardisé, sur le mortier, c'est-à-dire la portion de terre qui passe au tamis de 400 mm. Deux limites sont définies :

- ✓ Limite de liquidité W_L : passage du sol de l'état liquide à l'état plastique
- ✓ Limite de plasticité W_P : le processus de transition du sol de l'état plastique à l'état solide

Pour déterminer la limite de liquidité W_L est la teneur en eau $w(\%)$ qui correspond à une fermeture en 25 coups, on utilise un appareil conforme aux spécifications qui porte le nom de Casagrande (Figure III.7).

Chapitre III : Présentation des essais réalisés

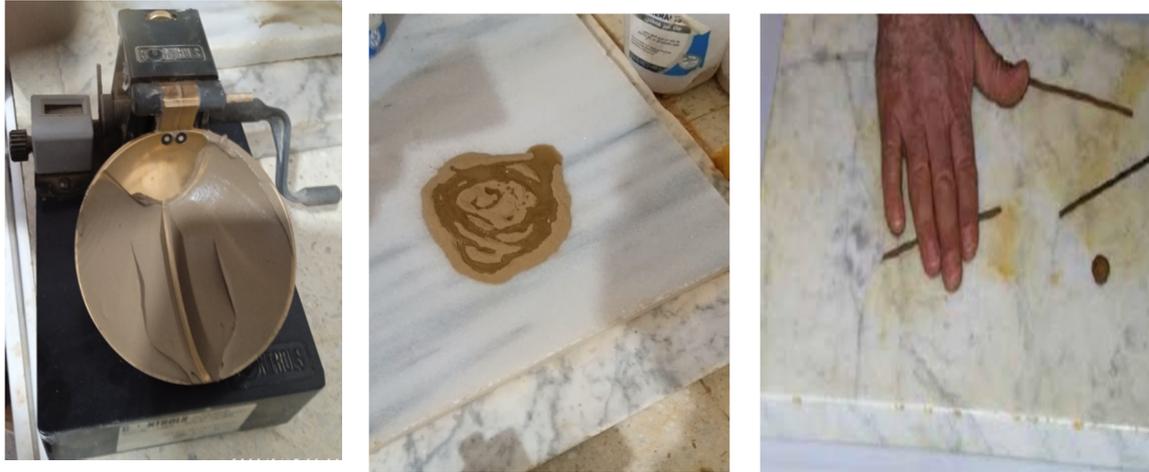


Figure III.7: Appareillage de limites d'ATTERBERG.

Les données de l'essai sont résumées dans le **tableau III.2**.

Tableau III.2 : Résultats de l'essai de limite de liquidité de l'argile naturelle.

	1 ^o Essai		2 ^o Essai		3 ^o Essai	
N ^o de la tare	19		24		29	
Poids total humide (g)	300	42	4C	67	200	29
Poids total sec (g)	6,03	6,45	6,02	5,90	5,92	6,18
Poids de la tare (g)	5,29	5,50	5,28	5,01	5,22	5,37
Poids de l'eau	4,13	4,00	4,10	3,58	4,08	4,05
N ^o de la tare	0,74	0,95	0,74	0,89	0,70	0,81
Poids total humide (g)	1,16	1,50	1,18	1,43	1,14	1,32
Poids total sec (g)	63,79	63,33	62,71	62,24	61,40	61,36
Poids de la tare (g)	63,56		62,47		61,38	

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

Chapitre III : Présentation des essais réalisés

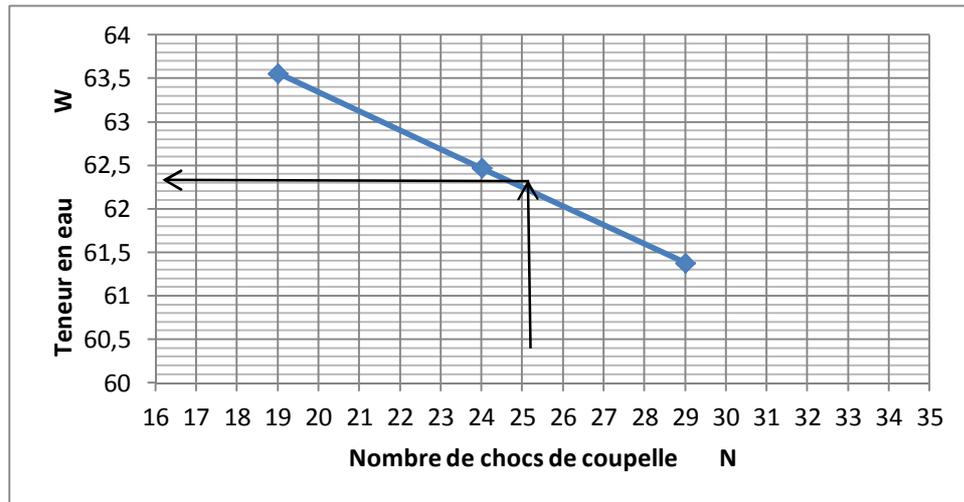


Figure III.8 : Limite de liquidité à la coupelle de Casagrande

La limite de plasticité W_p est la teneur en eau (exprimée en %) du rouleau qui se brise en petits bâtons de 10 à 20mm de longueur au moment où son diamètre atteint 3 mm soit brisé ou effrité en morceaux. Les bâtons sont placés dans des tares pour déterminer leur teneur en eau.

On exécute en général deux essais pour déterminer cette limite.

Tableau III.3 : Résultats des limites de plasticité de l'argile naturelle.

	1° Essai	2° Essai	3° Essai	4° Essai
N° de la tare	BB	XD	H50	45
Poids total humide (g)	4,57	4,83	5,27	4,59
Poids total sec (g)	4,34	4,58	5,02	4,36
Poids de la tare (g)	3,65	3,82	4,25	3,66
Poids de l'eau	0,23	0,25	0,25	0,23
Poids de sol sec (g)	0,69	0,76	0,77	0,70
Teneur en eau (%)	33,33	32,89	32,47	32,86
Le moyen	33,11		32,66	
	32,89			

Chapitre III : Présentation des essais réalisés

Tableau III.4 : Limite de liquidité à la coupelle de Casagrande

Mesures n°	1	2	3
Teneur en eau (%)	63,56	62,47	61,38
Nombre de coups N	19	24	29

Dans le tableau on présente les résultats finaux des limites d'Atterberg de l'argile :

Tableau III.5 : Limite d'Atterberg pour l'argile naturelle.

Teneur en eau de plasticité	W=33,33	W=33,11	W=32,47	W _p =32,66
	W=32,89		W=32,86	
Limite de liquidité: W _L =62,25 (%)	Indice de plasticité			
Limite de plasticité: W _p =32,89 (%)	I_p=29,36			

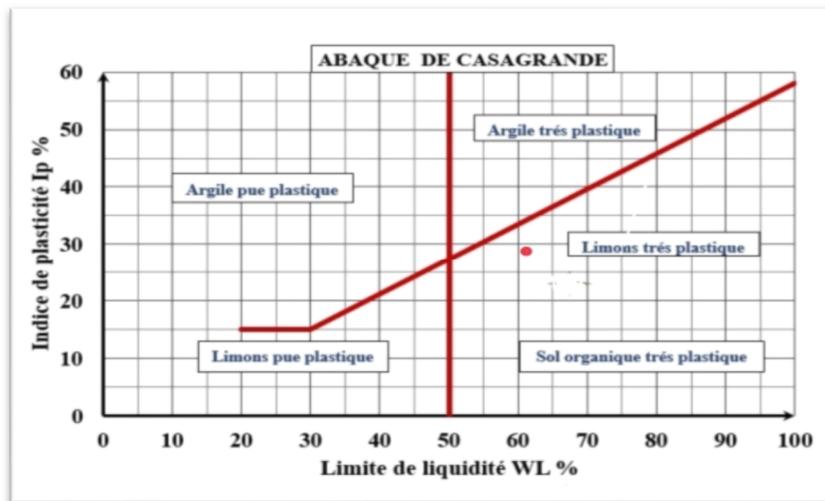


Figure III.9 : Classification IP selon l'abaque de Casagrande.

III.3.4 Essai d'évaluation de carbonates (NA-2789) CaCO₃ :

L'objectif de cet essai est la détermination du volume du (CO₂) dégagé sous l'action d'un acide. Cette opération est réalisée à l'aide d'un appareil dit 'calcimètre' (Figure III.8)

Où : w(CaCO₃) = la teneur en carbonate du sol exprimée en grammes par kilogramme, sur la base d'un sol sec.

$$w(\text{CaCO}_3) = 1000 \times \frac{M_2(V_1 - V_3)}{M_1(V_2 - V_3)} \times 100 + \frac{w(\text{H}_2\text{O})}{100}$$

M1 = la masse de l'échantillon d'analyse en grammes

Chapitre III : Présentation des essais réalisés

M_2 = la masse moyenne de la quantité de carbonate de calcium utilisée pour le calibrage, en grammes

V_1 =le volume de dioxyde de carbone développé par l'échantillon d'analyse, en ml

V_2 = le volume moyen de dioxyde de carbone développé lors des déterminations de calibrage avec du carbonate de calcium, en ml.

V_3 = le changement de volume moyen dans les vierges, en ml. (Qui peuvent également avoir une valeur négative)

$w(H_2O)$ = la teneur en humidité, exprimée comme un % de la masse de sol sec.



Figure III.10:Appareil de l'Essai d'évaluation de carbonates.

Le tableau III.4 présente les résultats de l'essai de taux de carbonates.

Tableau III.6 : Taux de carbonates présents dans l'argile.

Nature	Volume (cm ³)	Masse m_2 (g)	Teneur en calcaire (%)
Argile	25	0,11	22

III.3.5 : Essai bleu de méthylène (NFP 94-068) :

Le but d'essai bleu de méthylène est de déterminer la concentration et révéler la présence des fines de nature argileuse (degré d'argilosité).

La figure III.11 montre les différentes étapes suivies pour la détermination de la valeur VBS.

Chapitre III : Présentation des essais réalisés

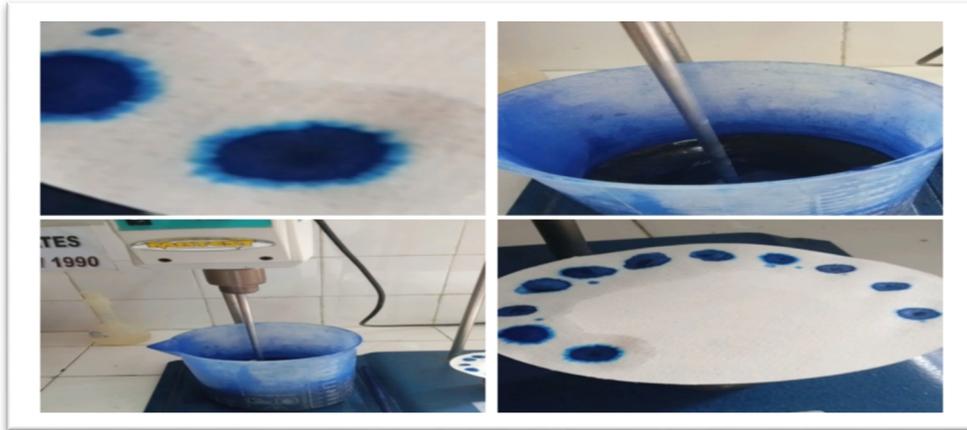


Figure III.11 : Exécution de l'essai de Bleu de méthylène : (a) ajout de la solution de BM à l'échantillon ; (b) test de tâche.

Le tableau suivant résume le résultat trouvé pour l'argile :

Tableau III.7 : Résultats de l'essai de VBS pour l'argile.

Nature	Volume (ml)	C	Fraction (%)	VBS
Argile	130	1	100	4,33

A titre d'identification le tableau représente les valeurs de bleu de quelques sols.



Figure III.12 : Valeurs de bleu de quelques sols. $2,5 < VBS < 6$ alors l'échantillon analysé est de type sol limoneux-argileux

III.4 Essais de portance :

III.4.1 Essais Proctor normal (NF P 94-093) :

Il existe plusieurs possibilités pour améliorer les propriétés mécaniques des sols perturbés. La méthode la plus économique, encore utilisée pour construire des digues, est le compactage. Le procédé vise à augmenter la masse de solides par unité de volume (qualité spécifique du sol sec) pour améliorer certaines propriétés du sol ou du remblai. Résistance mécanique accrue (stabilité), compressibilité réduite (compactage) et Réduire la perméabilité.

Chapitre III : Présentation des essais réalisés

Il existe une teneur en eau spécifique W optimale ; W_{OPN} pour le test Proctor Normal et W_{OPM} pour le test Proctor modifié, qui conduit à la valeur maximale de la densité sèche γ_d .

Le principe de l'essai consiste à mouiller le sol avec divers taux d'humidité et compacter avec un savoir-faire traditionnel et de l'énergie. Pour chaque valeur, on doit tenir compte de l'humidité, déterminer la densité sèche du sol, Un tracé de la densité en fonction de la teneur en eau. Typiquement, cette courbe, appelée courbe de Proctor, a une valeur : La valeur maximale de la densité sèche, qui est obtenue pour une valeur spécifique teneur en humidité. Ces deux valeurs sont appelées caractéristiques de compactage Proctor normal ou modifié, selon le test effectué.

On utilise pour ces essais deux types de moules de dimensions différentes :

Le moule Proctor (ϕ moule=101,6mm/H sol =117mm) lorsque le matériau est suffisamment fin (pas d'éléments supérieurs à 5mm ; $\phi \leq 5$ mm).

Le moule CBR (California Bearing Ratio) pour des matériaux de dimensions supérieures à 5mm et inférieures à 20mm (ϕ moule =152mm/H sol = 152mm). Avec chacun de ces moules, on peut effectuer (énergie normalisée de compactage choisie) respectueusement l'essai Proctor normal (pour Travaux de compactage en bâtiment et/ou de barrage) et l'essai Proctor modifié (pour Travaux de compactage routier essentiellement).



Figure III.13 : Mode opératoire de l'essai Proctor normal : (a) réglage de la dame automatique de compactage ; (b) pesée de l'échantillon ; (c) compactage automatique ; (d) pesée du moule rempli après compactage

Chapitre III : Présentation des essais réalisés

On présente dans ce qui suit les résultats d'essai Proctor normal réalisé sur l'argile naturelle (tableau III.8) :

Tableau III.8: Résultat de l'essai Proctor normal pour l'argile.

W(%)	γ_d (g/cm ³)
16,33	1,47
19,16	1,52
20,85	1,57
27,14	1,51

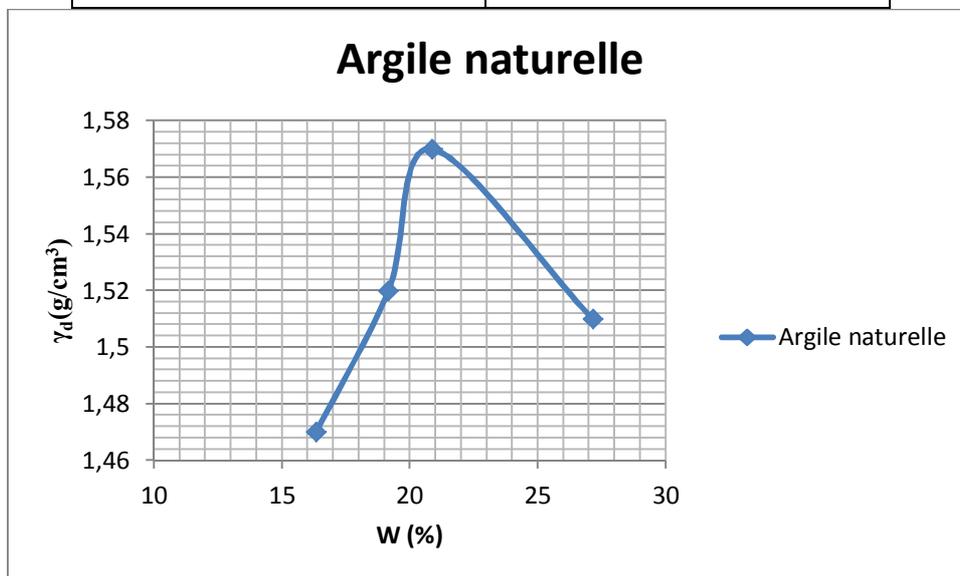


Figure III.14 : Courbe Proctor pour l'argile naturelle.

