

REPUBLIQUE ALGERIENNE POPULAIRE ET DEMOCRATIQUE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ ABOU-BEKR BELKAID – TLEMCCEN



Faculté de Technologie

Département de Génie Civil

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master

Spécialité : travaux public

Option : Voies et Ouvrages d'Art

INTITULÉ

**Etude de la durabilité des sols argileux améliorés avec des ajouts minéraux
"Cas de la wilaya de Tlemcen"**

Soutenu le 10 octobre 2019 par :

**MEZERAI Salah Eddine
BENYAHIA Bouchra**

Devant Le Jury :

Président	<i>GHENNANI B.H.</i>	UABT
Encadreur	<i>Mr ZADJAOUI.A</i>	UABT
Encadreur	<i>Mr BENDIMERAD.K.F</i>	UABT
Examinatrice	<i>Mme BENCHOUK.A</i>	UABT

Année universitaire 2018-2019

Remerciements

Nous remercions avant tout Dieu de nous avoir gardé en bonne santé afin de mener à bien ce projet de fin d'études. Nous remercions également nos familles pour les sacrifices qu'elles ont fait pour que nous terminions nos études.

Nous remercions Monsieur ZADJAOUI Abdeldjalil, professeur à l'université Abou bekr Belkaid Tlemcen pour nous avoir encadrés. Et nous remercions également les membres du jury Mr. B. GHENANI et, Mme. A. BENCHOUK d'avoir accepté de juger et d'examiner notre travail.

Nous citons avec une profonde reconnaissance et considération particulière notre Co-encadrant Mr. BENDIMERAÏD K.F pour la sollicitude et plaisir avec laquelle il a suivi et guidé ce travail et puis nous lui sommes reconnaissants pour ses encouragements, son enthousiasme et sa confiance.

Nous tenons à remercier tous nos enseignants, pour nous avoir formé durant le parcours de nos études.

Nous tenons à remercier tous ceux et celles qui de loin ou de près ont contribué à finaliser ce modeste travail que nous l'espérons sera à la hauteur de leur engagement.

DEDICACES

*Je dédie ce travail qui n'aura jamais pu voir le jour sans les soutiens indéfectibles et sans limite de **mes chers parents** qui ne cessent de me donner avec amour le nécessaire pour que je puisse arriver à ce que je suis aujourd'hui. Que dieux vous protège et que la réussite soit toujours à ma portée pour que je puisse vous combler de*

bonheur. Je dédie aussi ce travail à :

 *Mes frères, mes sœurs et leur famille.*

 *Mes cousins et cousines.*

 *Tous mes amis, mes collègues et tous ceux qui m'estiment.*

Salah eddine

DEDICACES

*✿ Je dédie ce mémoire à ✍
A mes très chers parents*

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

*A mes très chers frères
A toute ma famille
A ma très chère marie*

*Ton soutien moral, ta gentillesse sans égal, ton profond attachement m'ont permis de réussir mes études.
Sans ton aide, tes conseils et tes encouragements ce travail n'aurait vu le jour.*

*A tous et à toutes mes cher(e)s ami(e)s
A tous qui m'ont aidé de près ou de loin
Leur soutien m'était précieux.*

Bouchra

Résumé

Le traitement à la chaux est une technique bien connue pour améliorer les propriétés mécaniques des sols argileux dans le domaine de génie civil (construction de routes, construction ferroviaire et aéroport) en ajoutant une petite quantité de chaux dans le sol. De nombreuses études montrent que le traitement à la chaux peut modifier significativement les propriétés physiques et hydromécaniques des sols compactés comme la réduction de potentiel du gonflement, l'augmentation de la résistance de cisaillement, l'augmentation de la module d'élasticité et la modification des propriétés de compactage. Dans ce travail, une étude expérimentale sur le traitement à la chaux du sol argileux de la ville de Tlemcen, en Algérie a été réalisée.

Les résultats d'essais sur les échantillons traités à la chaux et au lait de chaux montrent l'effet de ces matériaux sur quelques paramètres géotechniques.

Mots clés : Traitement à la chaux, amélioré, sols argileux, stabilisation.

Abstract

Lime treatment is a well-known technique for improving the mechanical properties of clay soils in the field of civil engineering (road construction, railway construction and airport) by adding a small amount of lime to the soil. Many studies show that lime treatment can significantly alter the physical and hydro-mechanical properties of compacted soils such as reduced swelling potential, increased shear strength, increasing the modulus of elasticity and modifying the compaction properties. In this work, an experimental study on lime treatment of clay soil in the city of Tlemcen, Algeria

The results of tests on samples treated with lime and lime milk show the effect of these materials on some geotechnical parameters.

Keywords: Lime treatment, improved, clay soils, stabilization.

ملخص

العلاج بالجير هو تقنية معروفة لتحسين الخصائص الميكانيكية للتربة الطينية في مجال الهندسة المدنية (بناء الطرق وبناء السكك الحديدية والمطار) بإضافة كمية صغيرة من الجير إلى التربة. تظهر العديد من الدراسات أن معالجة الجير يمكن أن تغير بشكل كبير الخصائص الفيزيائية والمائية - الميكانيكية للتربة المضغوطة مثل انخفاض احتمالية التورم وزيادة قوة القص وزيادة معامل المرونة وتعديل خصائص الضغط. وفي هذا العمل، أجريت دراسة تجريبية عن معالجة الجير من تربة الطين في مدينة تلمسان، الجزائر.

وتظهر نتائج الاختبارات على العينات المعالجة بالجير والحليب الجيري تأثير هذه المواد على بعض الخصائص الجيو تكنولوجية.

الكلمات الرئيسية: المعالجة بالجير، تحسين، التربة الطينية، التثبيت

Remerciement

Dédicaces

Résumé

Abstract

ملخص

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale.....1

Chapitre n°1 : Synthèse Bibliographique

1 : Introduction.....	4
2 : Méthodes d'amélioration des sols	5
2.1 : Méthodes mécaniques :	5
2.1.1 Compactage dynamique :.....	5
2.1.2 Compactage de surface :	5
2.1.3 Vibro-compactage :	6
2.1.4 Méthode de substitution :.....	6
2.1.5 Pré humidification::	7
2.2 : Méthodes hydromécaniques :	7
2.2.1 Amélioration des sols par drainage :	7
2.2.2 Amélioration des sols par pré chargement ou pré compression	8
2.3 : Méthodes thermiques :	9
2.3.1 Amélioration temporaire par congélation	9
2.3.2 Amélioration par déshydratation	10
2.4 : Autres Méthodes d'amélioration des sols :.....	10
2.4.1 Amélioration des sols par renforcement des terres.....	10
A. Technique de la terre ancrée	10
B. Technique de la terre renforcée.....	10

2.4.2	Amélioration des sols par inclusion.....	11
A.	Colonnes à module contrôlé	11
B.	Colonnes ballastées.....	12
C.	Inclusion rigide	13
2.4.3	Amélioration des sols par injection	13
2.4.4	: Amélioration des sols par rabattement.....	14
3	: Amélioration des sols par des ajouts minéraux :	14
3.1	: Amélioration des sols par ajout du ciment :.....	15
3.2	: Amélioration des sols par ajout de la chaux :.....	16
3.3	: Amélioration des sols par ajout de lait de chaux :.....	17
3.4	: Amélioration des sols par ajout de la cendre volante :.....	17
3.5	: Amélioration des sols par ajout des polymères :.....	18
3.6	: Principe de la procédure :.....	18
3.7	: Avantages de de la procédure :.....	18
4	: Aperçu sur des argiles.....	19
4.1	Définitions des argiles.....	19
4.2	Les minéraux argileux	20
A	: Héritage et altération	20
B	: Transformation des minéraux argileux par dégradation et aggradation.....	20
C	: Contexte de formation des sols argileux.....	21
4.3	Structure des argiles	22
5	: Conclusion	22

Chapitre n°2 : Description de projet et données globales

1	: Introduction.....	24
2	: Présentation du projet	24
3	: Aperçu géologique de la région :.....	26
4	: Climat de la région.....	27
5	: Données géotechnique de site D'OULED BENDAMOU	28
6	: Conclusion	28

Chapitre n°3 : Traitement des sols

1 : Introduction :.....	30
2 : Identification des sols :.....	30
2.1 : Analyse granulométrique :.....	30
2.1.1 Principe de l'essai :	30
2.1.2 Objectif :	31
2.1.3 Résultats :	31
3.2 : Les limites d'Atterberg.....	33
2.2.1 Introduction :.....	33
2.2.2 But de l'essai :.....	33
2.2.3 Résultats :	34
A. Détermination de la limite de liquidité :.....	34
B. Détermination de la limite de plasticité :.....	35
C. Indice de plasticité I_p :.....	36
3.3 : Essai au bleu de méthylène :	37
2.3.1 Objectif et principe de l'essai :.....	37
2.3.2 Mode opératoire :.....	37
2.3.3 Interprétation :	38
2.3.4 Résultats :	39
3.4 Essais proctor :.....	40
2.4.1 Manipulation :	41
2.5 : Essai IPI (Indice CBR Immédiat) :.....	42
3 : Effet des améliorants sur les caractéristiques des sols :.....	43
3.1 : Préparation des échantillons :.....	43
3.2 : Effet de la chaux.....	44
3.3 : Effet de lait de chaux :	47
3.4 : Effet de la chaux sur l'essai de compactage :	50
3.5 : Effet de la chaux/lait de chaux sur la portance :	51
4 : Conclusion	53

Conclusion générale

Références bibliographique

Liste des figures

Figure 1 : Amélioration par drainage. (Marwana et Muangongo, 2015).	8
Figure 2 : Stabilisation par congélation.	9
Figure 3 : Colonnes à module contrôlé. (GHRICI et HARICHANE, 2009).....	12
Figure 4 : Mise en œuvre des connes ballastées par voie humide (Keller).....	13
Figure 5 : Amélioration des sols par injection	14
Figure 6 : Conditions d'utilisation de la stabilisation chimique (Dept. of the Army, 1983).	15
Figure 7 : Chantier de traitement d'un sol à la chaux. (AMOURA et MAAMERI, 2013).	16
Figure 8 : Résultat de l'essai d'Ermitage (Belarbi A., 2012), cité par (Bouziane, 2014).....	17
Figure 9 : Variation d'indice de plasticité en ajout de la chaux Bulletin CRR. (AZZOUZ, 2006).....	19
Figure 10 : Couches tétraédriques et octaédriques, cité par (GUEDDOUDA, 2011).	22
Figure 11 : Plan d'implantation. (YOUSSARI et NMICHE, 2017)	25
Figure 12 : Vue de l'ouvrage au niveau d'Oued El Abbes. (YOUSSARI et NMICHE, 2017).	25
Figure 13 : Carte géologique de la région de MAGHNIA (Extrait de la carte géologique de l'Algérie au 1/500.000. 2eme Edition, 1952).	27
Figure 14 : Machine de vibration	31
Figure 15 : Courbe granulométrique.....	33
Figure 16 : Préparation des échantillons pour déterminer la limite de liquidité	34
Figure 17 : Détermination de limite de plasticité	36
Figure 18 : Echelle GTR	38
Figure 19 : Agitation de mélange sols et bleu	39
Figure 20 : Prélèvement des gouttes de mélange et les	
placer sur papier filtre.....	39
Figure 21 : Moule CBR avec une dame	40

Figure 22 : Appareil de compactage	41
Figure 23 : Des moules CBR	43
Figure 24 : Appareille CBR.....	43
Figure 25 : Préparation des échantillons sols et chaux	44
Figure 26 : L'effet de la chaux sur la limite de plasticité	45
Figure 27 : L'effet de la chaux sur la limite de liquidité.....	45
Figure 28 : Effet de la chaux sur les limites de plasticité.....	46
Figure 29 : Effet de lait de chaux sur les limites de plasticité.....	48
Figure 30 : Effet de lait de chaux sur les limites de plasticité.....	48
Figure 31 : Effet de lait de chaux sur les limites de plasticité.....	49
Figure 32 : Effet sur la teneur en eau optimale	50
Figure 33 : Effet sur la densité de compactage	50
Figure 34 : Effet de la chaux sur le comportement mécanique.....	52
Figure 35 : Effet de lait de chaux sur le comportement mécanique	52

Liste des tableaux

Tableau 1 : Occurrence des minéraux argileux dans les sols en fonction du climat (BELABBACI, 2014).....	21
Tableau 2 : Sondage de reconnaissance (LTPO, 2016), (YOUSSARI et NMICHE, 2017).....	28
Tableau 3 : Analyse granulométrique par tamisage	32
Tableau 4 : Classification proposée par Dakshanamurthy et Raman 1973 (Azzouz F-Z, 2006)	35
Tableau 5 : Résultats obtenus d'après l'essai de les limites d'Atterberg.....	36
Tableau 6 : Les résultats obtenus d'après les essais effectués en ajoutant la chaux.....	44
Tableau 7 : Les résultats obtenus d'après les essais effectués en ajoutant lait de chaux	47
Tableau 8 : Effet des améliorants sur les comportements mécanique.....	51

Introduction Générale

La construction d'ouvrages d'art connaît une activité significative à la faveur des programmes initiés pour répondre à des exigences socio-économiques du pays. Ces réalisations témoignent du génie civil qui se consacre d'avantage dans l'art de concevoir et de construire.

La réalisation en matière d'ouvrages d'art en Algérie a connu une évolution très rapide, passant de 2583 ouvrages recensés en 1990 à 3756 ouvrages recensés en 2002 pour atteindre un nombre de 6285 ouvrages recensés en 2013.

Evolution rendue possible grâce aux entreprises spécialisées dans le domaine des ouvrages d'art, maîtrisant les nouvelles technologies, et aux Laboratoires des recherches géotechniques.

Le terme « sol » est utilisé en génie civil pour désigner un matériau constitué d'un agrégat naturel de particules minérales de dimensions comprises dans des limites prédéfinies.(Nardjes DRAOU et Fadela NEBATI,2013) .

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

A travers la géologie des terrains de notre pays, des sols peu convenables présentant une plasticité élevée et une faible capacité de portance sont fréquemment rencontrés, il a été donc nécessaire d'améliorer ces sols pour les rendre acceptables pour la construction. Ces limitations pourraient être surmontées par l'amélioration des

propriétés géotechniques des sols en employant différentes méthodes mécaniques ou chimiques d'où le processus de stabilisation des sols.

Le choix de l'une de ces méthodes dépend de plusieurs paramètres tels que, les considérations économiques, la nature du sol à traiter et la durée de l'opération, la disponibilité des matériaux utilisés ainsi que les conditions d'environnement.

L'usage des ajouts minéraux pour la stabilisation des sols argileux est potentiellement promoteur. Ces ajouts combinés avec la chaux ont été longtemps employés comme stabilisants de sol tels que le calcaire, les cendres volantes, la fumée de silice, le laitier...

Les méthodes d'amélioration mécaniques et hydromécaniques des sols sont coûteuses et demandent un savoir faire élevé ce qui n'est toujours pas permis dans les pays en voie de développement comme l'Algérie. De plus, les méthodes d'amélioration thermiques des sols restent elles aussi efficaces mais dont l'emploi reste limité en raison de leurs coûts très élevés.

Toutefois on dispose des méthodes d'amélioration chimique utilisant le lait de chaux, le ciment et d'autres ajouts cimentaires, moins coûteuses et plus pratiques. Cette technique s'est développée très rapidement à travers le monde et qui est encore menée à connaître une importante croissance.

Ce travail consiste à une étude d'amélioration de sol d'un pont qui est situé à la cité d'Ouled Bendamou près du parc industriel de la Daïra de Maghnia wilaya de Tlemcen. L'ouvrage d'art a pour objet le franchissement d'Oued El Abbas à l'aide de deux travées et le raccordement de la zone industrielle à la route nationale RN35.

Dans le cas de notre étude on a choisi trois sols argileux du site Ouled Bendamou, les sols possèdent des propriétés mécaniques et physiques faibles, d'où le traitement est conseillé. Les trois sols sont traités avec des ajouts minéraux tel que : le lait de chaux et la chaux.

L'étude consiste à évaluer au laboratoire la durabilité et les changements apportés sur les propriétés physico mécaniques des sols argileux améliorés par des ajouts minéraux. Notre mémoire comporte, après cette introduction générale, trois chapitres essentiels :

- ❖ Le premier chapitre présente une synthèse bibliographique sur les traitements des sols.
- ❖ Le deuxième chapitre portera sur une description de site ainsi que les sols étudiés
- ❖ Le chapitre 03 comporte les essais réalisés au niveau de laboratoire. Il décrit les matériaux, la méthodologie et représente les résultats obtenus
- ❖ Enfin le document se termine par une conclusion générale qui synthétise les principaux résultats de notre travail, analyse les points forts et faibles de notre travail et s'ouvre sur des perspectives en matière de poursuite des travaux scientifiques engagés au cours de cette mémoire.