Pour les mélanges d'argile avec les différentes classes de déchets plastiques, Il faut traiter l'argile à proportion de chaux selon le test EADES&GRIM :

-Recherche de la teneur en eau optimale selon la méthode EADES&GRIM :

La méthode préférée pour la détermination de la teneur en chaux initiale est celle développée par Eades et Grim et qui est adoptée par la norme ASTM D 6276. Elle est utilisée pour déterminer le pourcentage initial de chaux qui correspond à un pH du mélange solchaux de 12.4 (le pH de la chaux). L'augmentation du pH du mélange sol-chaux-eau résulte d'une solubilité des ions ce qui permet la possibilité de développement de la réaction pouzzolanique et par conséquent la stabilisation du sol. L'étude de l'influence des pourcentages de la chaux sur le pH de l'argile est très importante pour la détermination de la teneur en chaux initiale

Chapitre III : Présentation des essais réalisés

pour assurer la modification de l'argile traitée. Les pourcentages testés pour le traitement de l'argile sont : 1%, 2%, 3%, 4%, 5% de chaux. Ainsi, les mélanges argiles-chaux sont composés comme indiqués sur le **Tableau III.9**



Figure III.15 : Echantillon d'essai pH

Tableau III.9 : Résultats de mesures de pH pour les différents mélanges

Mélanges	pH
99% argile + 1% Chaux	12,1
98% argile + 2% Chaux	12,3
97% argile + 3% Chaux	12,4
96% argile + 4% Chaux	12,5
95% argile + 5% Chaux	12,6

Les essais Proctor réalisées sur l'argile traitée à 3% de chaux sont récapitulés dans le tableau III.10.

Tableau III.10: Résultat de l'essai Proctor pour l'argile + 3% la chaux.

W (%)	γ_d (g/cm ³)
19,46	1,54
22,01	1,5587
23,82	1,5589
27,09	1,50

Chapitre III : Présentation des essais réalisés

- Ajout de déchets PVC :

Les déchets de PVC ont été ramenés d'un atelier de menuiserie. Dans la figure III.16, on montre les déchets de PVC avant et après séparation par tamisage pour former 4 classes (1,00/1,60) mm; (2,00/2,50)mm ; (2,50/3,15)mm ;(3,15/4,00)mm

Chaque catégorie de déchets a été ajoutée à raison de 1% à l'argile prétraitée à la chaux (3%). La figure III. Montre les différentes éprouvettes confectionnées lors de l'essai Proctor.

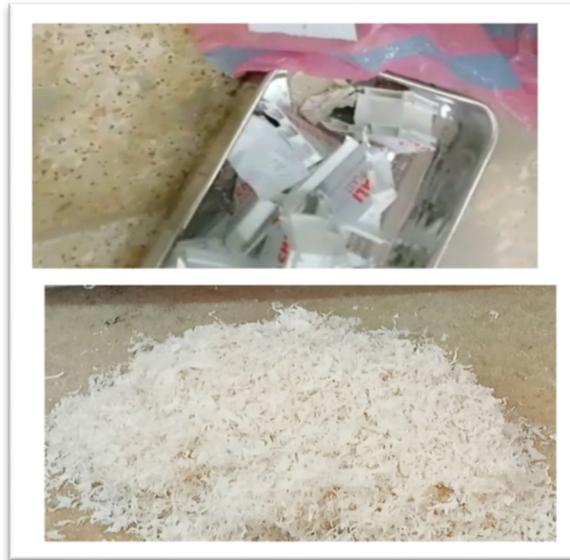


Figure III.16 : PVC avant et après broyage



Figure III.17 : essai Proctor d'un mélange

Chapitre III : Présentation des essais réalisés

Les tableaux suivants présentent les différents résultats de l'essai Proctor réalisé sur les différents mélanges

Tableau III.11: Résultat de l'essai Proctor pour l'argile + 3% la chaux +1% déchet plastique (1,00/1,60)mm

W(%)	γ_d (g/cm ³)
20,85	1,53
22,58	1,55
25,27	1,54
27,61	1,52

Tableau III.12 : Résultat de l'essai Proctor pour l'argile + 3% la chaux +1% déchet plastique (2,00/2,50)mm

W(%)	γ_d (g/cm ³)
20,00	1,53
23,02	1,5494
24,36	1,5454
26,67	1,52

Tableau III.13: Résultat de l'essai Proctor pour l'argile + 3% la chaux +1% déchet plastique (2,50/3,15)mm

W(%)	γ_d (g/cm ³)
22,58	1,49
23,47	1,5360
25,27	1,5360
27,61	1,51

Chapitre III : Présentation des essais réalisés

Tableau III.14: Résultat de l'essai Proctor pour l'argile + 3% la chaux +1% déchet plastique (3,15/4,00)mm

W(%)	γ_d (g/cm ³)
23,02	1,52
24,82	1,54
27,14	1,51
29,06	1,49

III.4.2.2 Indice CBR Imbibé (NF P 94-078) :

Les figures suivantes présentent les différentes étapes suivies pour la réalisation des essais CBR.

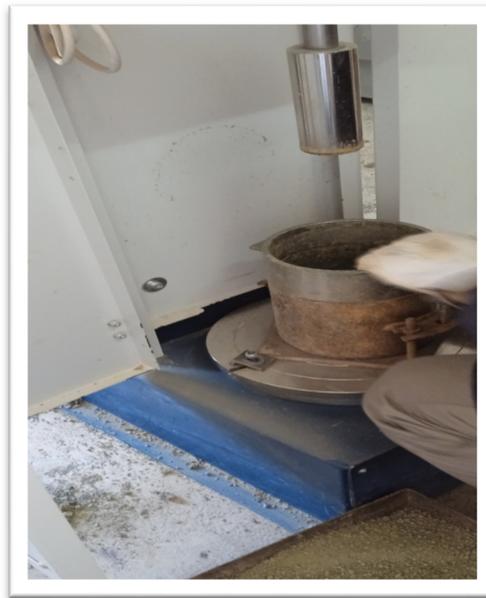


Figure III.18 : Appareil de compactage automatique pour essai CBR.

Chapitre III : Présentation des essais réalisés



Figure III.19: Pesée d'une partie de l'échantillon pour la préparation d'une couche argile pour essai CBR



Figure III.20 : Mesure le gonflement.



Figure III.22: Conservation des éprouvettes pour imbibition.

Chapitre III : Présentation des essais réalisés



Figure III.21: Essai de Poinçonnement à la Presse CBR.

Les résultats des essais CBR sont présentés dans les tableaux suivants :

Tableau III.15 : Résultat CBR Argile naturelle

Energie de compactage	10 C/C	25 C/C	56 C/C	Indice C.B.R à 95% γ_d OPM
W (%)	24,96	24,82	24,36	4,75
γ_d (t/cm ³)	1,37	1,5	1,57	
W final (%)	26,95	26,80	26,33	
Indice C.B.R	1,12	5,04	8,40	

Chapitre III : Présentation des essais réalisés

Tableau III.16 : Résultat CBR Argile +3%la chaux

Energie de compactage	10 C/C	25 C/C	56 C/C	Indice C.B.R à 95% γd OPM
W (%)	23,42	22,98	22,71	77,00
γd (t/cm ³)	1,28	1,4	1,59	
W final (%)	38,46	32,56	25,27	
Indice C.B.R	21,83	47,03	100,77	

Tableau III.17 : Résultat CBR Argile +3%la chaux+1%déchet plastique (1,00/1,60)mm

Energie de compactage	10 C/C	25 C/C	56 C/C	Indice C.B.R à 95% γd OPM
W (%)	23,42	22,98	22,58	67,15
γd (t/cm ³)	1,44	1,53	1,55	
W final (%)	33,79	32,05	30,04	
Indice C.B.R	65,50	70,54	73,90	

Tableau III.18 : Résultat CBR Argile +3%la chaux+1%déchet plastique (2,00/2,50)mm

Energie de compactage	10 C/C	25 C/C	56 C/C	Indice C.B.R à 95% γd OPM
W (%)	24,33	23,78	23,25	69,80
γd (t/cm ³)	1,39	1,47	1,54	
W final (%)	36,73	33,59	30,53	
Indice C.B.R	21,83	72,22	47,09	

Chapitre III : Présentation des essais réalisés

Tableau III.19 : Résultat CBR Argile +3%la chaux+1%déchet plastique (2,50/3,15)mm

Energie de compactage	10 C/C	25 C/C	56 C/C	Indice C.B.R à 95% γd OPM
W (%)	24,58	24,47	24,30	58,50
γd (t/cm ³)	1,40	1,48	1,54	
W final (%)	34,12	32,05	31,03	
Indice C.B.R	30,23	65,50	63,90	

Tableau III.20 : Résultat CBR Argile +3%la chaux+1%déchet plastique (3,150/4,00)mm

Energie de compactage	10 C/C	25 C/C	56 C/C	Indice C.B.R à 95% γd OPM
W (%)	25,31	25,12	24,82	62,00
γd (t/cm ³)	1,35	1,45	1,54	
W final (%)	33,97	32,56	30,29	
Indice C.B.R	48,71	60,46	75,58	

III.5 Essaimécanique

III.5.1 Essai de cisaillement rectiligne à la boîte de Casagrande (NF P 94-071-1994):

Il a été procédé également à la réalisation des essais de cisaillement à la boîte (figure III.23) sur l'argile naturelle et traitée à différentes classes de déchets plastiques.

Les échantillons ont été taillés à partir des éprouvettes confectionnées avec le procédé de Proctor normal à la teneur en eau optimale. Par manque de temps, on a effectué deux essais par mélange.

Chapitre III : Présentation des essais réalisés



Figure III.23: Appareil de cisaillement rectiligne

On présente dans les tableaux les résultats de l'essai de cisaillement réalisé sur les mélanges à trois contraintes normales (100,200 ,300) bars

Tableau III.21 : Résultats de l'essai de cisaillement Argile naturelle

Echantillon	1	2	3
Teneur en eau (%)	16,24	15,94	16,37
H (g/cm ³)	1,78	1,73	1,75
D (g/cm ³)	1,53	1,51	1,49
Ws (%)	28,36	29,05	30,24
S _R (%)	57,26	54,88	54,13
Contrainte normale (bars)	100,0	200,0	300,0
Déformation (mm)	3,5	5,0	5,0
Section (cm ²)	26,2	25,3	25,3
Force (kgf)	63,54	73,92	80,09
Contrainte de cisaillement (bars)	2,43	2,90	3,17

Chapitre III : Présentation des essais réalisés

Tableau III.22 : Résultats de l'essai de cisaillement Argile +3%la chaux

Echantillon	1	2	3
Teneur en eau (%)	17,28	16,88	16,98
H (g/cm ³)	1,64	1,68	1,69
D (g/cm ³)	1,40	1,44	1,45
Ws (%)	34,49	32,45	32,15
SR(%)	50,10	52,01	52,82
Contraintenormale (bars)	1,0	2,0	3,0
Déformation (mm)	2,0	3,0	3,5
Section (cm ²)	27,1	26,5	26,2
Force (kgf)	45,50	74,45	82,72
Contrainte de cisaillement (bars)	1,68	2,81	3,16

Tableau III.23 : Résultats de l'essai de cisaillement Argile +3%la chaux+1%déchet plastique (2,00/2,50)

Echantillon	1	2	3
Teneur en eau (%)	23	23	23
H (g/cm ³)	1,63	1,67	1,72
D (g/cm ³)	1,33	1,36	1,39
Ws (%)	38,23	36,63	34,66
SR(%)	60,17	62,79	66,36
Contraintenormale (kpa)	1,0	2,0	3,0
Déformation (mm)	3,0	2,5	4,0
Section (cm ²)	26,5	26,8	25,9
Force (kgf)	79,71	70,69	110,17
Contrainte de cisaillement (kPa)	3,01	2,64	4,25

III.5.2 Essai œdometrique (XP P94 090-1) :

L'odomètre est un dispositif qui permet d'appliquer une charge axiale sur l'éprouvette (**Figure III.24**)(**Figure III.25**) un cylindre placé dans un cylindre rigide (à déformation transversale nulle) et Mesurer sa variation ΔH de hauteur H.Habituellement immergé, en contact avec le bac de récupération.

Chapitre III : Présentation des essais réalisés



Figure III.24 : Dispositif de l'Essai œdométrique



Figure III.25: Echantillon de l'Essai œdométrique

On présente dans les tableaux les résultats de l'essai œdométrique réalisé sur les mélanges :

Tableau III.24 : Résultats de l'essai œdométrique Argile naturelle

σ (bar)	$ef=H-\Delta H/H_s$
0,013	0,85
0,07	0,85
0,18	0,84
0,46	0,83
1,025	0,82
2,145	0,79
4,95	0,74
9,45	0,7
2,145	0,72
0,46	0,75
0,07	0,78

Chapitre III : Présentation des essais réalisés

Tableau III.25 : Résultats de l'essai œdometrique Argile +3% la chaux

σ (bar)	$ef=H-\Delta H/H_s$
0,018	0,6473
0,46	0,6363
1,025	0,6262
2,145	0,6142
4,95	0,5928
9,45	0,5731
2,145	0,5831
0,46	0,5921
0,07	0,5972

III.6 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats d'essai d'identification de l'argile utilisée et de portance (Proctor et CBR) et mécanique (cisaillement et œdometrique).

Il a été question de décrire d'une façon brève les différentes étapes des essais réalisés selon les normes en vigueur. Nous avons présenté les principaux résultats des essais réalisés. Les résultats détaillés sont présentés dans les annexes.

Nous allons présenter dans le chapitre suivant l'analyse et l'interprétation des résultats trouvés.

Chapitre IV:

Résultats et discussions

Chapitre IV: Résultats et discussions

IV.1 Introduction :

Ce chapitre est consacré à l'analyse et l'interprétation des différents essais réalisés, à savoir les essais de portance (Proctor et CBR) ainsi que les essais mécaniques (Oedométriques et de cisaillement à la boîte

IV.2 Essais Proctor :

On présente sur la figure IV.1 les résultats des essais Proctor réalisés sur l'argile naturelle et les autres mélanges contenant le sol traitée à la chaux et les différentes classes de déchets PVC (1,00/1,60 mm), (2,00/2,50 mm), (2,50/3,15 mm), (3,15/4,00 mm).

Les différentes classes de PVC sont codées selon le tableau suivant :

Tableau IV.1. Classes de PVC

Classe de PVC	Code
1,00/1,60 mm	PVC1
2,00/2,50 mm	PVC2
2,50/3,15 mm	PVC3
3,15/4,00 mm	PVC4

La figure suivante (Figure IV.1) représente les courbes Proctor pour les différents mélanges.