Chapitre 1 :

Synthèse Bibliographique

1 : Introduction

Le traitement des sols est actuellement largement utilisé dans les travaux de terrassement, qui représentent une part non négligeable du secteur de la construction et du génie civil, tant pour l'avantage mécanique qu'il présente en permettant la valorisation de matériaux aux caractéristiques géotechniques inadaptées, que pour ses qualités environnementales.

Fort de cette expérience, les professionnels du BTP se sont positionnés sur le Grenelle de l'environnement en proposant un objectif de valorisation des matériaux géologiques naturels excavés de 100% pour 2020.

Ainsi, Le traitement des sols est une technique qui s'est développée très rapidement en Europe et en Amérique, et qui est encore amenée à connaître une importance évolution. Facile à mettre en œuvre, économique et efficace, elle permet d'éviter de lourds travaux de terrassement destinés à rejeter les sols inadéquats et à faire appel à des matériaux d'emprunt de qualité issu de carrières qui sont utilisés parfois dans le même but, et aussi d'éviter, de détériorer le réseau routier existant par le transport de ces matériaux d'emprunt. (BELABBACI Zeyneb, 2014).

Concernant ce traitement on peut spécifier :

- ✓ **L'amélioration des sols** : elle est appliquée aux sols ayant une grande plasticité (limon, argile), afin d'améliorer leurs caractéristiques géotechniques : facilité de mise en œuvre et de compactage, portance et résistance au poinçonnement. Ceci se traduit par une meilleure praticabilité pour le trafic de chantier.
- ✓ **La stabilisation des sols** : elle a pour objectif de la réalisation des couches de fondations de qualité dont les caractéristiques mécaniques ont été considérablement rehaussées, ce qui donne une plus grande portance et une meilleure distribution des charges. En outre, ces couches acquièrent ainsi une meilleure résistance à l'érosion et au gel, augmentant dès lors sensiblement leur durabilité. La stabilisation exige des pourcentages de 4% à 6% de ciment ou d'une combinaison de ciment avec d'autres liants, tels que le lait de chaux les laitiers de haut-fourneau ou l'émulsion de bitume. (GHRICI, M et HARICHANE, K,2009).

2 : Méthodes d'amélioration des sols

Les techniques d'amélioration des sols consistent à modifier les caractéristiques d'un sol par une action physique (vibrations par exemple) ou par l'inclusion dans le sol ou le mélange au sol d'un matériau plus résistant, dans le but de :

- Augmenter la capacité portance et/ou la résistance au cisaillement.
- Diminuer les tassements, tant absolus que différentiels, le cas échéant les accélère,
- Diminuer ou éliminer le risque de liquéfaction en cas de tremblement de terre ou de vibrations importantes.

2.1 : Méthodes mécaniques :

2.1.1 Compactage dynamique : C'est un procédé qui consiste à pilonner le sol en surface avec une dame en chute libre. L'énergie transmise par chaque impact pénètre dans le sol et produit une déstructuration. Au bout de quelques jours ou semaines, une restructuration s'opère qui aboutit à des caractéristiques de portance améliorées.

Le procédé s'applique aux sols sablo- graveleux, et aux matériaux argilo-limoneux saturés à condition qu'il y ait présence d'air occlus. Son emploi peut être intéressant pour consolider des couches sous l'eau. (AMOURA et MAAMERI, 2013).

2.1.2 Compactage de surface : Le compactage est un procédé de densification des sols en place (Lawton, 2004). Il consiste à réduire le volume des vides par densification des particules en appliquant momentanément des charges (roulement ou vibration). Il peut être exécuté sur des sols excavés ou des remblais placés en des couches minces. Chen (1988), suggère pour les sols très expansifs, un compactage à faible densité. (Alonso et delage, 1975).

Le compactage de surface est utilisé généralement pour une profondeur maximale d'environ 3m pour une profondeur supérieures on utilise le compactage

dynamique, et le vibro-compactage. La nature du terrain détermine le type de compacteur à utiliser. Les études expérimentales définissent un compactage approprié des sols de remblais qui ne tasseront pas ou tasseront très peu. Il y'a donc un optimum de compactage à réaliser, c'est l'optimum que les essais au laboratoire se proposent de déterminer. (Khebizi, 2011).

2.1.3 Vibro-compactage : Le procédé de vibro-compactage, développé à la fin des années trente, permet de compacter localement ou dans la masse, les sols grenus sans cohésion (sables, graviers, cailloux) en place ou mis en remblai au-dessus ou en dessous de la nappe et ceci jusqu'à des profondeurs maximum de plus de 50 m. C'est une technique d'amélioration des sols pulvérulents de type sablo-graveleux permettant de densifier sous l'effet de la vibration. Ces vibrations, émises par l'outil, se propagent de grains et provoquent un réarrangement optimal du volume initial occupé. La réduction de la porosité du matériau permet aussi d'augmenter sa capacité portante de manière significative. (AMOURA et MAAMERI , 2013).

Ce procédé de vibro-compactage est appelé aussi la vibro-flotation, s'applique essentiellement aux sols granulaires non cohérents, tels que sables et graviers. Les vibrations engendrent un phénomène temporaire de liquéfaction du sol environnant le vibreur. Dans cet état, les forces inter granulaires sont quasiment annulées, et les grains sont réarrangés dans une configuration plus présentant de meilleures caractéristiques mécaniques. Cette technique est couramment mise en œuvre à très grande échelle pour le compactage de terrepleins en sable gagnés sur la mer par remblaiement hydraulique.

2.1.4 Méthode de substitution : Cette technique a pour objectif la diminution globale du soulèvement, à la fois par suppression du sol gonflants, par la mise en place du remblai qui peut amortir une partie du soulèvement ultérieur et aussi par une amélioration de l'homogénéité des teneurs en eau, donc du soulèvement, pour l'ensemble de la construction. (Farid KAOUA et al, 2010).

2.1.5 Pré humidification: On crée ainsi un gonflement avant construction et si une forte teneur en eau est maintenue. Le volume restera sensiblement constant par la suite. Deux techniques sont utilisées (BOJANA DOLINAR, 2006, AZZOUZ, 2006) :

- Simple arrosage par jet.
- Création de bassins au-dessus du sol gonflant, et c'est beaucoup plus utilisé.

Cette méthode est basée sur les hypothèses suivantes (Mellal, 2009) :

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

2.2 : Méthodes hydromécaniques :

2.2.1 Amélioration des sols par drainage : Cette technique est utilisée pour collecter l'eau ensuite la drainer ailleurs dans les cas d'ouvrage en tassement (remblais routiers). Le drainage ne comporte généralement pas de pompage mécanique, car on utilise uniquement l'écoulement gravitaire. Son domaine d'application est surtout celui des terrains peu à très peu perméables.

Les systèmes de drainage sont fabriqués de filtres d'agrégats poreux pour collecter l'eau et ensuite la drainer ailleurs. Les drains doivent être capables de drainer toute l'eau qui s'y infiltre sans provoquer une accumulation excessive de la charge.

Les drains doivent être aussi conçus pour prévenir la migration des fines des sols adjacents et par la suite colmater les vides. (Wiem KHEBIZI, 2011), (GHRICI et HARICHANE, 2009) dit que le drain vertical vise à diminuer le temps requis pour la consolidation de sols mous en accélérant à l'aide d'une surcharge, l'expulsion de l'eau qu'ils contiennent. Il est constitué d'une plaquette ondulée 6mm d'épaisseur, est enrobée d'une membrane géotextile synthétique, choisie en fonction des propriétés de filtration recherchées et de sa capacité à résister à l'abrasion lors de son installation.

Le drain est inséré dans le sol à l'aide d'un mandrin creux fixé à une flèche verticale rattachée à une rétro caveuse ou à une grue sur chenilles. Une force statique est utilisée pour enfoncer le mandrin et ancrer le drain à la profondeur désirée. En présence de couches de matériaux raides, un vibreur est ajouté au mandrin, ou des avant-trous sont pratiqués pour passer à travers des couches très raides.