On remarque que le traitement à la chaux ainsi que l'ajout de déchets de PVC influent à la fois sur la teneur en eau optimale et la densité sèche maximale. En effet, la chaux absorbe de l'eau, c'est la raison pour laquelle il faudra ajouter une quantité d'eau supplémentaire. Les fibres plastiques n'absorbent pas l'eau, mais cette dernière est utile pour la maniabilité du mélange. Cependant, cette quantité varie en fonction de la classe du déchet de PVC. En fait, la quantité d'eau augmente en augmentant la taille des fibres de PVC.

Concernant la densité sèche maximale, que cette mesure diminue en ajoutant la chaux et les déchets PVC. Cette diminution s'explique par le fait que l'ajout de chaux fait augmenter le volume et par conséquent une diminution de la densité du mélange. Pour les autres mélanges contenant la chaux et les fibres PVC, on remarque qu'en augmentant les dimensions des fibres PVC, les densités sèches diminuent, cela peut être lié au changement de volume également.

Chapitre IV: Résultats et discussions

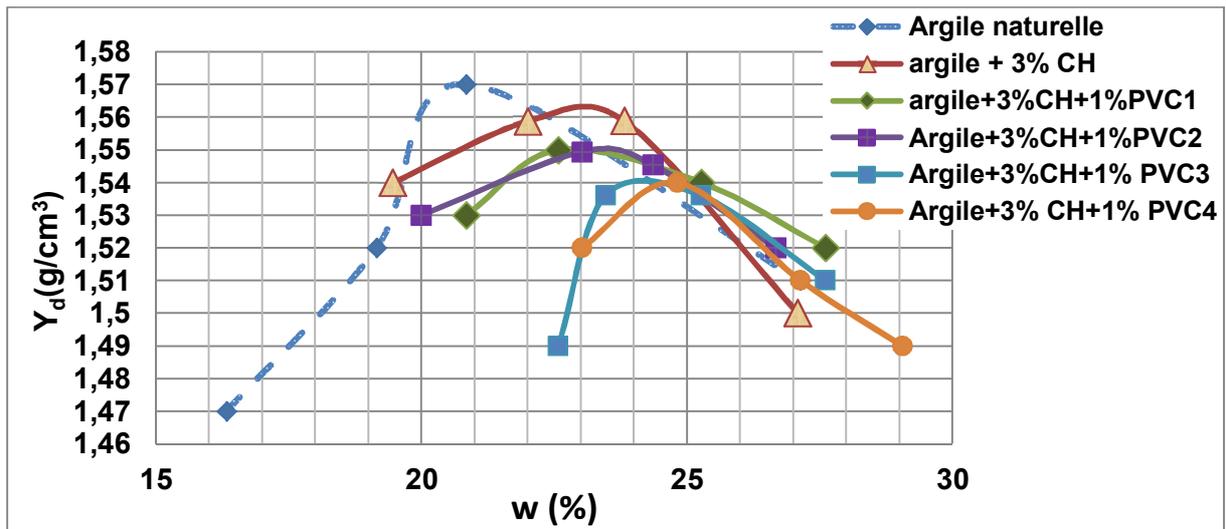


Figure IV.1 : les résultats de l'essai Proctor réalisés sur les différents mélanges

IV.3 Essais CBR:

On présente sur les figures IV.2, IV.2 et IV.4 les résultats des essais CBR immersion réalisées à différentes énergies de compactage sur les différents mélanges composés d'argile naturelle toute seule ainsi que l'argile traitée à 3% de chaux et 1% de déchets plastiques de différentes classes.

En examinant les indices CBR à 10C/C et 25 C/C obtenus à différentes énergies de compactage, on peut remarquer que les meilleurs résultats sont obtenus pour les mélanges composés d'argile traitée et des fibres de PVC. Cependant, il n'y a pas de tendance commune entre le compactage à 10C/C et 25 C/C. En effet pour la faible énergie de compactage, le meilleur indice CBR correspond à la 1^{ère} classe des fibres de PVC (1.0/1,6mm), puis on a une chute du CBR pour la classe suivante (2.0 /2,5 mm), puis ça ré-augmente en augmentant la taille des fibres de PVC. Pour le 2^{ème} niveau d'énergie, les meilleures valeurs sont obtenues pour la 1^{ère} et la 2^{ème} classe, puis une diminution pour le reste des classes. Il semble que la première classe de PVC (1.0/1,6mm) représente des fibres qui s'imbriquent bien dans les mélanges et renforcent bien la structure de l'argile.

Concernant, les valeurs CBR immersion réalisés à 56 C/C, on a remarqué que le mélange correspondant à l'argile traitée avec 3% de chaux sans ajout de fibres plastiques donne le meilleur résultat. Cependant, les mélanges contenant en plus de la chaux, les fibres PVC, donnent des résultats faibles par rapport à l'argile traitée avec la chaux. Cela peut être expliqué pour ce qu'on appelle compactage à outrance, c'est dire en réalisant un compactage intense on peut désorganiser la structure du mélange et par conséquent une chute des valeurs CBR.

Chapitre IV: Résultats et discussions

On note, quand même, que l'application d'une énergie moyenne de compactage suffira pour avoir des valeurs CBR élevées pour l'argile traitée à la chaux et renforcée avec les fibres PVC.

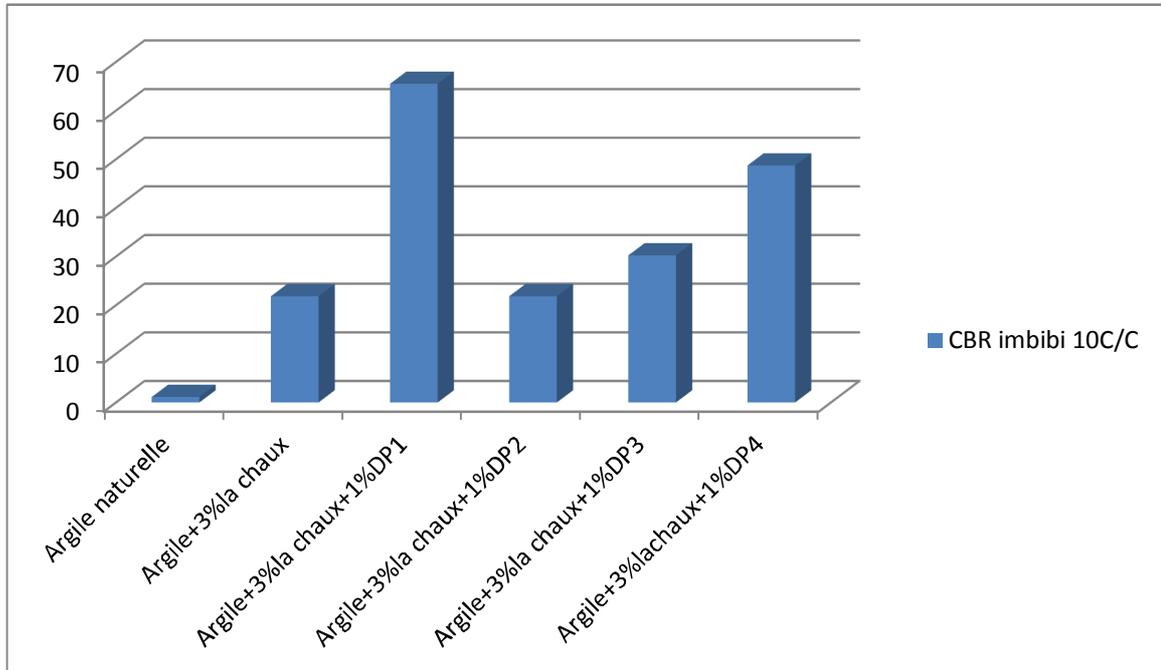


Figure IV.2: Histogrammes représentant les indices CBR à 10 C/C.

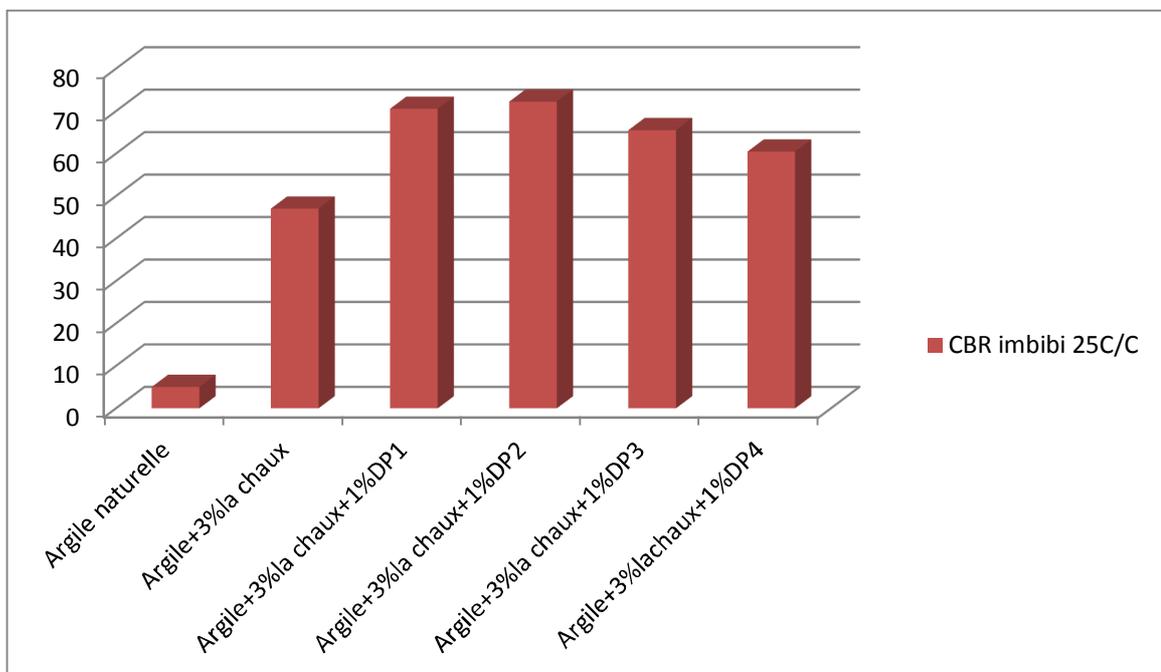


Figure IV.3 : Histogrammes représentant les indices CBR à 25 C/C.

Chapitre IV: Résultats et discussions

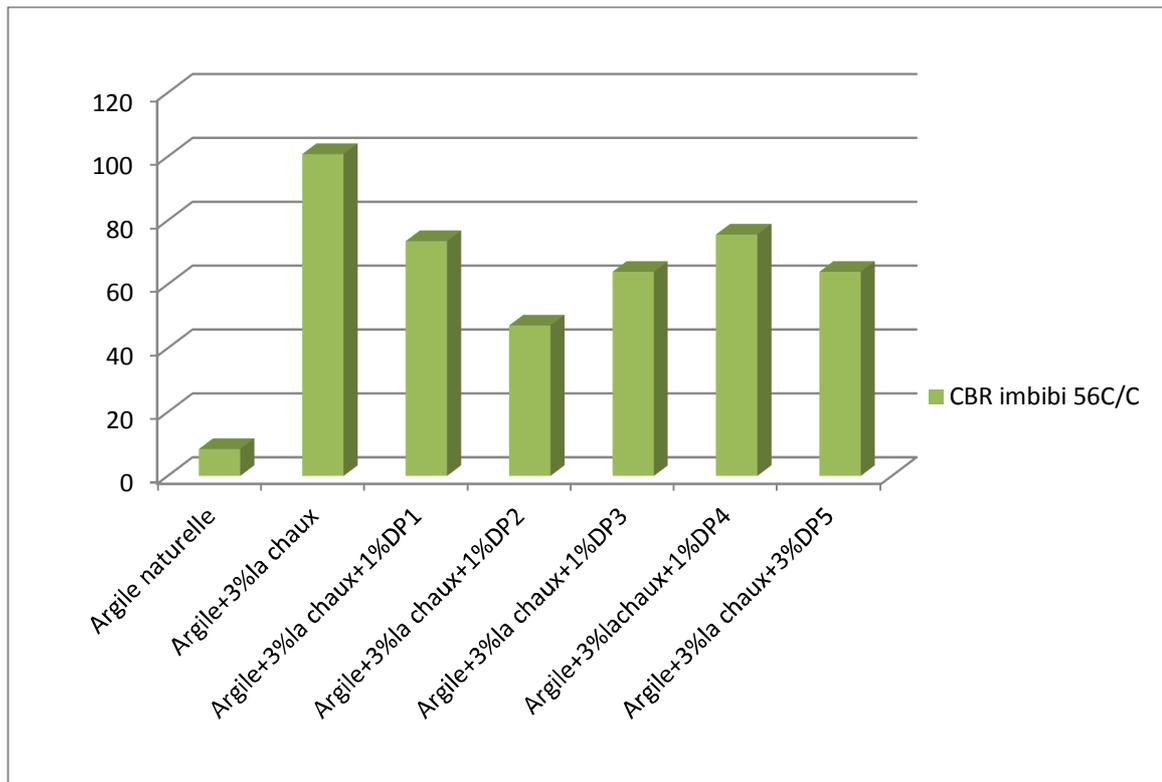


Figure IV.4 : Histogrammes représentant les indices CBR à 56 C/C.

IV.4Essais de cisaillement à la boite:

Les résultats relatifs aux essais de cisaillement à la boite en conditions UU réalisés sur l'argile, l'argile stabilisée à la chaux et le mélange contenant les fibres PVC de classe 2,00/2,50mm, sont exprimés sur le plan Contrainte tangentielle en fonction de la Contrainte Normale (Droite de Coulomb) (Figure IV.5), pour en déduire les paramètres du comportement à court terme.

On remarque que le traitement à la chaux diminue la cohésion on drainée et augmente le frottement. En ajoutant les fibres de PVC, on constate une augmentation de la cohésion pour le même angle de frottement, mais la résistance à court terme augmente également. On peut dire que l'ajout de fibres PVC renforce la structure de l'argile traitée à la chaux et améliore le comportement à court terme.

Chapitre IV: Résultats et discussions

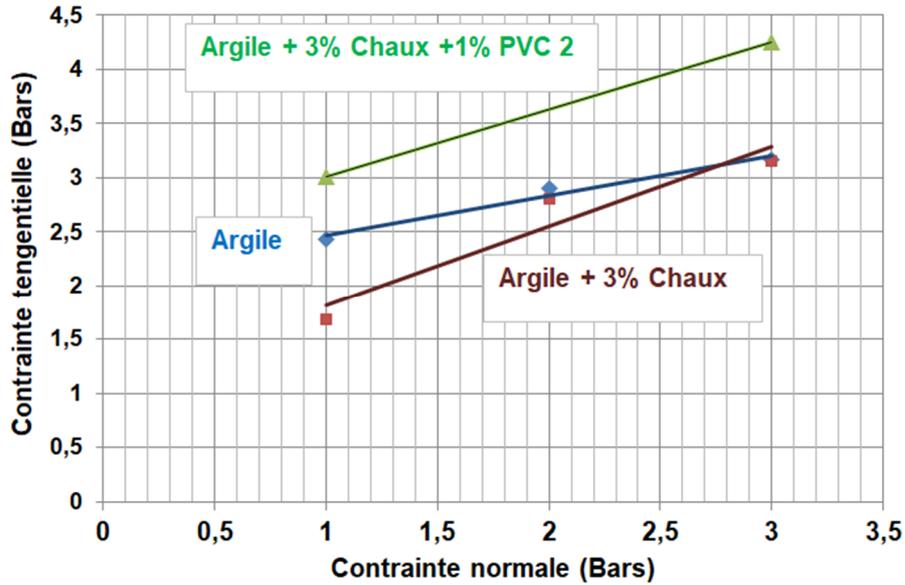


Figure IV.5 : Courbes intrinsèques des différents mélanges

IV.5 Essais Œdométrique:

Les essais de compressibilité à l'odomètre permettent de voir l'évolution de l'indice de gonflement et l'indice de compression suite au traitement à la chaux et renforcement avec les déchets de PVC.