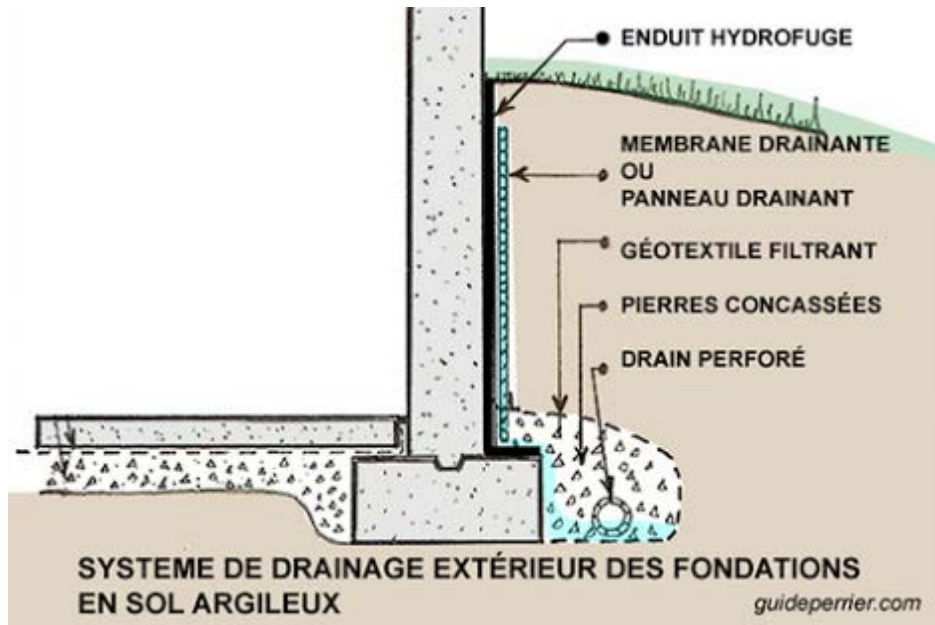


Figure 1 : Amélioration par drainage. (Marwana et Muangongo, 2015).

2.2.2 Amélioration des sols par pré chargement ou pré compression :

Le pré compression nécessite la compression du sol sous une pression appliquée avant l'application des charges. Cette méthode est utilisée sur des terrains dont le tassement va se prolonger durant plusieurs années. On applique généralement ces méthodes sur des mauvais terrains de composition principalement argileuse. Le principe consiste à surcharger le terrain afin qu'il se tasse naturellement.

Le pré chargement des sols s'opère selon les mêmes principes dans le cas des sols fins ou grenus. Le mode de réalisation est le même, mais la perméabilité élevée des sols grenus permet d'obtenir l'amélioration souhaitée dans des délais beaucoup plus brefs que les sols fins et surtout argileux. (AMOURA Fouad et MAAMERI Mohamed, 2013).

2.3 : Méthodes thermiques :

2.3.1 Amélioration temporaire par congélation : Pour les sols fins, la méthode de renforcement temporaire par congélation développée principalement pour les matériaux grenus (sables, graviers), peut être appliquée aux argiles molles et aux limons, lorsqu'aucune autre n'est possible. L'effet de la congélation dépend de la température (il augmente quand la température diminue). Par ailleurs, il faut réaliser la congélation le plus rapidement possible pour limiter le gonflement du sol au dégel.

Les techniques de refroidissement utilisées reposent, comme pour les sables et les graviers, sur la circulation d'un fluide froid (azote liquide, habituellement) dans des tubes enfoncés dans le massif de sol.

Pour les sols grenus, la congélation de l'eau interstitielle d'un sol produit un matériau dont les propriétés sont temporairement améliorées tant que la congélation est entretenue. La congélation a également pour effet de rendre imperméable le sol et de faciliter les travaux de terrassements ou de construction sous le niveau de la nappe. Ces propriétés en font une technique d'amélioration provisoire très efficace, mais dont l'emploi reste limité en raison de son coût élevé. L'augmentation de volume de l'eau lors de sa transformation en glace peut provoquer des désordres dans le voisinage de la zone traitée et doit être prise en compte lors de l'élaboration du projet de traitement. (GHRICI et HARICHANE,2009).



Figure 2 : Stabilisation par congélation.

2.3.2 Amélioration par déshydratation : La déshydratation par la chaleur est très rarement appliquée en géotechnique, elle permet de durcir certaines argiles par exemple. En pratique, la méthode consiste à brûler un carburant dans un forage en utilisant un forage voisin communiquant avec le premier et servant de cheminée de tirage. (AMOURA et MAAMERI,2013).

2.4 : Autres Méthodes d'amélioration des sols :

2.4.1 Amélioration des sols par renforcement des terres :

- A. **Technique de la terre ancrée :** Dans les terres ancrées la résistance est survenue par le développement des pressions de portance autour de l'ancrage à la fin du membre tendu est en contact avec la force. Cette méthode consiste à renforcer le sol (grenu dense, argile raide) par des petites inclusions sous forme de barres en acier installées horizontalement pour améliorer la résistance au cisaillement des sols. Les barres d'acier peuvent aussi être scellées par un coulage multidirectionnel à 45° à 60° environ, rendant ainsi au « rocher » son monolithisme. Elle vise à celles de clouage des parois rocheuses fracturées. (Khebizi, 2011).
- B. **Technique de la terre renforcée :** La terre renforcée est un matériau composite qui consiste en un sol contenant des éléments de renforcement (bandes d'acier galvanisé ou des géo rides plastiques). Le sol grenu est généralement faible en traction en plaçant à l'intérieur de celui-ci des éléments de renforcement alors les forces de traction peuvent être transmises du sol aux éléments. Le matériau composite possède alors une résistance à la traction dans la direction où le renforcement commence à travailler (frottement). Pour les sols fins où l'adhésion entre le remblai et le renforcement est mauvaise et peut être réduite par l'augmentation de la pression interstitielle on utilisera donc des matériaux sandwichs (couche de sable en contact avec les éléments renforçant).

L'efficacité du renforcement est commandée par sa résistance à la traction et la liaison qu'il développe avec le sol adjacent. Les éléments de renforcement sont :

- Bandes d'acier ou d'aluminium.
- Câbles d'acier.
- Matériau polymère, géo synthétiques
- Treillis métalliques.
- Les grilles sont des éléments métalliques ou en polymère arrangés en réseaux rectangulaires (maillages).
- Les fibres sont en géotextiles, métalliques ou en fibres naturels. (GHRICI et HARICHANE, 2009).

2.4.2 Amélioration des sols par inclusion :

A. **Colonnes à module contrôlé** : Les colonnes à module contrôlé sont des inclusions semi-rigides et cimentées avec un module de déformation variant de 500 à 10000 MPA. Elles sont mises en œuvre comme procédé de renforcement de sol. La technique étant la même que celle des inclusions rigides, elle est préférable aux colonnes ballastées lorsque :

- Le sol est trop mou ou organique et n'offre pas d'étreinte latérale suffisante.
- Les charges sont élevées ou les tolérances de tassement sévères les colonnes à module contrôlé sont toujours coiffées d'un matelas permettant la répartition des charges lorsqu'elles doivent supporter un dallage sur sol

Cette technique est sans incidence par l'environnement, ne comportant ni vibration ni battage. Ce type de traitement ne vise donc pas à réaliser des pieux devant supporter la totalité de la charge apportée par l'ouvrage, mais à réduire la déformabilité globale du sol à l'aide d'éléments semi-rigides régulièrement répartis. (Khebizi, 2011).

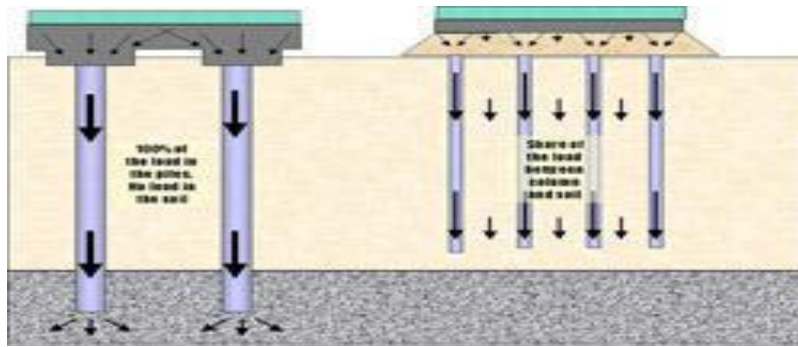


Figure 3 : Colonnes à module contrôlé. (GHRICI et HARICHANE, 2009).

B. **Colonnes ballastées** : Les colonnes ballastées sont des colonnes constituées de matériaux granulaires, sans cohésion, mise en place par refoulement dans le sol et compactés par passes successives. Ces colonnes ne comportent en particulier aucun liant sur leur hauteur. Elles peuvent être réalisées en maillage réguliers ou variables, en lignes, en groupes ou même de manière isolée.

Leur dimensionnement tient compte du type d'ouvrage, de la nature des charges, des tassements absolus et différentiels ainsi que la nature du sol à traiter.

Les avantages de cette méthode sont d'une part, la rapidité de réalisation, et d'autre part le prix compétitif par rapport aux autres techniques existantes. Pour réaliser des colonnes, on peut recourir à plusieurs techniques et procédés d'exécutions sur le terrain. L'amélioration de sol par colonnes ballastées permet :

- La diminution des tassements sous les charges appliquées.
- De diminuer le temps de consolidation
- Contribuer à la stabilité des ouvrages et réduire les risques de liquéfaction du sol dans les zones sismique. (Chardigny& al, 2010).