D'après la figure IV.6, on remarque qu'en traitant l'argile avec 3% de chaux, la forme de la courbe de compressibilité change ainsi les pentes correspondantes à l'indice de gonflement et de compression diminuent, ce qui montre l'influence de l'agent de traitement sur le comportement de l'argile. L'ajout de fibres plastiques fait diminuer davantage les indices de compression et de gonflement, ce qui montre l'efficacité de la stabilisation combinée (traitement chimique et renforcement avec les fibres de verre)

Le tableau IV.2 résume les valeurs des indices de compression et de gonflement des différents mélanges.

Tableau IV.1. Indices de gonflement et de compression pour les différents mélanges

Mélanges	Indice de comp. (Ct)	Indice de Gonflement (Cg)
Argile naturelle	0.153	0.037
Argile + 3% de chaux	0.064	0.011
Argile + 3% de chaux + 1%PVC 2	0.005	0.001

Chapitre IV: Résultats et discussions

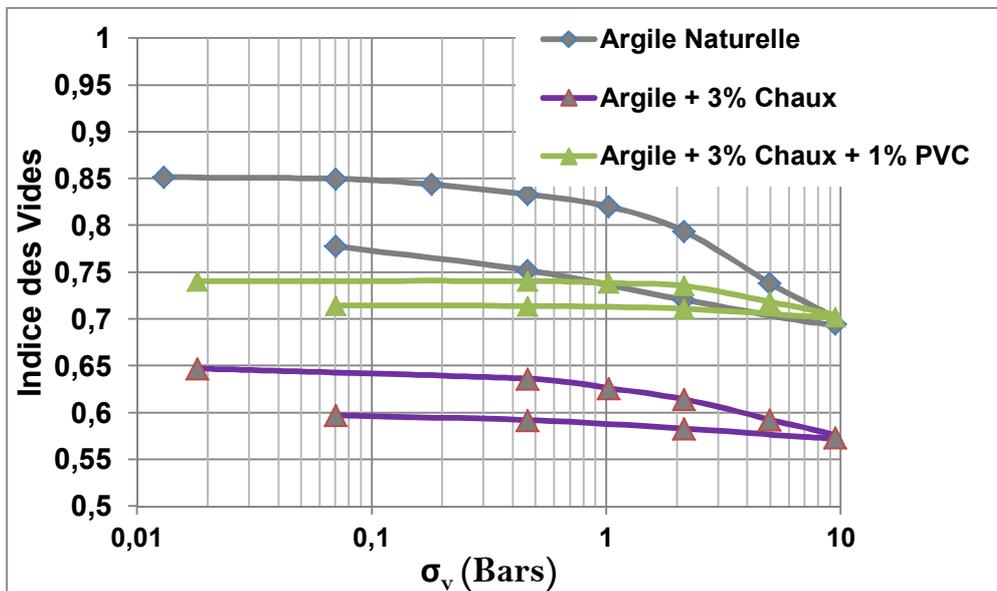


Figure IV.5 : Courbes de compressibilité des différents mélanges

IV.5 Conclusion :

L'analyse des résultats trouvés a permis de mettre en valeur l'intérêt de l'ajout des fibres plastiques sur les propriétés géotechniques d'une argile prétraitée à la chaux. L'ajout de fibres plastiques permet d'améliorer la portance de l'argile prétraitée à la chaux en appliquant une faible ou moyenne énergie de compactage. Pour le comportement à court terme, la résistance au cisaillement est augmentée en renforçant la structure de l'argile par des fibres plastiques de type PVC.

Conclusions Générales

Conclusions Générales

Les sols argileux ont tendance à gonfler lorsqu'ils sont mouillés et à se contracter lorsqu'ils sèchent, ce qui peut entraîner des problèmes tels que des mouvements de terrain, des fissures dans les structures de construction et des déformations des chaussées, d'où la nécessité de les stabiliser pour améliorer leurs propriétés géotechniques. Parmi les procédés de stabilisation, on a le traitement chimique à la chaux qui permet de réduire le gonflement de l'argile et d'augmenter la résistance de l'argile à long terme. Le travail réalisé consistait à combiner ce procédé avec un renforcement de la structure de l'argile avec des fibres plastiques de type PVC, dans le but d'obtenir un matériau plus stable et non sensible au changement de la teneur en eau.

Dans l'étude expérimentale, on a utilisé deux types d'essais : les essais de portance comportant Proctor et CBR ainsi que les essais mécaniques comportant le cisaillement direct et la compressibilité à l'oedomètre.

Pour les essais Proctor, il a été trouvé que la teneur en eau optimale augmente en ajoutant la chaux et les déchets de PVC et cela en fonction de la taille des fibres plastiques ajoutées. Cependant, la densité sèche maximale diminue en ajoutant la chaux et les déchets PVC.

Concernant les essais CBR immersion réalisés avec des énergies faible et moyenne de compactage, il a été trouvé que les mélanges contenant l'argile traitée et les fibres PVC donnent des résultats intéressants, étant donné que ces mélanges sont facilement compactables pour atteindre une portance acceptable. Pour un compactage intense, il semble que la combinaison du traitement à la chaux et le renforcement de la structure avec des fibres plastiques n'est pas appropriée avec une proportion de 1% et des dimensions comprises entre 1 et 4 mm.

Les essais de cisaillement à la boîte en conditions non consolidé non drainé (UU) ont mis en évidence l'influence de la combinaison du traitement et du renforcement avec des fibres PVC sur les paramètres du comportement des argiles à court terme. En effet, le procédé examiné fait augmenter la résistance de l'argile à court terme.

Les essais œdométrique ont montré également l'influence de ce procédé sur le gonflement et la compression des argiles plastiques.

A travers cette étude expérimentale, on peut conclure que le traitement de l'argile avec la chaux et le renforcement de sa structure par ajout de déchets PVC constitue une solution technique intéressante pour l'amélioration du comportement des sols argileux.

Durant notre travail, on a été confronté au problème d'approvisionnement de l'argile utilisée comme matériau de référence, car les essais utilisés exigent des quantités importantes du matériau de base, c'est la raison pour laquelle on n'a pas réalisé notre campagne expérimentale telle qu'elle a été projetée au début.

Perspectives

Concernant la continuité de ces travaux de recherche, nous proposons d'examiner les points suivants :

- Etudier l'effet des dimensions des fibres plastiques de type PVC ;
- Réduire le pourcentage de la chaux 1% au lieu de 3% pour faire des économies sur le coût du traitement, d'une part et mettre en valeur l'ajout de déchets PVC d'autre part ;
- Etudier l'effet de temps de cure sur l'évolution de la résistance des éprouvettes confectionnés avec de l'argile prétraitée et les fibres plastiques, à 30, 60 et 90 jours.
- Réaliser des essais de compression simple sur des éprouvettes cylindriques ;
- Effectuer des essais de durabilité sur les différents mélanges pour simuler des cas extrêmes plus défavorables.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Aubry J (2014) les matières plastique. Document technologies des matériaux.

BALOU B, (2009).Support de cours de matières plastique, DEA de Géo matériaux, Université de Cocody-Abidjan.

BELOUIZDAD Mohammed,(2020) les déchets plastique en Algérie, regard croise sur les plastiques à usage unique.

Calvet, Raoul. 2003.Le sol : propriétés et fonctions. Tome 1: Constitution et structure

CHARMET J.C (2015) mécanique du solide et des matériaux : Elasticité-plasticité-Rupture. Support de cours de l'enseignant de l'ESPCI Paris-Tech.

Coulibaly M, (2008).Modélisation micromécanique et caractérisation expérimentale du comportement des matériaux hétérogènes élastovisco-plastique. Application à la valorisation des polymères recyclés. Thèse Université Paul Verlaine de Metz

De particules déchet plastique, Mémoire de master, Université IBN Khaldoun Tiaret, (2023)

DJEDID.Abdelkader : Sols L'Identification des sols gonflants : Pour une démarcheUnifiée.24ième Rencontres Universitaires de Génie Civil (AboubekrBelkair)

Doublier G (2008). Dossier « les plastique ».

Etude sur site unité Maghreb céramique de Touggourt ; Mémoire de Magister, Université de

Gervais,(2010) ; CSEMP, 2004 ; Society of plastique Engainées, 2008 ; HANNE QURTE, 2004)

HARRAT, Mohamed, Contribution à l'amélioration du procédé de fabrication de la céramique :

Karim, (2019); Caractérisation des Déchetsménagers et assimilés campagne nationale 2018/2019

KasdiMerbah Ouargla, 2007.'RAIM Tarek, Amélioration de la portance des argiles par l'ajout

LECOMTE-BECKERS J, (2009a).Physique des matériaux: partie polymère

MARC F, (2016) les plastique .cours du Module M227 Matériaux de Cachan, Université de Paris Sud

Materials. Mc Craw Hill, pp.204-277.

Mécanique des roches argileuses » thèse de doctorat. France.

Phénomènes aux interfaces. Paris (France) : Editions France Agricole, Dunod, 2003.

Références bibliographiques

R.E.(1962) Clay mineralogy in relation to the Engineering properties of clay

SEYNI, (2008) Propriétés physico-chimiques et d'usage de matériaux composites à charge dégradable produits par Co-broyage. Thèse de l'université de Toulouse.164p.

VIVIER F, (2006) les Polymères. Travaux Pratique IUT Créteil-Vitry. Mesures Physiques

WAKIM J, (2005) : « Influence des solutions aqueuses sur le comportement

WEGHE P.V(2011) Cours polymères L3 .Université de Rennes 1.29 p

Weiss, (2009) la chimie des polymères, Support de cours, Université Médicale Vietuelle Francophone .17p.

S1: <https://www.lesechos.fr/monde/enjeux-internationaux/plastique-la-production-de-dechets-semballe-sur-planete-1388754>

Annexes

Annexe 01: Essais de portance

Essai de Portance

Essai Proctor

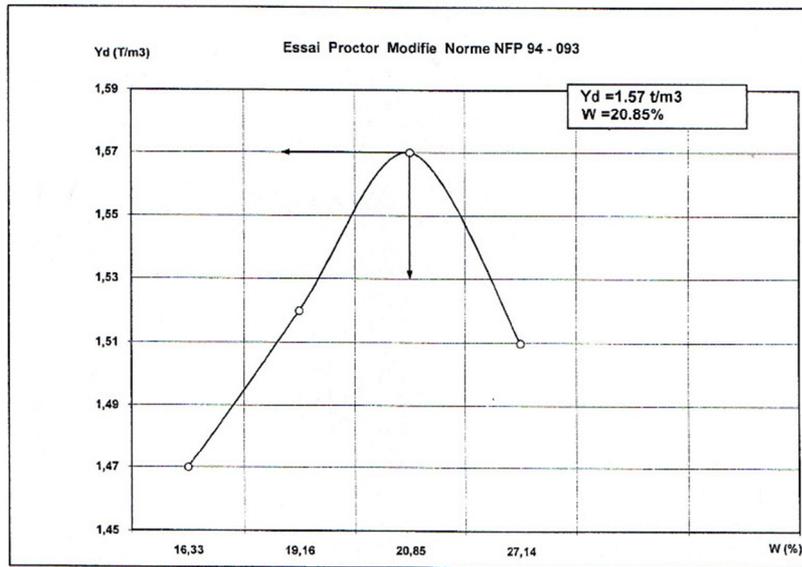
❖ Argilénaturelle :

N° de l'échantillon :

Poids d'eau ajoutée à..... chaque compactage.....	18%	20%	22%	24%
Poids total humide g.....	5205	5301	5383	5404
Poids du moule g.....	3583	3583	3583	3583
Poids du sol humide g.....	1622	1718	1800	1821
Poids du sol sec g.....	1394,38	1441,81	1489,24	1432,33
Volume du moule.....	948,56	948,56	948,56	948,56
Densité sèche t/m ³	1,47	1,52	1,57	1,51
N° de la tare.....	1	2	3	4
Poids total humide g.....	400	400	400	400
Poids total sec g.....	352	345	341	327
Poids de la tare g.....	58	58	58	58
Poids de l'eau g.....	48	55	59	73
Poids du sol sec g.....	294	287	283	269
Teneur en eau %.....	16,33	19,16	20,85	27,14
Moyenne.....				

L.T.P.O. - Unité de TIARET

Client :	05/02/2023
Projet :	ETUDE DE SOL ARGILE VERDATRE GISEMENT DE GUARTOUFA.
Lieu :	0
Dossier :	0
Prvlment :	P1 + P2 +P3
Nature :	ARGIL VERDATRE GISEMENT DE GUERTOUFA.
Eléments>à 20mm < 30% (0,00%)	



Le chef de service :
S.HAMRELAINE

F5-14

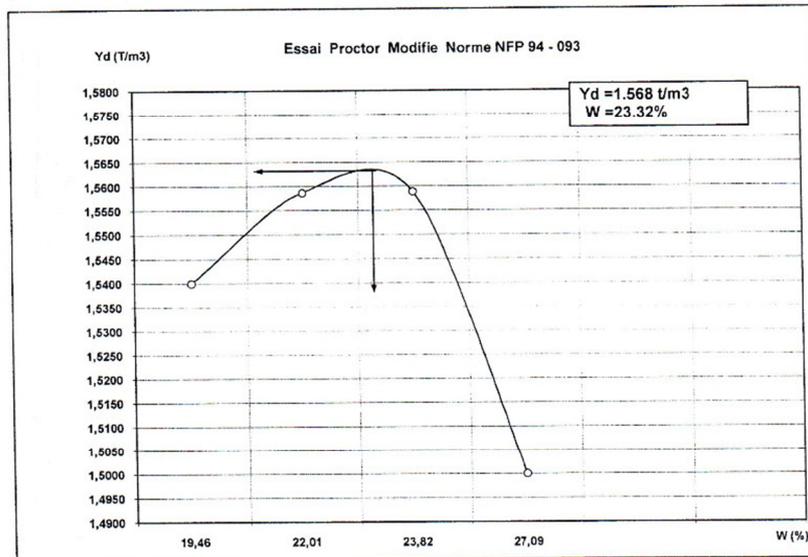
❖ Argile +3% la chaux :

N° de l'échantillon :

Poids d'eau ajoutée à..... chaque compactage.....	20%	22%	24%	26%
Poids total humide g.....	5328	5387	5414	5391
Poids du moule g.....	3583	3583	3583	3583
Poids du sol humide g.....	1745	1804	1831	1808
Poids du sol sec g.....	1460,78	1478,52	1478,71	1422,84
Volume du moule.....	948,56	948,56	948,56	948,56
Densité sèche t/m3.....	1,54	1,5587	1,5589	1,50
N° de la tare.....	1	2	3	4
Poids total humide g.....	400	400	400	400
Poids total sec g.....	344,3	338,3	334,2	327,1
Poids de la tare g.....	58	58	58	58
Poids de l'eau g.....	55,7	61,7	65,8	72,9
Poids du sol sec g.....	286,3	280,3	276,2	269,1
Teneur en eau %.....	19,46	22,01	23,82	27,09
Moyenne.....				

L.T.P.O. - Unité de TIARET

Client :		05/03/2023
Projet :	ETUDE DE SOL ARGILE VERDATRE GISEMENT DE GUARTOUFA TRAITÉ PAR LA CHAUX A 3 %	
Lieu :	0	
Dossier :	0	
Prvment :	ARGIL VERDATRE	
Nature :	ARGIL VERDATRE GISEMENT DE GUERTOUFA.	
Eléments > à 20mm < 30% :	0,00%	



Le chef de service :
S.HAMRELAINE

F5-14

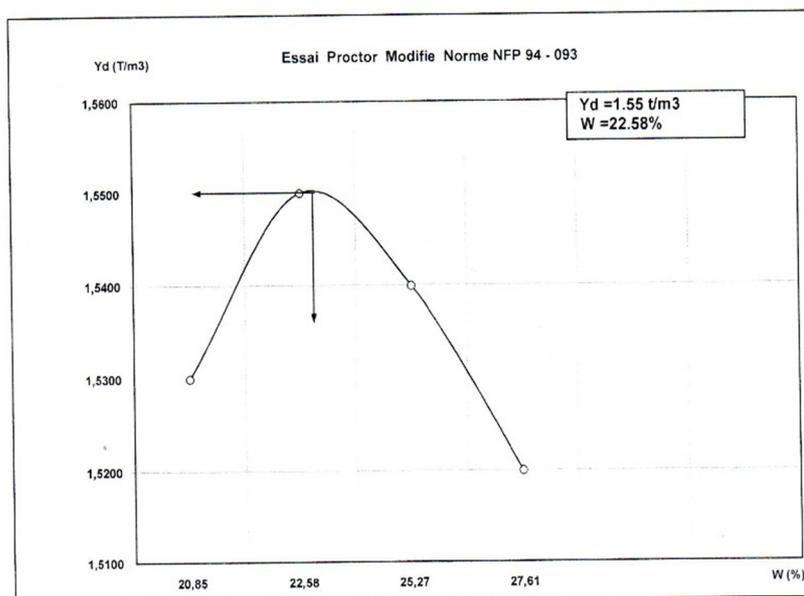
❖ Argile +3% la chaux +1% déchet plastique (1,00 /1,60) mm

N° de l'échantillon :

Poids d'eau ajoutée à..... chaque compactage.....	21%	22%	24%	26%
Poids total humide g.....	5337	5385	5413	5423
Poids du moule g.....	3583	3583	3583	3583
Poids du sol humide g.....	1754	1802	1830	1840
Poids du sol sec g.....	1451,30	1470,27	1460,78	1441,81
Volume du moule.....	948,56	948,56	948,56	948,56
Densité sèche t/m3.....	1,53	1,55	1,54	1,52
N° de la tare.....	1	2	3	4
Poids total humide g.....	400	400	400	400
Poids total sec g.....	341	337	331	326
Poids de la tare g.....	58	58	58	58
Poids de l'eau g.....	59	63	69	74
Poids du sol sec g.....	283	279	273	268
Teneur en eau %.....	20,85	22,58	25,27	27,61
Moyenne.....				

L.T.P.O. - Unité de TIARET

Client :		15/03/2023
Projet :	ARGILE VERDATRE GISEMENT DE GUARTOUFA TRAITE PAR LA CHAUX A 3 %+1% PLASTIQUE(1,00/1,60)mm	
Lieu :	0	
Dossier :	0	
Prvment :	ARGIL VERDATRE	
Nature:	ARGIL VERDATRE GISEMENT DE GUERTOUFA.	
Eléments>à 20mm < 30% (0,00%)		



Le chef de service :
S.HAMRELAINE

F5-14

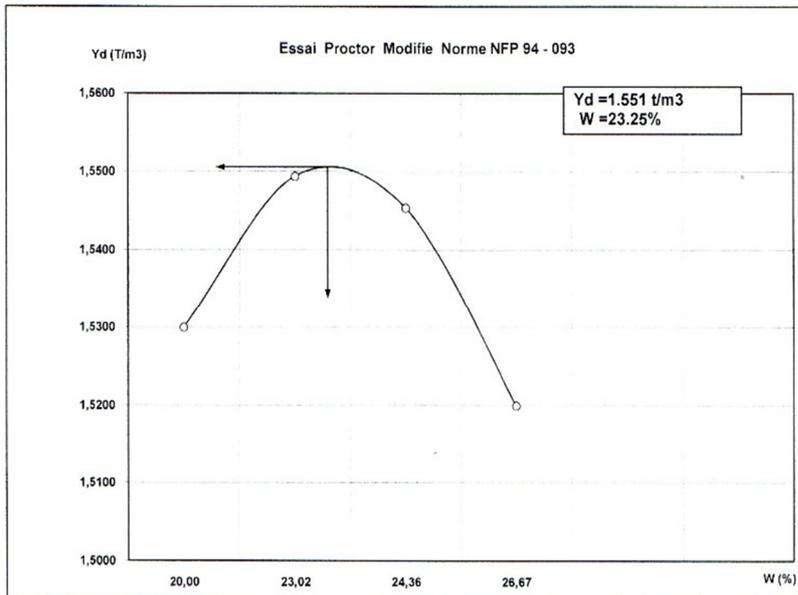
❖ Argile +3% la chaux +1% déchet plastique (2,00 /2,50) mm

N° de l'échantillon :

Poids d'eau ajoutée à..... chaque compactage.....	21%	22%	24%	26%
Poids total humide g.....	5325	5391	5406	5409
Poids du moule g.....	3583	3583	3583	3583
Poids du sol humide g.....	1742	1808	1823	1826
Poids du sol sec g.....	1451,30	1469,70	1465,90	1441,81
Volume du moule.....	948,56	948,56	948,56	948,56
Densité sèche t/m3.....	1,53	1,5494	1,5454	1,52
N° de la tare.....	1	2	3	4
Poids total humide g.....	400	400	400	400
Poids total sec g.....	343	336	333	328
Poids de la tare g.....	58	58	58	58
Poids de l'eau g.....	57	64	67	72
Poids du sol sec g.....	285	278	275	270
Teneur en eau %.....	20,00	23,02	24,36	26,67
Moyenne.....				

L.T.P.O. - Unité de TIARET

Client :	15/03/2023
Projet :	ARGILE VERDATRE GISEMENT DE GUARTOUFA TRAITÉ PAR LA CHAUX A 3 %+1% PLASTIQUE(2,00/2,50)mm
Lieu :	0
Dossier :	0
Privment :	ARGIL VERDATRE
Nature :	ARGIL VERDATRE GISEMENT DE GUERTOUFA.
Eléments >à 20mm < 30% (0,00%)	



Le chef de service :
S.HAMRELAINE

F5-14

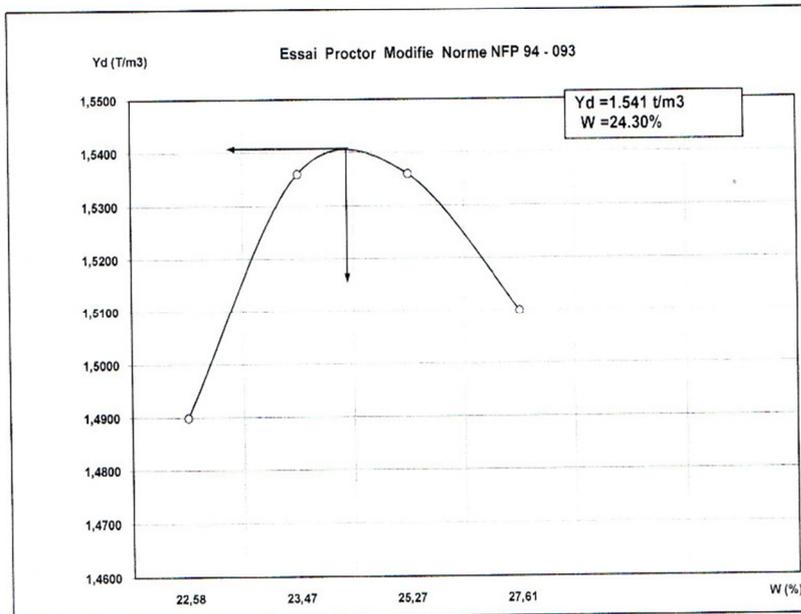
❖ Argile +3% la chaux +1% déchet plastique (2,50 /3,15) mm

N° de l'échantillon :

Poids d'eau ajoutée à..... chaque compactage.....	21%	22%	24%	26%
Poids total humide g.....	5315	5382	5408	5411
Poids du moule g.....	3583	3583	3583	3583
Poids du sol humide g.....	1732	1799	1825	1828
Poids du sol sec g.....	1413,35	1456,99	1456,99	1432,33
Volume du moule.....	948,56	948,56	948,56	948,56
Densité sèche t/m3.....	1,49	1,5360	1,5360	1,51
N° de la tare.....	1	2	3	4
Poids total humide g.....	400	400	400	400
Poids total sec g.....	337	335	331	326
Poids de la tare g.....	58	58	58	58
Poids de l'eau g.....	63	65	69	74
Poids du sol sec g.....	279	277	273	268
Teneur en eau %.....	22,58	23,47	25,27	27,61
Moyenne.....				

L.T.P.O. - Unité de TIARET

Client :	15/03/2023
Projet :	ARGILE VERDATRE GISEMENT DE GUARTOUFA TRAITÉ PAR LA CHAUX A 3%+1% PLASTIQUE(2,50/3,15)mm
Lieu :	0
Dossier :	0
Prlyment :	ARGIL VERDATRE
Nature :	ARGIL VERDATRE GISEMENT DE GUERTOUFA.
Eléments >à 20mm < 30%	(0,00%)



Le chef de service :
S.HAMRELAINE

F5-14

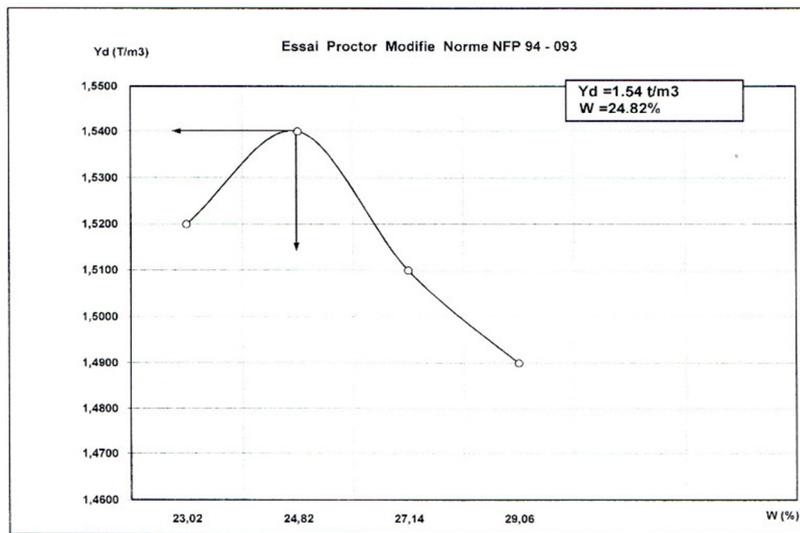
❖ Argile +3% la chaux +1% déchet plastique (3,150/4,00) mm

N° de l'échantillon :

Poids d'eau ajoutée à..... chaque compactage.....	21%	22%	24%	26%
Poids total humide g.....	5357	5406	5404	5407
Poids du moule g.....	3583	3583	3583	3583
Poids du sol humide g.....	1774	1823	1821	1824
Poids du sol sec g.....	1441,81	1460,78	1432,33	1413,35
Volume du moule.....	948,56	948,56	948,56	948,56
Densité sèche t/m3.....	1,52	1,5400	1,5100	1,49
N° de la tare.....	1	2	3	4
Poids total humide g.....	400	400	400	400
Poids total sec g.....	336	332	327	323
Poids de la tare g.....	58	58	58	58
Poids de l'eau g.....	64	68	73	77
Poids du sol sec g.....	278	274	269	265
Teneur en eau %.....	23,02	24,82	27,14	29,06
Moyenne.....				

L.T.P.O. - Unité de TIARET

Client :	15/03/2023
Projet :	ARGIL VERDATRE GISEMENT DE GUARTOUFA TRAITÉ PAR LA CHAUX A 3 % + 1% PLASTIQUE (3,15/4,00)mm
Lieu :	0
Dossier :	0
Prélevement :	ARGIL VERDATRE
Nature :	ARGIL VERDATRE GISEMENT DE GUERTOUFA.
Eléments > à 20mm < 30% :	(0,00%)



Le chef de service :
S.HAMRELAINE

F5-14

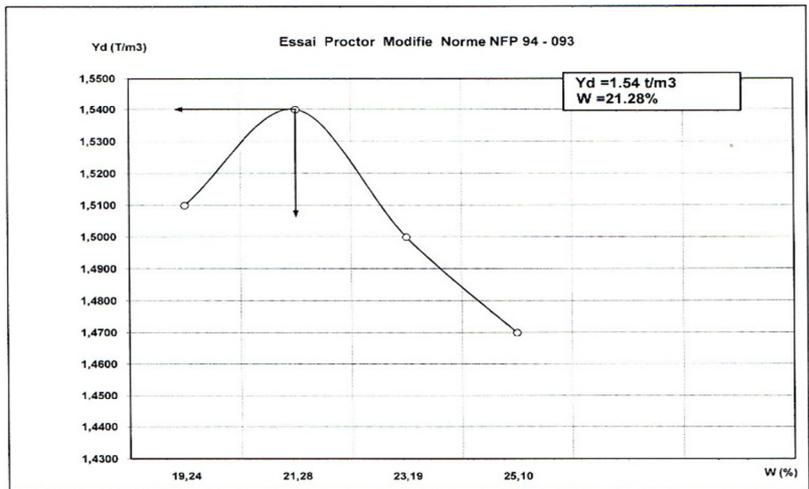
❖ Argile +3% la chaux +3%déchet plastique (2,00 /2,50) mm

N° de l'échantillon :

Poids d'eau ajoutée à..... chaque compactage.....	21%	22%	24%	26%
Poids total humide g.....	14720	14862	14820	14801
Poids du moule g.....	10914	10914	10914	10914
Poids du sol humide g.....	3806	3948	3906	3887
Poids du sol sec g.....	3192,14	3255,56	3171,00	3107,58
Volume du moule.....	2114	2114	2114	2114
Densité sèche t/m3.....	1,51	1,5400	1,5000	1,47
N° de la tare.....	1	2	3	4
Poids total humide g.....	400	400	400	400
Poids total sec g.....	344	340	336	334
Poids de la tare g.....	53	58	60	71
Poids de l'eau g.....	56	60	64	66
Poids du sol sec g.....	291	282	276	263
Teneur en eau %.....	19,24	21,28	23,19	25,10
Moyenne.....				