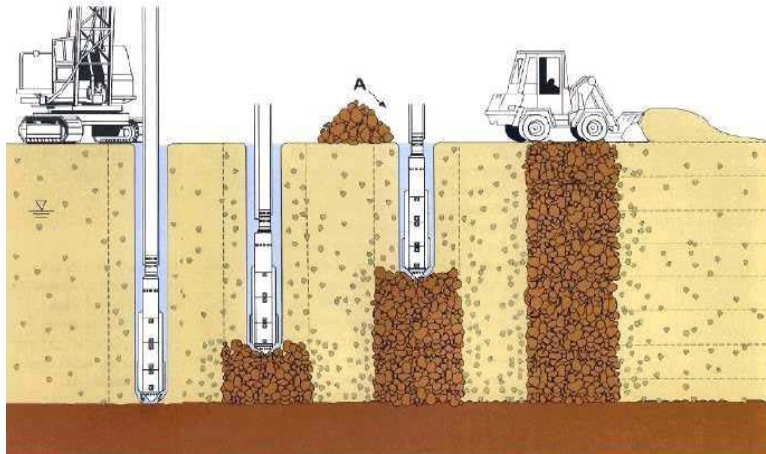


Figure 4 : Mise en œuvre des connes ballastées par voie humide (Keller).

C. **Inclusion rigide** : La Technique des inclusion rigides est un procédé consistant à superposer un matelas granulaire à un réseau d'inclusions rigides verticales afin de tirer parti des transmettre la charge due au poids de l'ouvrage et les charges de service vers le substratum. Elle peut aussi inclure des géotextiles au niveau du matelas granulaire en fonction de l'objectif recherché (étanchéité, joint, drain...). Elle renforce des sols de caractéristiques médiocres lors de la fondation de grand ouvrages (remblais routiers, ferroviaire, bâtiments industriels, réservoir de stockage.....) tout en étant économique. (Khebizi, 2011).

2.4.3 Amélioration des sols par injection : L'injection est un procédé largement utilisé dans les travaux de traitement des terrains dont les caractéristiques mécaniques et/ou hydrauliques initiales sont médiocres insuffisante, en vue de l'implantation d'ouvrages de génie civil (barrages, tunnels ouvrages d'art, etc.). Le procédé consiste à injecter dans le sol, à l'aide d'une technique appropriée, en général à partir de forages, un coulis dont la composition et les caractéristiques sont bien déterminées, suffisamment fluide pour pénétrer dans le réseau poreux du sol. Son rôle va être de « faire prise » avec celui-ci, formant ainsi un matériau composite présentant des caractéristiques améliorées par rapport au sol initial. (AMOURA et MAAMERI, 2013).

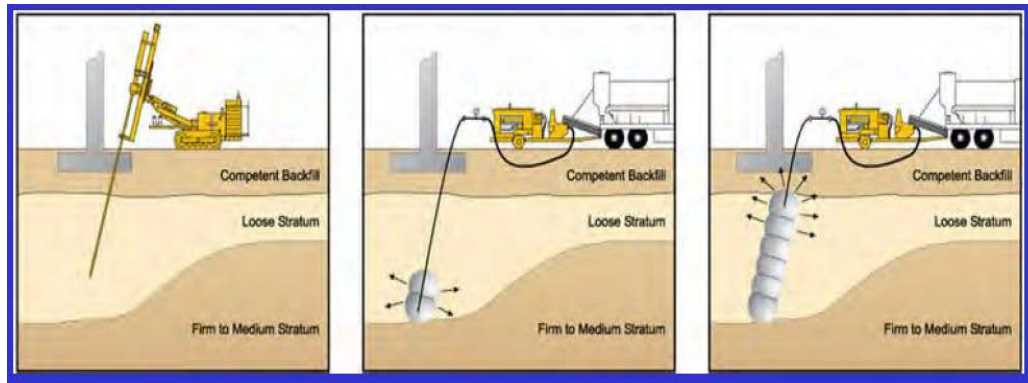


Figure 5 : Amélioration des sols par injection

2.4.4 : Amélioration des sols par rabattement : Il consiste à abaisser la pression des nappes à l'intérieur d'un volume de terrain déterminé, en dessous de la surface extérieure du volume considéré. Il est obtenu par un nombre approprié de captages disposés autour du volume à rabattre et dans lesquels un pompage permanent et assuré.

Plusieurs procédés de rabattement peuvent être distingués, en fonction de la nature des terrains rencontrés :

- Rabattement à pleine fouille, qui consiste à pomper l'eau dans un puisard aménagé au fond de la fouille et creusé d'environ 0,5 à 1 m par rapport à ce dernier ;
- Rabattement par puits filtrant est employés pour les terrains perméables ; les puits sont perforés au moyen d'une technique appropriée, adaptée au terrain, à l'eau claire, à la boue autodestructrice ou tubés. (Khebizi, 2011).

3 : Amélioration des sols par des ajouts minéraux :

La stabilisation chimique est une technique intéressante pour améliorer les propriétés physiques et mécaniques des sols argileux. Aujourd'hui les divers produits et techniques font partie d'une pratique courante des grands ouvrages du Génie Civil à l'échelle mondiale. (AMOURA et MAAMERI, 2013).

L'amélioration via les ajouts minéraux est une technique qui est très largement utilisée de nos jours car non seulement elle concerne la majorité des sols mais en plus

elle peut se faire in situ, avant compactage et aussi sur des matériaux excavés. Elle provoque une modification physico- chimique créant ainsi des réactions d'échanges de base avec les particules d'argile (cation) et les réactions pouzzolaniques (cimentation). C'est réactions corrigent les défauts de perméabilité et augmentent la résistance et la durabilité du sol.

Les ajouts minéraux le plus souvent utilisées sont la chaux, le lait de chaux, le ciment, les ajouts cimentaires (pouzzolane, cendres volantes, laitier, fumée de silice, écorce de riz ...), le bitume, les sels, les polymères. (MARWANA et MUANGONGO, 2015).

Le stabilisant sera choisi selon la nature physique du sol, la figure suivante schématise les conditions d'utilisation chimique. (NEBATI et DRAOU, 2016).

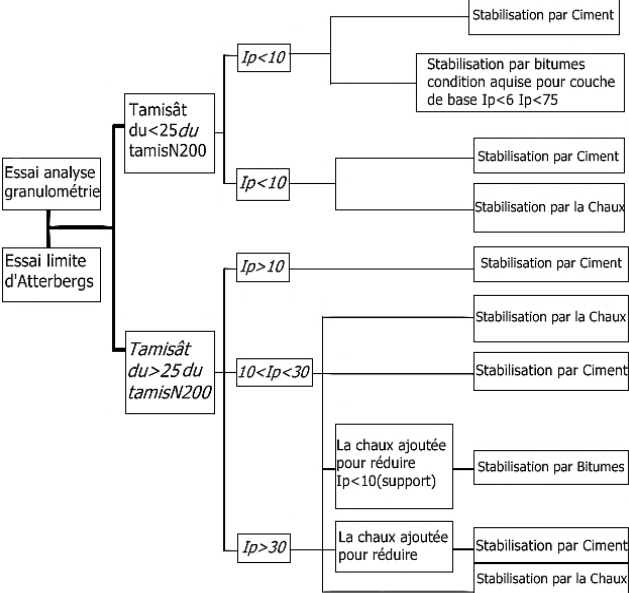


Figure 6 : Conditions d'utilisation de la stabilisation chimique (Dept. of the Army, 1983).

3.1 : Amélioration des sols par ajout du ciment :

L'action de stabilisation par les ciments, est complexe et dépend de la nature du sol, de la teneur en ciment, de la teneur en eau et des conditions de température (JOHSON, 1960). De plus, la présence de la chaux dans les ciments provoque des réactions d'échange. Les pourcentages utilisés varient, comme pour la chaux, de 2 à 6%. Le ciment est parmi les liants les plus fréquemment utilisés dans le traitement de surface. (BELABBACI, 2014).

Dans le cas des sols argileux, l'hydroxyde de chaux formé par l'hydratation du ciment pourra à peu se combiner aux éléments argileux. Dans certains cas, les particules d'argile pourront ralentir la prise du ciment en formant autour des grains une enveloppe protectrice. La composition chimique et minéralogique des argiles ainsi que leur quantité jouent donc un rôle fondamental dans les phénomènes d'interaction qui auront lieu et qui poursuivront dans le temps entre elles et le ciment. (Baron et Oliver, 1992).

3.2 : Amélioration des sols par ajout de la chaux :

Depuis plusieurs décennies, l'utilisation de la chaux pour stabiliser les argiles a connu beaucoup de succès. En effet, plusieurs études ont démontré que les propriétés mécaniques d'un sol traité à la chaux peuvent être modifiées de façon permanente.

Dans certains cas par exemple, un sol stabilisé à la chaux fournit une performance structurelle équivalente à celle d'une fondation en gravier naturel ou en concassé (Bell, 1978).

L'utilisation de la chaux se fait par l'addition des produits calcaires calcinés de monoxyde de calcium (chaux vive) ou d'oxyde de calcium (chaux hydratée).

Généralement, la chaux vive est plus efficace que la chaux hydratée pour l'amélioration des sols. La chaux est plus efficace aux sols argileux que les sols granulaires, par conséquent, les sols présentant des indices de plasticité au-delà de 10 sont les plus ciblés par ce procédé (Figure7).

(a) Epandage



(b) Malaxage



Figure 7 : Chantier de traitement d'un sol à la chaux. (AMOURA et MAAMERI, 2013).

3.3 : Amélioration des sols par ajout de lait de chaux :

(Belarbi A et al , 2012), ont utilisés le lait de chaux pour l'amélioration des caractéristiques des sols dispersifs, ils ont trouvés que l'additif a un effet remarquable sur les propriétés physiques, mécaniques et dispersives de sol .les résultat montrent que le pourcentage de 6% est considéré comme le sommet l'influence de lait de chaux sur caractère dispersif de sol, tel que le sol se transforme d'une classe D4 à une classe D 1 selon la procédure de l'essai d'Emiettage (figure n°7), ainsi l'indice de dispersion est diminuée de 67% vers 10% selon la procédure de sédimentation en parallèle dont la teneur de 6% en lait de chaux. (Bouziane, 2014).






Echantillon	Après 2 min	Après 1 heure	Après 6 heures	Classe de dispersion
Sol naturel				D4
Sol traité a 6% de lait de chaux				D1

Figure 8 : Résultat de l'essai d'Ermitage (Belarbi A., 2012), cité par (Bouziane, 2014).

3.4 : Amélioration des sols par ajout de la cendre volante :

Le traitement de cendres volantes peut efficacement réduire le potentiel de gonflement des argiles fortement plastique et empêcher le gonflement sous les pressions plus petites de base. Ce traitement change la minéralogie du sol traité et produit de nouveaux minéraux secondaires. ZALIHE, 2004, cité par ALLAM, 2001 a étudié la stabilisation des argiles gonflantes par les volantes. Les résultats d'essai en laboratoire sur ces sols indiquent que ces cendres volantes sont efficaces à l'amélioration de la texture et la plasticité des sols traités. (BELABBACI ,2014).

3.5 : Amélioration des sols par ajout des polymères :

Les polymères sont attirés par la surface des argiles quand ils portent des charges positives, et par les extrémités des feuillets quand les charges qu'ils portent sont négatives. La grande taille de ces molécules, permet une sorte d'encapsulage qui limite l'hydratation ultérieure de l'argile.

HACHICHI et al 2005, cité par ALLAM, 2011 ont traité des argiles de Sidi Chahmi et de Mersa El Kébir en présence des polymères ils ont conclu qu'une forte concentration en polymères a pour effet de diminuer le gonflement final, (BELABBACI, 2014).

3.6 : Principe de la procédure :

L'incorporation de l'ajout dans un sol a deux effets immédiats sur le comportement de ce sol :

- ✓ Une modification de la structure du sol se traduisant par la formation de grumeaux stables (granulation, floculation) ;
- ✓ Un assèchement des sols humides (chaux vive).

Un sol est considéré comme apte à l'amélioration si l'effet requis à court terme (en quelques heures) peut être obtenu au moyen d'une dose de chaux économiquement admissible. (Bulletin CRR)

3.7 : Avantages de la procédure :

Par un effet combiné d'assèchement des sols humides (par fixation chimique, développement de chaleur, malaxage et ajout de matière sèche) et de granulation des sols plastiques, la chaux procure aux sols traités les avantages suivants :

- ✓ Faciliter de manipulation des sols et amélioration de la possibilité de compactage.
- ✓ Amélioration de la portance directe et facilité accrue de circulation sur le chantier se traduisant par une accélération des travaux de terrassement.

Pour les sols réagissant bien à la chaux (en général, les sols limoneux et argileux), le mélange de sol –chaux maintient et /ou développe sa portance et ses autres caractéristiques géotechniques à court terme (quelques jours) et à moyen terme (mois/années). (Bulletin CRR).

L'ajout de l'améliorant, réduisant la plasticité des sols par une augmentation immédiate de la limite de plasticité et une diminution de la limite de liquidité, produit des structures maniabiles et faciles à compacter. La quantité optimale pour avoir ces changements est appelée point de fixation de la chaux. Au-delà de ce point, des processus de formation de divers ciments se produisent augmentant la résistance du sol. (BELABBACI, 2014).

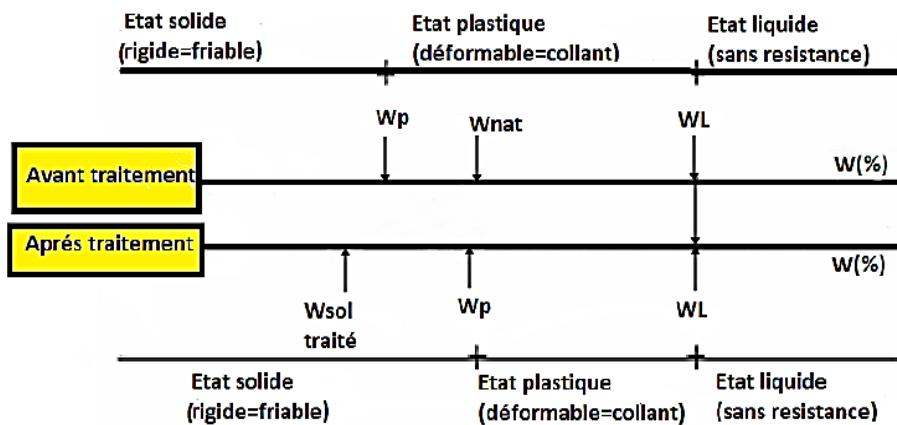


Figure 9 : Variation d'indice de plasticité en ajout de la chaux Bulletin CRR. (AZZOUZ, 2006).

4 : Aperçu sur des argiles

4.1 Définitions des argiles : Les argiles sont des phyllosilicates hydratés formés par l'association de feuillets élémentaires qui s'accolent entre eux pour former des éléments dénommés empilements par certains auteurs (Push et al, 1999), ou cristallites par d'autres (Tessier et Grimaldi, 1993). L'espace entre deux feuillets est appelé espace inter-foliaire. Ces cristallites se rassemblent par des dispositions face –face pour former une particule argileuse. Dans le cas des smectites calciques qui jouent un rôle très important au cours de la

dessiccation et de l'humidification. Le nombre de feuillets de base par particule est variable suivant le type d'argile considéré. (GUEDDOUDA, 2011).

4.2 Les minéraux argileux : (BELABBACI, 2014) explique que les sols argileux se forment par un processus lent d'altération sous l'action du climat, suivi de phénomènes « érosion, de transport et de sédimentation. 90% des minéraux argileux sont d'origine détritique, l'altération peut être physique (désagrégation des minéraux primaires) ou chimique par transformation des minéraux). Certains minéraux argileux précipitent à partir d'une solution (minéraux néoformés).

Il existe donc trois processus de formation des minéraux argileux.

A : Héritage et altération : L'une des origines des minéraux argileux est liée à l'altération physique des roches, En fonction des roches mères et du climat, les minéraux argileux résultant seront différents. En climat froid, l'altération est faible, les minéraux argileux sont identiques ou peu différents des minéraux de la roche (illite et chlorite), ils sont hérités de la roche d'origine. En climat chaud et humide, l'hydrolyse est poussée et donne de la kaolinite en milieu drainé et des smectites en milieu confiné. En climat tempéré et humide, l'altération est modérée, il apparaît des inters stratifiés, des illites, des chlorites dégradées et des vermiculites.

B : Transformation des minéraux argileux par dégradation et aggradation : La transformation des minéraux argileux consiste en une modification du minéral argileux tout en conservant son type de structure (MILLOT, 1964) cité par BELL, 1988.

On distingue les transformations par dégradation (sous traction d'ions) et par aggradation (fixation d'ions supplémentaires). Ces transformations ont lieu aussi bien au cours de l'altération que pendant la sédimentation et la diagenèse.