L.T.P.O. - Unité de TIARET

Client :	.	21/03/2023
Projet :	ARGILE VERDATRE GISEMENT DE GUARTOUFA TRAITÉ PAR LA CHAUX A 3 %+3% PLASTIQUE(2,00/2,50)mm	
Lieu :	0	
Dossier :	0	
Privment :	ARGIL VERDATRE	
Nature :	ARGIL VERDATRE GISEMENT DE GUERTOUFA.	
Eléments >à 20mm < 30%	(0,00%)	



Le chef de service :
S.HAMRELAINE

F5-14

Essai CBR

➤ **Argilénaturelle :**

	poids de moule vide (g)	poids moule+éch (g)	w% CBR	pd (t/m ³)	g.comp		w% finale	valeur de gonflement (mm)	temps min	1	1,4	2	4	6	8	indice portant à 2,5 mm	indice portant à 5 mm
					0 jours	4 jours				1,25	2	2,5	5	7,5	10		
56 coups	7197	11665	24,36	1,57	//	//	26,33	//	défi	0,02	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11	8,40	7,85
									force totale	//	//	1,12	1,57	//	//		
25 coups	7151	11458	24,82	1,50	//	//	26,8	//	défi	0	0	0,03	0,04	0,03	0,04	5,04	4,48
									force totale	//	//	0,67	0,9	//	//		
10 coups	7255	11180	24,96	1,37	//	//	26,95	//	défi	0	0	0	0,01	0,01	0,02	0,00	1,12
									force totale	//	//	0,000	0,224	//	//		

* indice portant à 2,5 mm = (Effort de pénétration à 2,5 mm d'enfocement) / 13,35 x 100

* indice portant à 5 mm = (Effort de pénétration à 5 mm d'enfocement) / 20 x 100

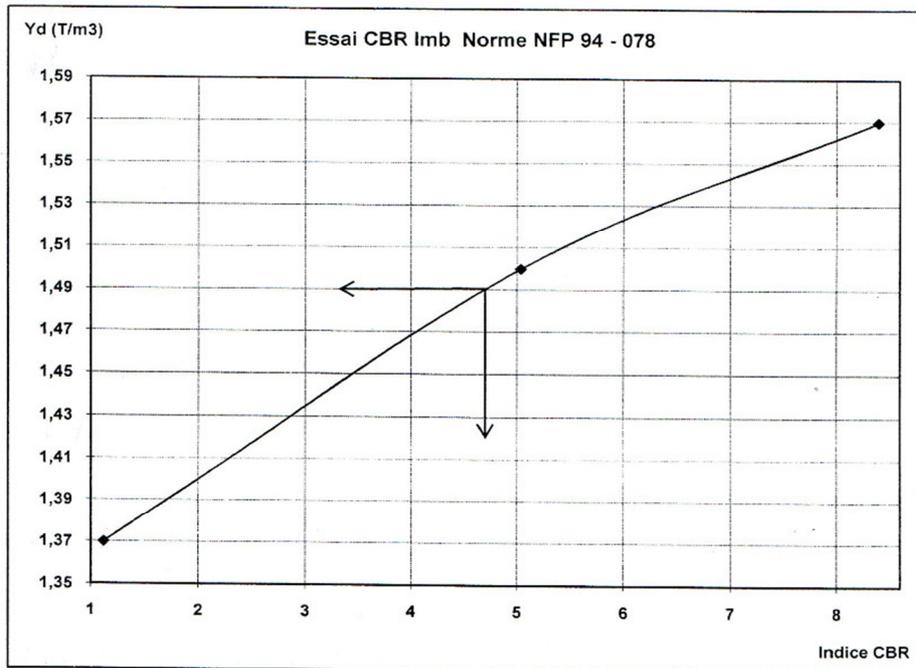
Date d'essai :

Le chef de service :
S.HAMRELAINE

L'opérateur:

P.O - UNITE DE TIARET

Client :	.	date: 05/02/2023
Projet :	ETUDE DE SOL ARGILE VERDATRE GISEMENT DE GUARTOUFA.	
Lieu :	0	
Dossier :	0	
Prélevement :	P1 + P2 +P3	



Energie de compactage	10 c/c	25 c/c	56 c/c	Indice C.B.R à 95% yd OPM
W%	24,96	24,82	24,36	4,75
Y d (t/m3)	1,37	1,5	1,57	
Imbibition a 4 jours	//	//	//	
W final (%)	26,95	26,80	26,33	
Gonflement	//	//	//	
Indice C.B.R	1,12	5,04	8,40	

Le chef de service :
S.HAMRELAINE

F5-14

➤ Argile +3% la chaux :

	poids de moule vide (g)	poids moule+éch (g)	w% CBR	pd (t/m3)	g, comp		w% finale	valeur de gonflement (mm)	temps min	1 1,4 2 4 6 8						indice portant à 2,5 mm	indice portant à 5 mm
					0 jours	4 jours				1,25	2	2,5	5	7,5	10		
56 coups	10827	14955	22,71	1,59	//	//	25,27	//	défl	0,35	0,53	0,6	0,7	0,87	0,95	100,77	78,48
									force totale	//	//	13,45	15,70	//	//		
25 coups	10836	14474	22,98	1,40	//	//	32,56	//	défl	0,1	0,22	0,28	0,34	0,38	0,41	47,03	38,12
									force totale	//	//	6,28	7,6	//	//		
10 coups	10916	14243	23,42	1,28	//	//	38,46	//	défl	0,08	0,1	0,13	0,16	0,2	0,23	21,83	17,94
									force totale	//	//	2,915	3,587	//	//		

* indice portant à 2,5 mm = (Effort de pénétration à 2,5 mm d' enfocement) / 13,35 x 100

* indice portant à 5 mm = (Effort de pénétration à 5 mm d' enfocement) / 20 x 100

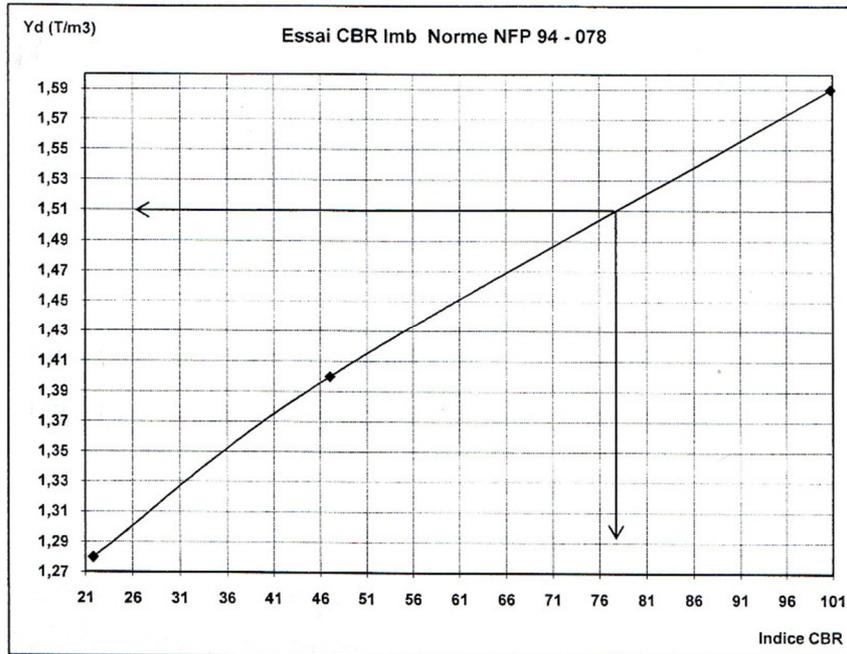
Date d'essai :

Le chef de service :
S.HAMRELAINE

L'opérateur:

D - UNITE DE TIARET

ent :	.	date:	05/03/2023
rojet :	ETUDE DE SOL ARGILE VERDATRE GISEMENT DE GUARTOUFA TRAITE PAR LA CHAUX A 3		
Lieu :	0		
Dossier :	0		
Prélevement :	ARGIL VERDATRE		



Energie de compactage	10 c/c	25 c/c	56 c/c	Indice C.B.R à 95% yd OPM
W%	23,42	22,98	22,71	77,00
Y d (t/m3)	1,28	1,4	1,59	
Imbibition a 4 jours	//	//	//	
W final (%)	38,46	32,56	25,27	
Gonflement	//	//	//	
Indice C.B.R	21,83	47,03	100,77	

Le chef de service :
S.HAMRELAINE

F5-14

➤ Argile +3% la chaux +1% déchet plastique (1,00/1,60) mm

	pois de moule vide (g)	pois moule+ éch (g)	w% CBR	pd (t/m ³)	g.comp		w% finale	valeur de gonflement (mm)	temps min		indice portant à 2,5 mm	indice portant à 5 mm					
					0 jours	4 jours			enforce-ment (mm)								
56 coups																	
	10963	15004	22,58	1,55	//	//	30,04	//	défl	0,25	0,4	0,44	0,53	0,61	0,77	73,90	59,42
									force totale	//	//	9,87	11,88	//	//		
25 coups																	
	10895	14874	22,98	1,53	//	//	32,05	//	défl	0,27	0,38	0,42	0,48	0,73	0,62	70,54	53,81
									force totale	//	//	9,42	10,8	//	//		
10 coups																	
	10916	14807	23,42	1,44	//	//	33,79	//	défl	0,11	0,14	0,39	0,45	0,28	0,31	65,50	50,45
									force totale	//	//	8,744	10,09	//	//		

* indice portant à 2,5 mm = (Effort de pénétration à 2,5 mm d' enfocement) / 13,35 x 100

* indice portant à 5 mm = (Effort de pénétration à 5 mm d' enfocement) / 20 x 100

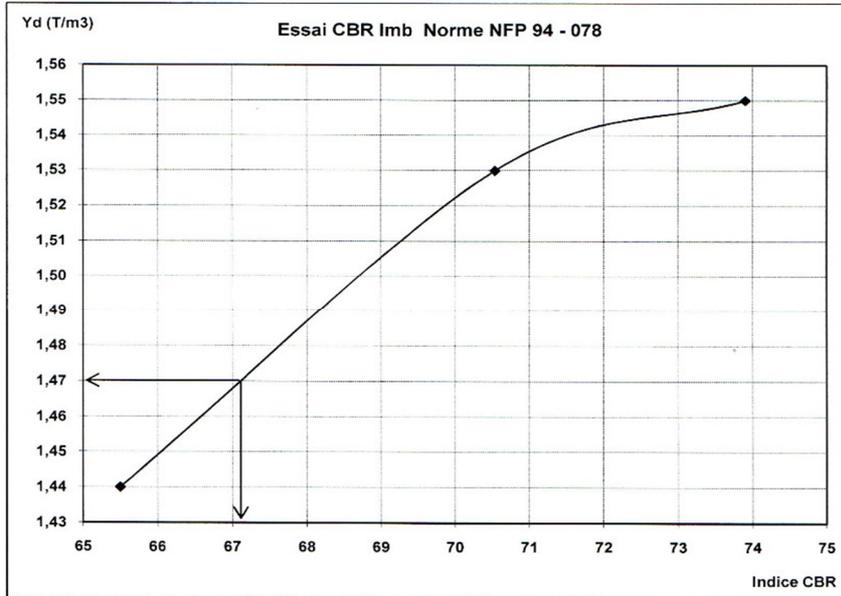
Date d'essai :

Le chef de service :
S.HAMRELAINE

L'opérateur :

L.T.P.O - UNITE DE TIARET

Client :	.	date: 15/03/2023
Projet :	ARGILE VERDATRE GISEMENT DE GUARTOUFA TRAITE PAR LA CHAUX A 3 %+1% PLASTIQUE(1,00/1,60)mm	
Lieu :	0	
Dossier :	0	
Prélevement :	ARGIL VERDATRE	



Energie de compactage	10 c/c	25 c/c	56 c/c	Indice C.B.R à 95% yd OPM
W%	23,42	22,98	22,58	67,15
Y d (t/m3)	1,44	1,53	1,55	
Imbibition a 4 jours	//	//	//	
W final (%)	33,79	32,05	30,04	
Gonflement	//	//	//	
Indice C.B.R	65,50	70,54	73,90	

Le chef de service :
S.HAMRELAINE

F5-14

➤ Argile +3% la chaux +1% déchet plastique (2,00/2,50) mm

	pooids de moule vide (g)	pooids moule+ éch (g)	w% CBR	pd (t/m ³)	g.comp		w% finale	valeur de gonfle-ment (mm)	temps min		indice portant à 2,5 mm	indice portant à 5 mm					
					0 jours	4 jours			enfoce-ment (mm)								
56 coups	7246	11607	23,25	1,54	//	//	30,53	//	défl	0,08	0,15	0,22	0,42	0,53	0,61	36,95	47,09
									force totale	//	//	4,93	9,42	//	//		
									défl	0,26	0,39	0,43	0,56	0,62	0,68	72,22	62,78
25 coups	10845	14702	23,78	1,47	//	3	33,59	//	force totale	//	//	9,64	12,6	//	//		
									défl	0,08	0,1	0,13	0,16	0,2	0,23	21,83	17,94
									force totale	//	//	2,915	3,587	//	//		
10 coups	10910	14570	24,33	1,39	//	//	36,73	//									

* indice portant à 2,5 mm = (Effort de pénétration à 2,5 mm d' enfocement) / 13,35 x 100

* indice portant à 5 mm = (Effort de pénétration à 5 mm d' enfocement) / 20 x 100

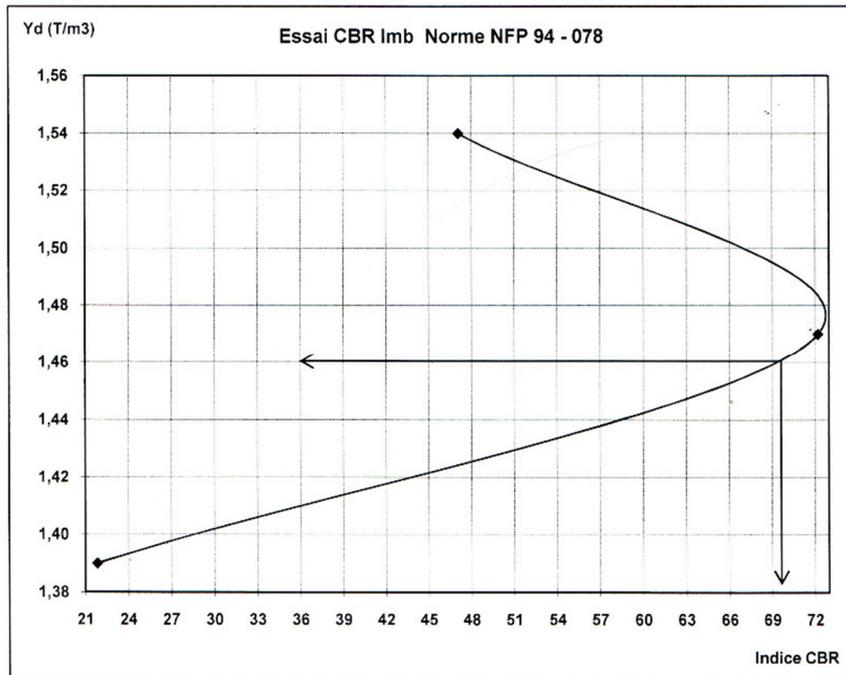
Date d'essai :

Le chef de service :
S.HAMRELAINE

L'opérateur:

L.T.P.O - UNITE DE TIARET

Client :	.	date:	15/03/2023
Projet :	ARGILE VERDATRE GISEMENT DE GUARTOUFA TRAITE PAR LA CHAUX A 3 %+1% PLASTIQUE(2,00/2,50)mm		
Lieu :	0		
Dossier :	0		
Prélevement :	ARGIL VERDATRE		



Energie de compactage	10 c/c	25 c/c	56 c/c	Indice C.B.R à 95% yd OPM
W%	24,33	23,78	23,25	69,80
Y d (t/m3)	1,39	1,47	1,54	
Imbibition a 4 jours	//	3,00	//	
W final (%)	36,73	33,59	30,53	
Gonflement	//	3,00	//	
Indice C.B.R	21,83	72,22	47,09	