C : Contexte de formation des sols argileux : La sédimentation océanique argileuse est directement liée au type d'altération régnant sur les continents voisins et dépend donc de la latitude et de la nature de la roche mère, mais aussi de l'éloignement des sources ainsi que des conditions physico-chimiques régnant dans la zone de sédimentation.

Tableau 1 : Occurrence des minéraux argileux dans les sols en fonction du climat (BELABBACI, 2014).

Climat	Origine des argiles	Minéraux fréquents
Glaciaire	Héritage	Illite, chlorite,....
Boréal tempéré	Héritage, transformation	Vermiculite, interstratifiés, illite, Chlorite, smectites,...
Méditerranéen subtropical	Héritage, transformation, Néoformation	Smectites, ...
Desertique	Héritage	Illite, chlorite,...
Equatorial	Néoformation	Gibbsite, kaolinite,...

La nature minéralogique des argiles dépend aussi de la roche mère :

- ✓ La kaolinite provient de l'altération des roches magmatiques grenues et acides (feldspaths principalement) ;
- ✓ L'illite de l'altération des roches magmatiques et métamorphiques ;
- ✓ Les smectites de l'altération des roches volcaniques ;
- ✓ Les attapulgites et sépiolites (argiles fibreuses) sont associés à des dépôts lagunaires.

Ces différentes familles d'argile, associées à d'autres minéraux d'origine détritique (quartz essentiellement) et/ou chimique (calcite, dolomite essentiellement) et à des minéraux accessoires sont les constituants principaux des sols argileux. Leurs caractéristiques mécaniques et géotechniques sont directement liées à la nature des minéraux argileux et aux transformations diagénétiques subies par la suite.

Les marnes sont des matériaux d'origine chimique, biochimique ou détritiques dont la quantité en carbonates est comprise entre 35 et 65 %. Le terme d'argile calcaire est utilisé pour un pourcentage en carbonates compris entre 5 et 35 %.

4.3 Structure des argiles : Les particules d'argile sont formées d'un empilement de feuillets qui sont constitués par l'association de deux unités structurales de base (figure 10), ces feuillets sont formés par la juxtaposition des couches structurales tétraédriques (silice)(figure 10a) et octaédriques (alumine)(figure10b). Les couches d'ions ou d'hydroxyles en disposition hexagonale ou compacte. (GEDDOUDA, 2011).

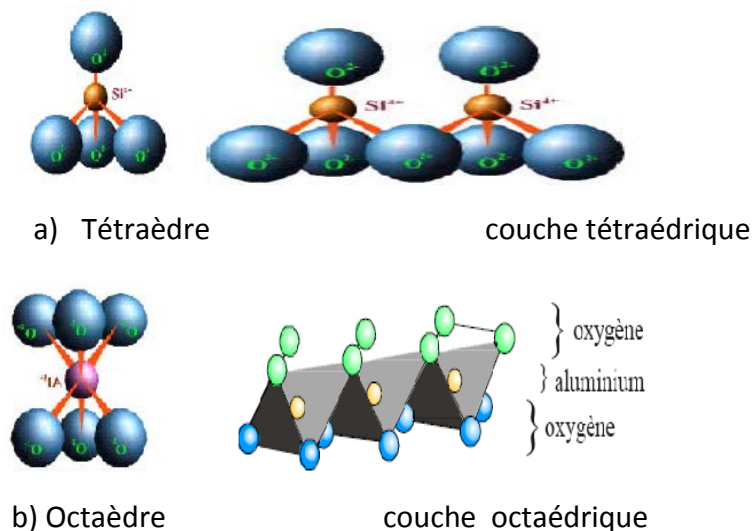


Figure 10 : Couches tétraédriques et octaédriques, cité par (GUEDDOUDA, 2011).

5 : Conclusion

La plupart des méthodes d'amélioration des sols décrites tiennent compte particulièrement de la nature du sol. Dans la pratique, l'application de ces méthodes sont soumise à plusieurs aléas : climat, expérience de main –d'œuvre, vétusté et non – conformité aux normes des appareils et machines. Il doit y'avoir des précautions dans le respect des normes ainsi que dans les méthodes de calcul utilisées pour chaque méthode et pour une bonne réalisation de l'ouvrage.

La méthode de stabilisation par ajouts minéraux semble être la plus pratique et favorable (économie et mise en œuvre) et se perfectionne au fur et à mesure grâce aux études en cours réalisées par les chercheurs en faisant intervenir les différents ajouts et d'autres éléments pouvant influencer le traitement.

Chapitre n° 2 :

*Description de projet et
données globales*

1 : Introduction

Dans le cadre de l'aménagement du parc industriel de la localité D'OULED BENDAMOU MAGHNIA, wilaya de Tlemcen l'entreprise SEROR a été saisie par la direction des travaux publics pour entamer et établir l'étude et la réalisation d'un pont.

Notre étude a été effectuée sur Trois sols qui sont issus de sites de Tlemcen (nord-ouest d'Algérie), les trois sols sont des argiles proviennent de la région de OULED BENDAMOU MAGHNIA.

Pour cela dans ce chapitre nous présentons le projet dans lequel s'inscrit notre étude, ainsi que les caractéristiques géologiques, géographique et techniques.

2 : Présentation du projet

L'ouvrage est situé à la localité D'OULED BENDAMOU MAGHNIA près du parc industriel de la Daïra de MAGHNIA wilaya de Tlemcen, type pont à poutres en béton précontraint de deux travées de 33.40 ml, les poutres sont au nombre de sept (07) par travée espacées de 1.5 m et surmontées par une dalle en béton armé de 25cm d'épaisseur, une pile centrale d'environ 20 de hauteur et deux culées avec un volume de remblai dépassent les 35 000 M³ pour l'ensemble du projet afin d'assurer la transaction entre les différents points dure représentent l'ouvrage faisant l'objet d'une caractérisation spécifique pour la pérennité de l'ouvrage. (YOUSSARI et NMICHE, 2017)

Ce dernier a pour objet le franchissement de l'Oued El Abbes à l'aide de deux travées et raccordement de la zone industrielle à la route nationale **RN35**. (YOUSSARI et NMICHE, 2017)



Figure 11 : Plan d'implantation. (YOUSSARI et NMICHE, 2017)



Figure 12 : Vue de l'ouvrage au niveau d'Oued El Abbas. (YOUSSARI et NMICHE, 2017).

3 : Aperçu géologique de la région :

MAGHNIA est située à l'extrême nord-ouest de l'Algérie. L'accessibilité à cette plaine à permit de relier la ville de MEGHNIA au nord à GHAZAOUT et NEDROMA par la RN 46, à l'est à Tlemcen par la RN 07 sur une distance de 75 Km et à Oran par la RN 35 à l'Ouest et sur une distance de 27 Km. Elle se relie à Oujda par la RN 07.

Cette zone est caractérisée par une richesse en substances utiles non métalliques, d'origine sédimentaire (calcaires, dolomies) à savoir:

- Les dépôts du Jurassique supérieur et moyen, qui sont les plus anciens et affleurent à l'Est du côté des monts de Tlemcen. Ils sont constitués de micaschistes et de schistes satinés.
- Les dépôts du crétacé se rencontrent au Nord, et sont couverts partiellement de dépôts quaternaires.
- Les dépôts du Tertiaire sont représentés par les basaltes et tufs associés .Ils se trouvent le long de la plaine du l'Oued Tafna. C'est là où se trouvent les gisements de bentonite de la région.
- Les dépôts du Quaternaire : Sur ces dépôts, il n'y a pas d'études détaillées. Les conclusions sont basées sur des critères lithologiques en se basant sur les observations de terrain. On distingue un complexe quaternaire représenté par des dépôts lacustre-alluviaux, où dominant des couches argileuses avec des graviers. Ces roches occupent la partie centrale de la plaine et se prolongent vers l'Est, où se trouve le gisement de bentonite (KOULOUGHELI, 2007) et (BELABBACI, 2014).