Le chef de service :
S.HAMRELAINE

F5-14

➤ Argile +3% la chaux +1% déchet plastique (2,50/3,15) mm

	poids de moule vide (g)	poids moule+ éch (g)	w% CBR	pd (t/m ³)	g.comp		w% finale	valeur de gonflement (mm)	temps min		indice portant à 2,5 mm	indice portant à 5 mm					
					0 jours	4 jours			enfoncement (mm)	1							
56 coups	7292	11693	24,3	1,54	//	//	31,03	//	défl	0,09	0,21	0,28	0,57	0,6	0,66	47,03	63,90
									force totale	//	//	6,28	12,78	//	//		
25 coups	7197	11431	24,47	1,48	//	//	32,05	//	défl	0,2	0,34	0,39	0,5	0,54	0,59	65,50	56,05
									force totale	//	//	8,74	11,2	//	//		
10 coups	10916	14243	24,58	1,40	//	//	34,12	//	défl	0,13	0,16	0,18	0,21	0,2	0,23	30,23	23,54
									force totale	//	//	4,036	4,709	//	//		

* indice portant à 2,5 mm = (Effort de pénétration à 2,5 mm d' enfoncement) / 13,35 x 100

* indice portant à 5 mm = (Effort de pénétration à 5 mm d' enfoncement) / 20 x 100

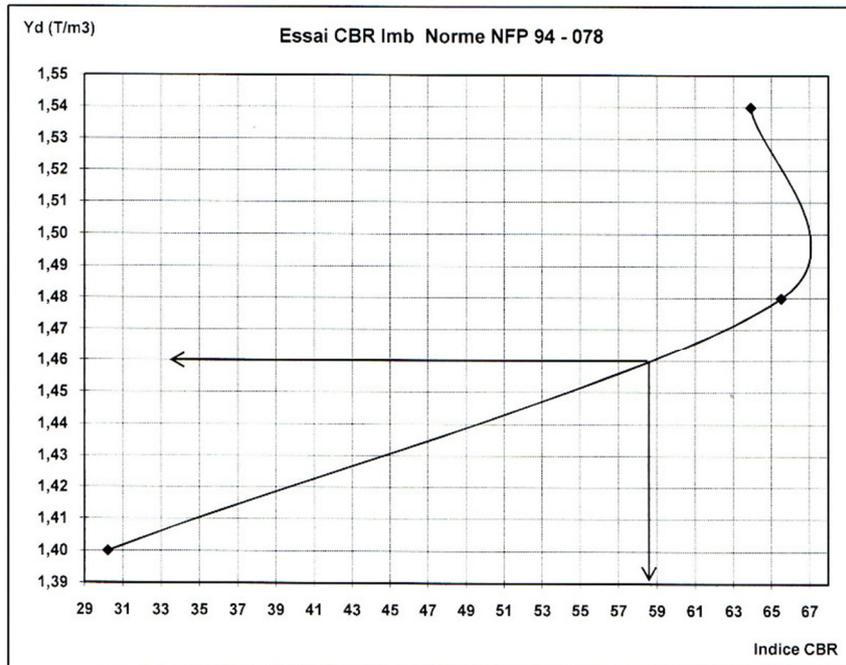
Date d'essai :

Le chef de service :
S.HAMRELAINE

L'opérateur:

L.T.P.O - UNITE DE TIARET

Client :	.	date:	15/03/2023
Projet :	ARGILE VERDATRE GISEMENT DE GUARTOUFA TRAITE PAR LA CHAUX A 3 %+1% PLASTIQUE(2,50/3,15)mm		
Lieu :	0		
Dossier :	0		
Prélevement :	ARGIL VERDATRE		



Energie de compactage	10 c/c	25 c/c	56 c/c	Indice C.B.R à 95% yd OPM
W%	24,58	24,47	24,30	58,50
Y d (t/m3)	1,40	1,48	1,54	
Imbibition a 4 jours	//	//	//	
W final (%)	34,12	32,05	31,03	
Gonflement	//	//	//	
Indice C.B.R	30,23	65,50	63,90	

Le chef de service :
S.HAMRELAINE

F5-14

➤ Argile +3% la chaux +1% déchet plastique (3,150/4,00) mm

	poids de moule vide (g)	poids moule+ éch (g)	w% CBR	pd (t/m ³)	g.comp		w% finale	valeur de gonflement (mm)	temps min	1	1,4	2	4	6	8	indice portant à 2,5 mm	indice portant à 5 mm
					0 jours	4 jours											
56 coups	7510	11929	24,82	1,54	//	//	30,29	//	défl	0,19	0,35	0,45	0,52	0,58	0,65	75,58	58,30
									force totale	//	//	10,09	11,66	//	//		
25 coups	7469	11640	25,12	1,45	//	//	32,56	//	défl	0,2	0,32	0,36	0,49	0,55	0,61	60,46	54,93
									force totale	//	//	8,07	11,0	//	//		
10 coups	7510	11399	25,31	1,35	//	//	33,97	//	défl	0,22	0,26	0,29	0,34	0,2	0,23	48,71	38,12
									force totale	//	//	6,502	7,623	//	//		

* indice portant à 2,5 mm = (Effort de pénétration à 2,5 mm d' enfocement)/13,35 x 100

* indice portant à 5 mm = (Effort de pénétration à 5 mm d' enfocement)/20 x 100

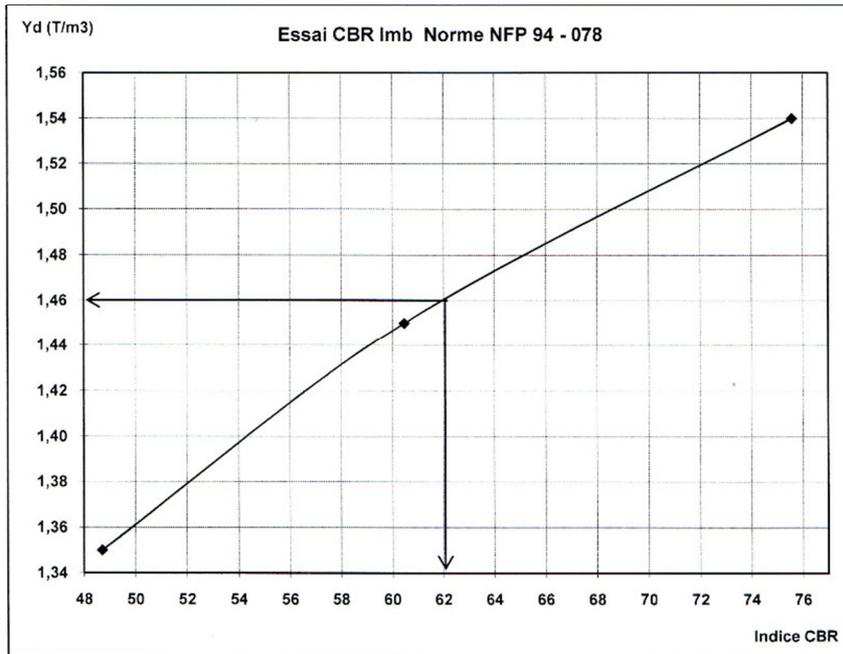
Date d'essai :

Le chef de service :
S.SHAMRELAINE

L'opérateur :

L.T.P.O - UNITE DE TIARET

Client :	.	date:	15/03/2023
Projet :	ARGILE VERDATRE GISEMENT DE GUARTOUFA TRAITE PAR LA CHAUX A 3 %+1% PLASTIQUE(3,15/4,00)mm		
Lieu :	0		
Dossier :	0		
Prélevement :	ARGIL VERDATRE		



Energie de compactage	10 c/c	25 c/c	56 c/c	Indice C.B.R à 95% yd OPM
W%	25,31	25,12	24,82	62,00
Y d (t/m3)	1,35	1,45	1,54	
Imbibition a 4 jours	//	//	//	
W final (%)	33,97	32,56	30,29	
Gonflement	//	//	//	
Indice C.B.R	48,71	60,46	75,58	

Le chef de service :
S.HAMRELAINE

F5-14

➤ Argile +3% la chaux +3% déchet plastique (2,00/2,50) mm

	poids de moule vide (g)	poids moule+éch (g)	w% CBR	pd (t/m ³)	g.comp		w% finale	valeur de gonflement (mm)	temps de min	indice portant à 2,5 mm	indice portant à 5 mm						
					0 jours	4 jours											
56 coups	7246	11607	21,28	1,54	//	//	30,59	//	défl	0,07	0,18	0,25	0,57	0,66	0,68	41,99	63,90
										force totale	//	//	5,61	12,78	//	//	
25 coups	10845	14702	21,81	1,47	//	3	33,563	//	défl	0,02	0,07	0,11	0,26	0,3	0,32	18,47	29,15
										force totale	//	//	2,47	5,8	//	//	
10 coups	10910	14570	22,37	1,39	//	//	36,79	//	défl	0	0,02	0,04	0,11	0,13	0,14	6,72	12,33
										force totale	//	//	0,897	2,466	//	//	

* indice portant à 2,5 mm = (Effort de pénétration à 2,5 mm d' enfoncement) / 13,35 x 100

* indice portant à 5 mm = (Effort de pénétration à 5 mm d' enfoncement) / 20 x 100

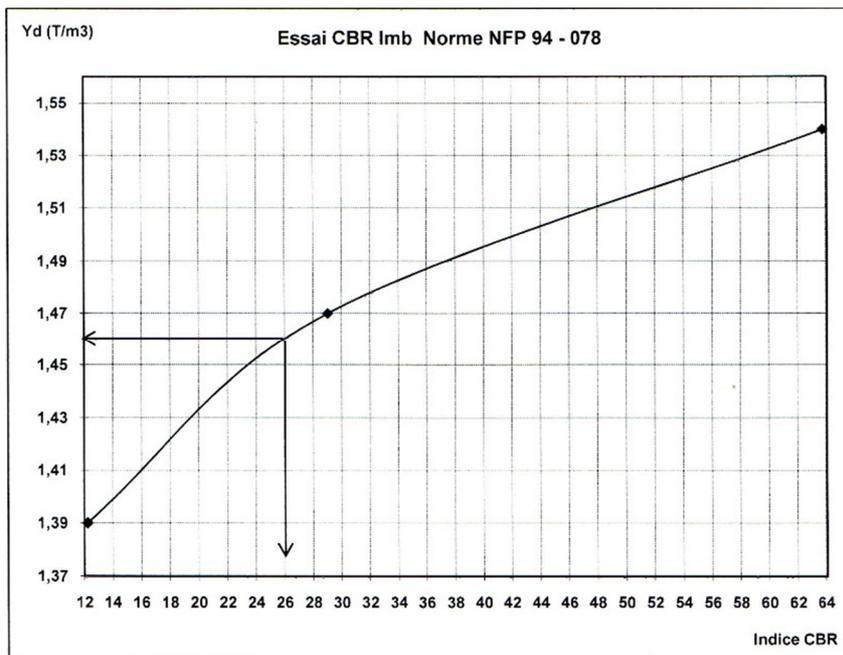
Date d'essai :

Le chef de service :
S.HAMRELAINE

L'opérateur :

L.T.P.O - UNITE DE TIARET

Client :	.	date:	21/03/2023
Projet :	ARGILE VERDATRE GISEMENT DE GUARTOUFA TRAITÉ PAR LA CHAUX A 3%+3% PLASTIQUE(2,00/2,50)mm		
Lieu :	0		
Dossier :	0		
Prélevement :	ARGIL VERDATRE		



Energie de compactage	10 c/c	25 c/c	56 c/c	Indice C.B.R à 95% yd OPM
W%	22,37	21,81	21,28	26,00
Y d (t/m ³)	1,39	1,47	1,54	
Imbibition a 4 jours	//	3,00	//	
W final (%)	36,79	33,56	30,59	
Gonflement	//	3,00	//	
Indice C.B.R	12,33	29,15	63,90	

Le chef de service :
S.HAMRELAINE

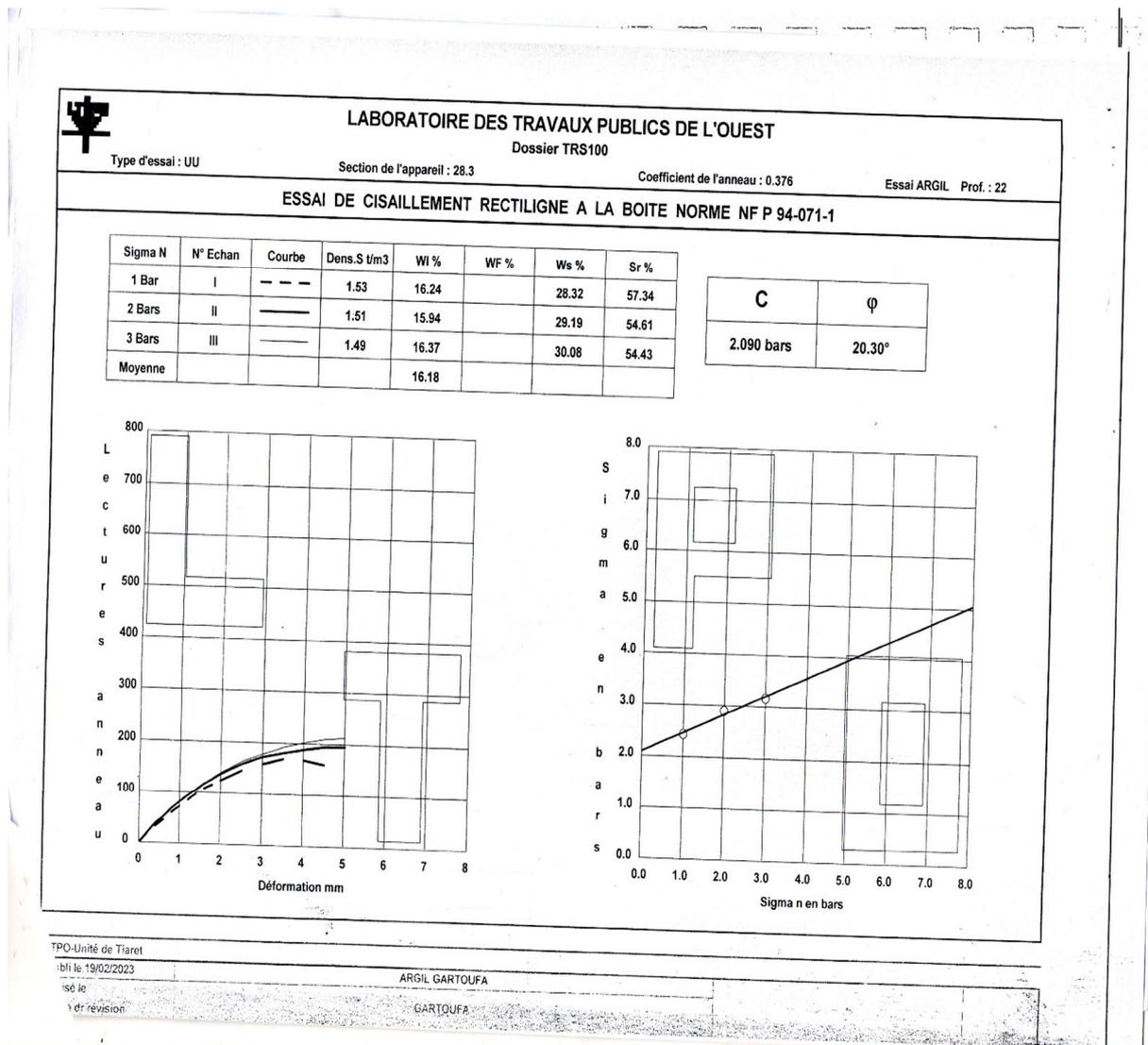
F5-14

Annexe 02: Essais mécaniques

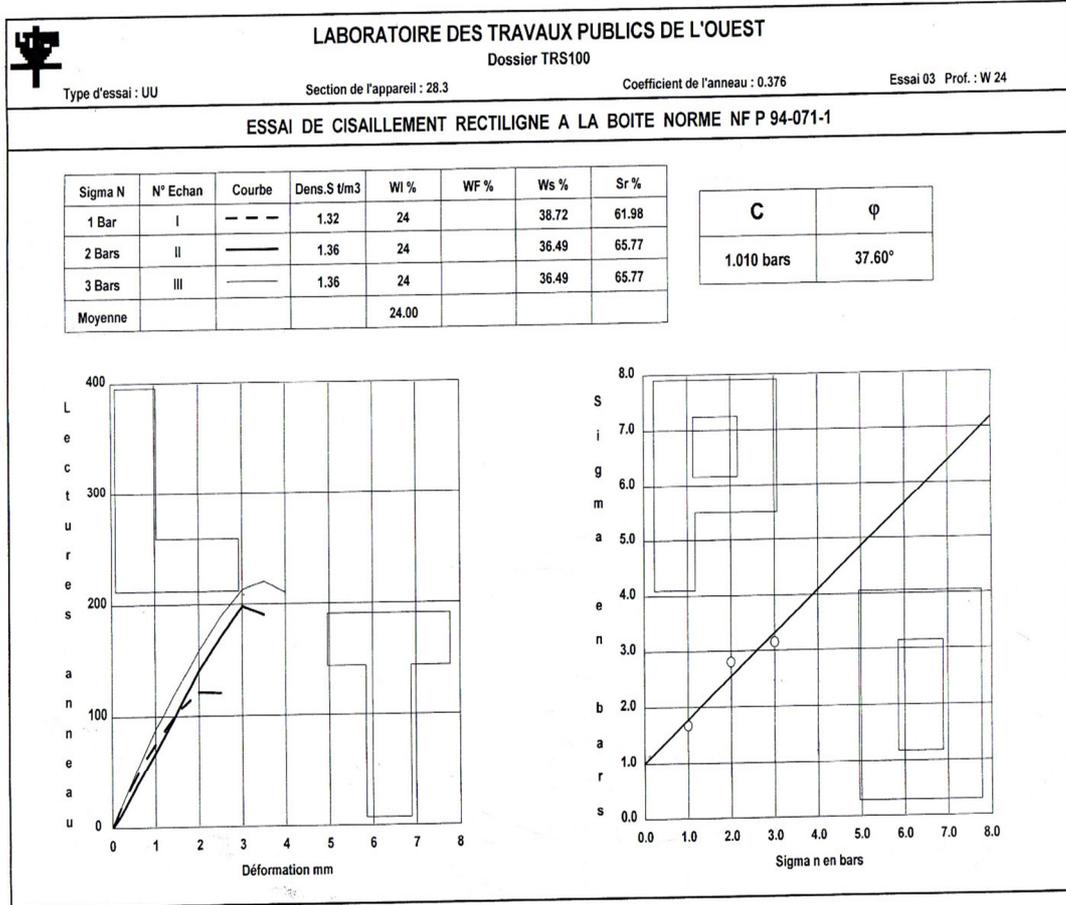
Essai mécanique

Essai de cisaillement

❖ Argilénaturelle :



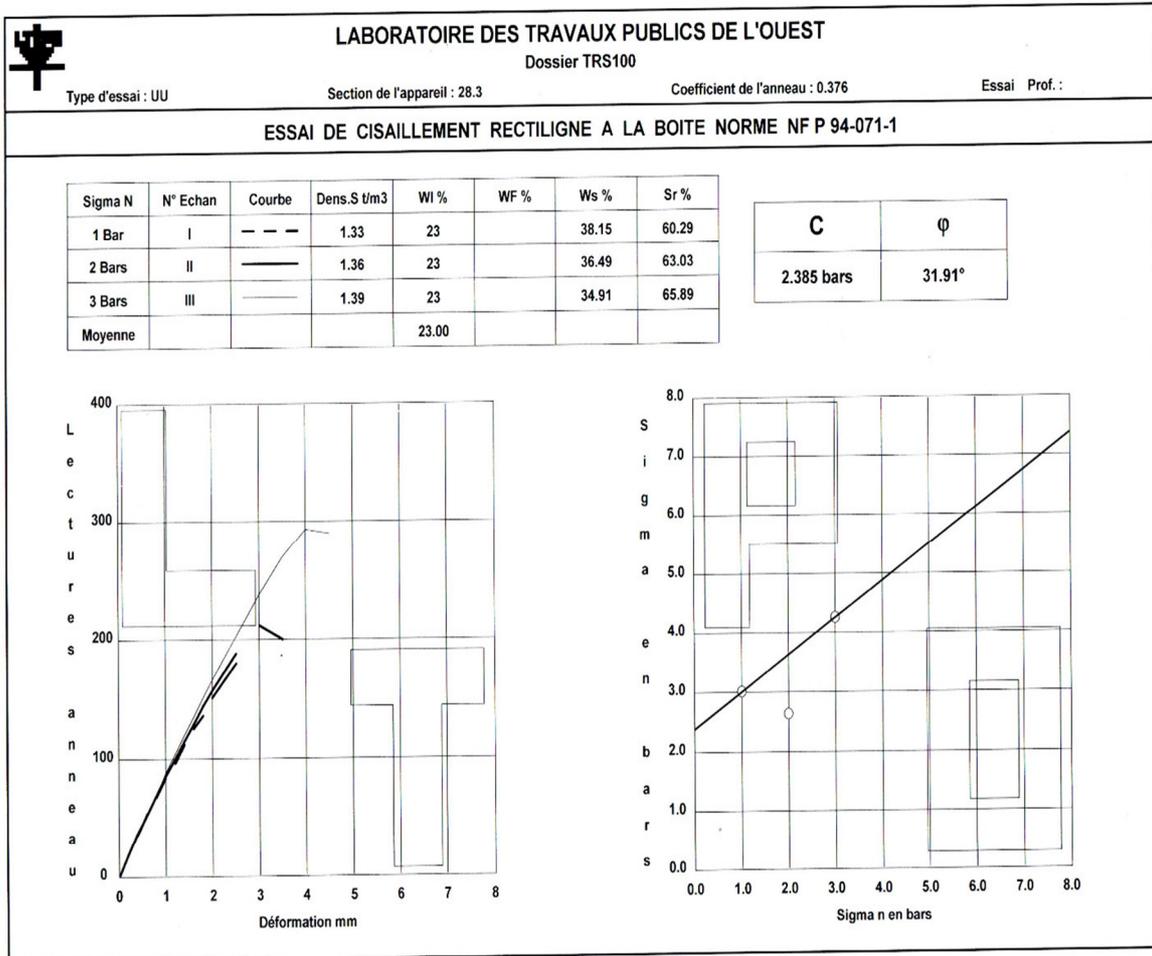
❖ Argile +3% la chaux :



TPO-Unité de Tiaret
01/03/2023

ARGIL GARTOUFA
GARTOUFA

❖ Argile +3% la chaux +1% déchet plastique :



LTPO-Unité de Tiaret

Etabli le 21/03/2023

ARGILE GARTOUFA +3%CHAUX +1%PLASTIQUE

Révisé le

GARTOUFA

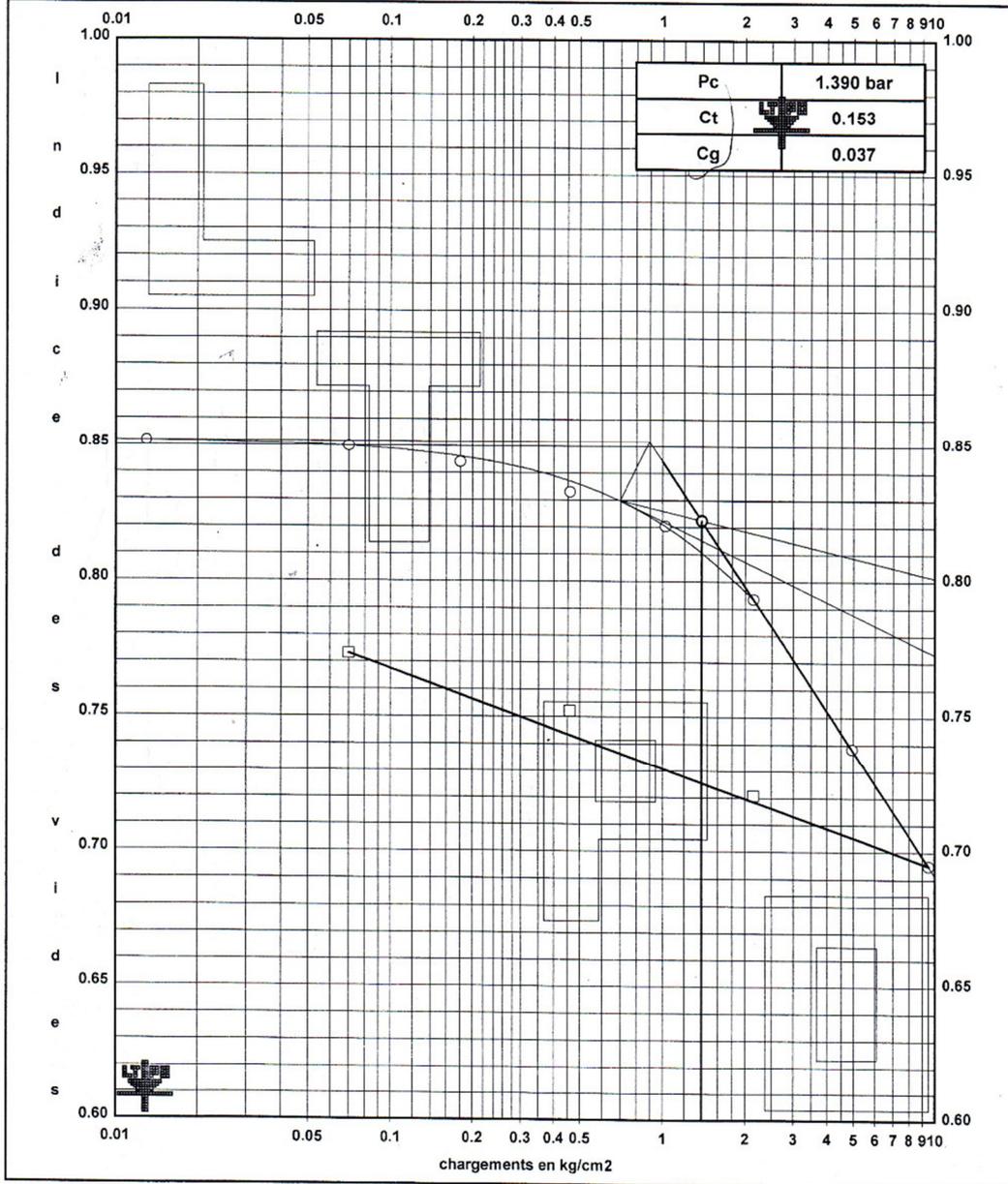
Indice dr révision

Essai œdométrique

➤ **Argile naturelle :**



ESSAI DE COMPRESSIBILITE A L'OEDOMETRE



LTPO-Unité de Tiaret

Etabli le 01/03/2023

Révisé le

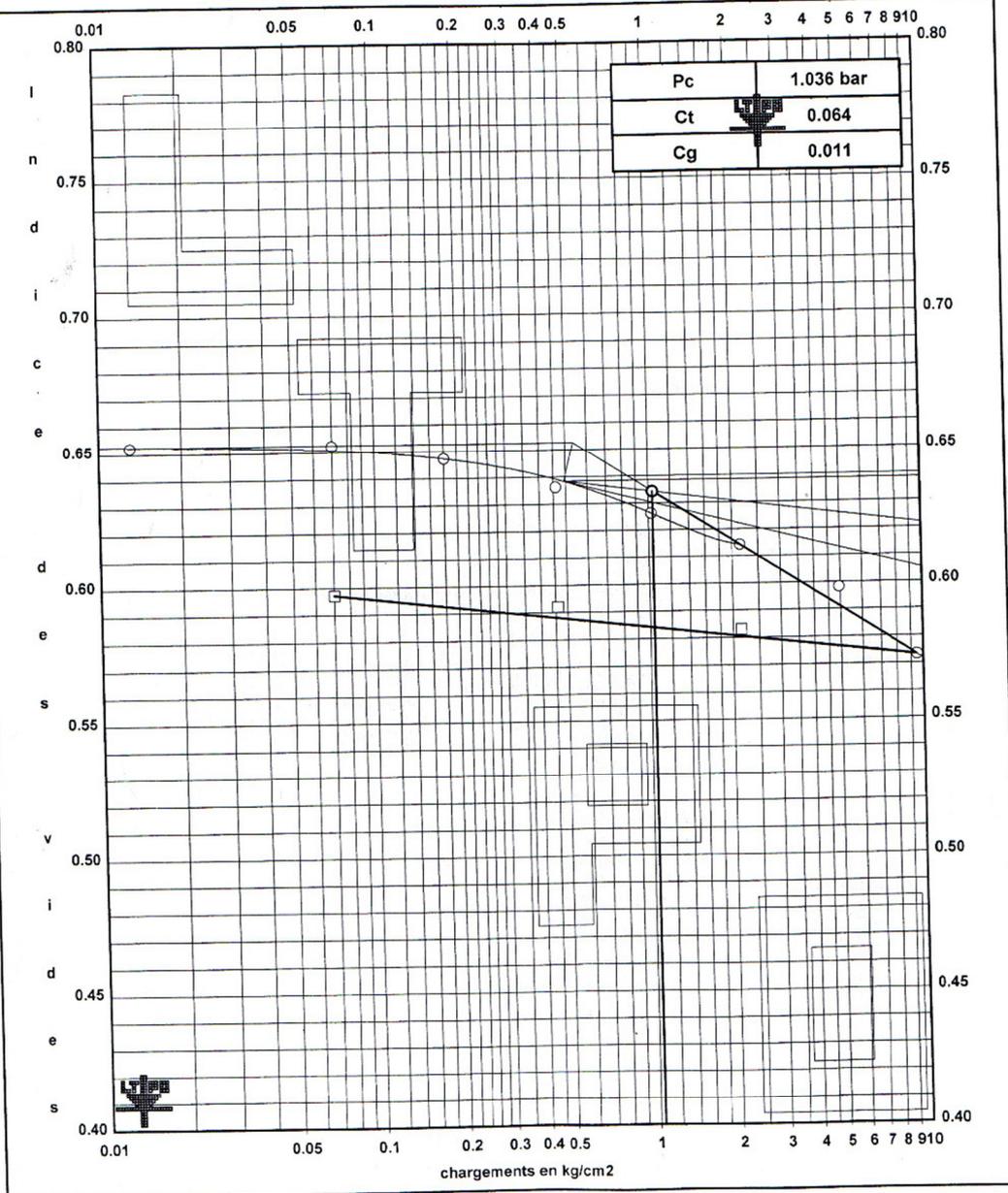
Indice de révision

AREGIL GARTOFA

ETUDIET

➤ Argile +3% la chaux :

ESSAI DE COMPRESSIBILITE A L'OEDOMETRE



LTPO-Unité de Tiaret

Etabli le 13/03/2023

AREGIL GARTOFA+3% LA CHAUX

Révisé le

ETUDIET

Indice de révision