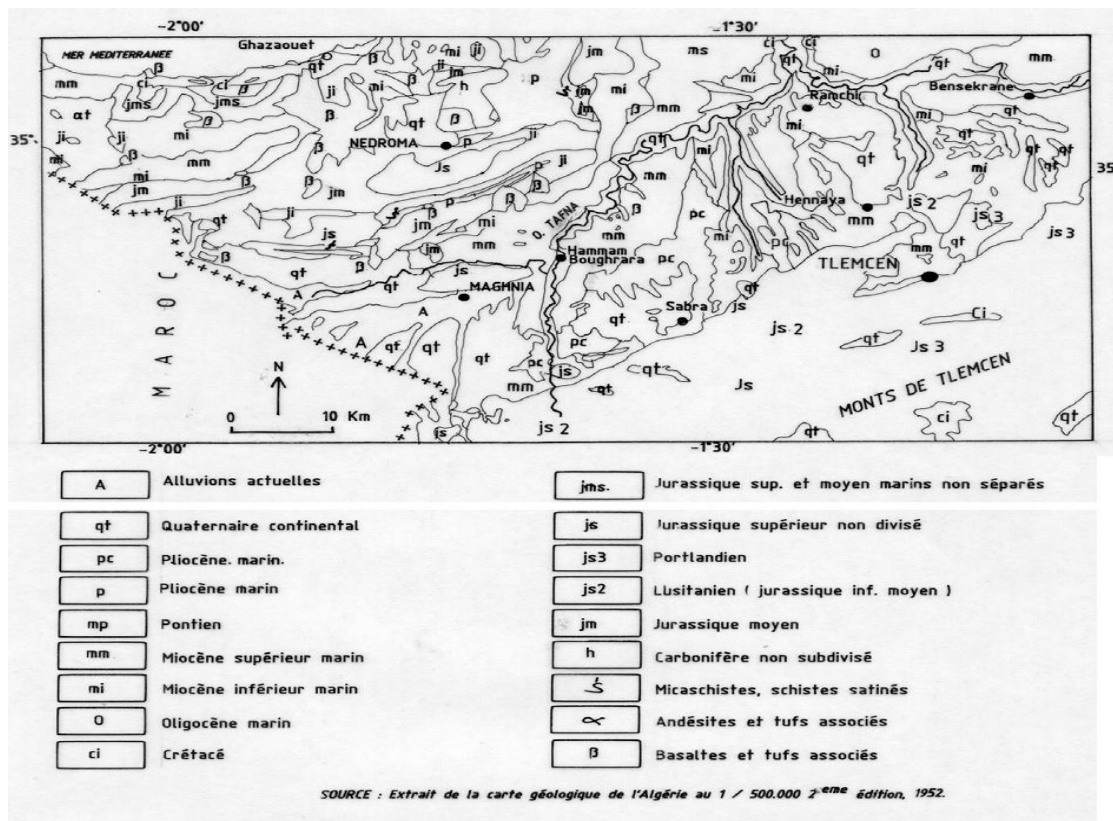


Figure 13 : Carte géologique de la région de MAGHNIA (Extrait de la carte géologique de l'Algérie au 1/500.000. 2eme Edition, 1952).

4 : Climat de la région

La région dite a un climat méditerranéen, repose sur l'opposition entre un hiver océanique où la Wilaya est ouverte aux dépressions maritimes et un été désertique qui provoque la remontée et le stationnement d'une chaleur persistante durant toute la saison. La pluviométrie est d'une manière générale soumise à une double irrégularité inter saisonnière et interannuelle.

En se basant sur les quantités de précipitations pour les dix dernières années : L'année la plus pluvieuse est celle de 2003 avec 498,2 mm; l'année la moins pluvieuse est celle de 1998 avec un total de 204,9 mm.

5 : Données géotechnique de site D'OULED BENDAMOU

La structure des strates du terrain de la zone du pont, selon les données géotechniques fournies par le laboratoire des travaux publics de l'ouest LTPO, est comme suite :

Tableau 2 : Sondage de reconnaissance (LTPO, 2016), (YOUSSARI et NMICHE, 2017)

Couche	profondeur	Nature de sol
1	0-1.0 m	Terres végétales.
2	1.0 - 8.40 m	Tout venant d'oued composé d'argile sableuse et galets de différentes tailles.
3	8.40 - 23.0 m	Marne jaunâtre sableuse compactée, concrétionnée par endroit devenant pâteuse à mi-raide induré vers les 10.0 m de profondeur renfermant un passage de sable vers 16.0 m et des conglomérats gréseux à partir de 18.40 m

Ce rapport dégage quelques conclusions qui permettent de donner le mode, l'ancrage et le taux de portance des fondations sur la base des résultats des investigations géotechniques in situ.

6 : Conclusion

On se base sur ce qui est en dessus type et importance du projet d'une part et sur l'évidence dite que pour bien terminer un projet, il faut bien le débiter

Il a été convenu que le remblai doit être exécuter uniquement par les matériaux locaux souhaitable brute ou améliorer dans le cas extrême situés dans les limites foncières du projet pour des raison non seulement économique mais environnementales aussi sans

oublier le coté technique et la maitrise du procéder dans le besoin par l'entreprise de réalisation des terrassement STARR Tlemcen. A cet effet, une identification complète des échantillons prélevés a différentes profondeurs a été effectuer à savoir l'analyse granulométrique (NF P 94-056) et (NF P 94-057), limites d'Atterberg (NF P 94-068), valeurs de bleu de méthylène (NF P 94-068), essais Proctor (NF P 94-093), etc. relèvent que l'utilisation adéquate de ces matériaux (NF 11-300) nécessite un traitement conformément aux recommandations du guide technique des terrassement routier. Dans ce sens le chapitre suivant répond à cette inquiétude.

Chapitre n° 3 :

Traitement des sols

1 : Introduction :

Le traitement des sols est une technique qui s'est développée très rapidement en Europe et en Amérique, et qui est encore amenée à connaître une importante évolution. Facile à mettre

en œuvre, économique et efficace, elle permet d'éviter de lourds travaux de terrassement destinés à rejeter les sols inadéquats et à faire appel à des matériaux d'emprunt de qualité issu de carrières qui sont utilisés parfois dans le même but, et aussi d'éviter, de détériorer le réseau routier existant par le transport de ces matériaux d'emprunt.

Plusieurs auteurs ont tenté d'appliquer des techniques de stabilisation à ces sols par additifs; on cite parmi ces techniques la stabilisation des sols gonflants la chaux, et le ciment, les polymères, le sable.

Ce chapitre est consacré à l'étude au laboratoire de la stabilisation par l'utilisation de lait de chaux ce choix s'explique par le fait que cette méthode possède énormément d'avantages notamment en ce qui concerne le coût, l'amélioration des propriétés des sols, la facilité d'exécution

Dans ce qui suit on va présenter l'effet des différents pourcentages de chaux et lait de chaux sur les paramètres physico chimiques dans le but d'asseoir un choix sur un pourcentage, qui nous donne une meilleure amélioration des sols.

2 : Identification des sols :

2.1 : Analyse granulométrique :

2.1.1 Principe de l'essai :

- L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes.
- Les masses des différents refus et tamisât sont rapportées à la masse initiale du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme graphique.



Figure 14 : Machine de vibration

2.1.2 Objectif :

- ✓ L'analyse granulométrique consiste à déterminer la distribution dimensionnelle des grains constituant un granulat dont les dimensions sont comprises entre 0,08 et 40m.

2.1.3 Résultats :

- Peser le refus du tamis ayant la plus grande maille : soit R_1 la masse de ce refus.
- Poursuivre la même opération avec tous les tamis de la colonne pour obtenir les masses des différents refus cumulés ...
- Les masses des différents refus cumulés R_i sont rapportées à la masse totale de l'échantillon m_1 .
- Les pourcentages de refus cumulés ainsi obtenus, sont inscrits sur la feuille d'essai. Le pourcentage des tamisats cumulés sera déduit.

Pour le traçage de graphe granulométrique :

- Il suffit de porter les divers pourcentages des tamisats cumulés sur une feuille semi- logarithmique (Tableau) :
- en abscisse : les dimensions des mailles, échelle logarithmique
- en ordonnée : les pourcentages sur une échelle arithmétique.
- La courbe doit être tracée de manière continue. (Figure)

Tableau 3 : Analyse granulométrique par tamisage

D. des tamis (mm)	Pourcentage des passants		
	Matériau 1	Matériau 2	Matériau 3
/			
40	100	94,95	100
31,5	100	87,27	94,71
25	94,01	86,33	93,26
20	89,81	82,92	91,88
16	86,88	74,59	88,24
12	84,38	72,31	87,35
10	80,13	64,82	84,27
8	75,59	59,18	80,78
6,3	70,91	52,69	77,09
5	67,85	48,44	73,98
4	63,82	40,38	70,05
3,15	60,28	35,21	66,8
2,5	55,98	29,12	62,34
2	51,23	24,72	58,85
1,25	39,87	14,01	47,94
1	33,61	9,48	41,3
0,8	33,54	9,46	41,27
0,63	30,53	7,94	37,93
0,5	26,33	7,32	34,65
0,4	23,66	3,71	28,85
0,315	20,99	2,81	25,89
0,2	16,89	1,83	20,4
0,125	12,6	0,89	10,53
0,1	11,43	0,66	9,16
0,08	10,32	0,41	3,52

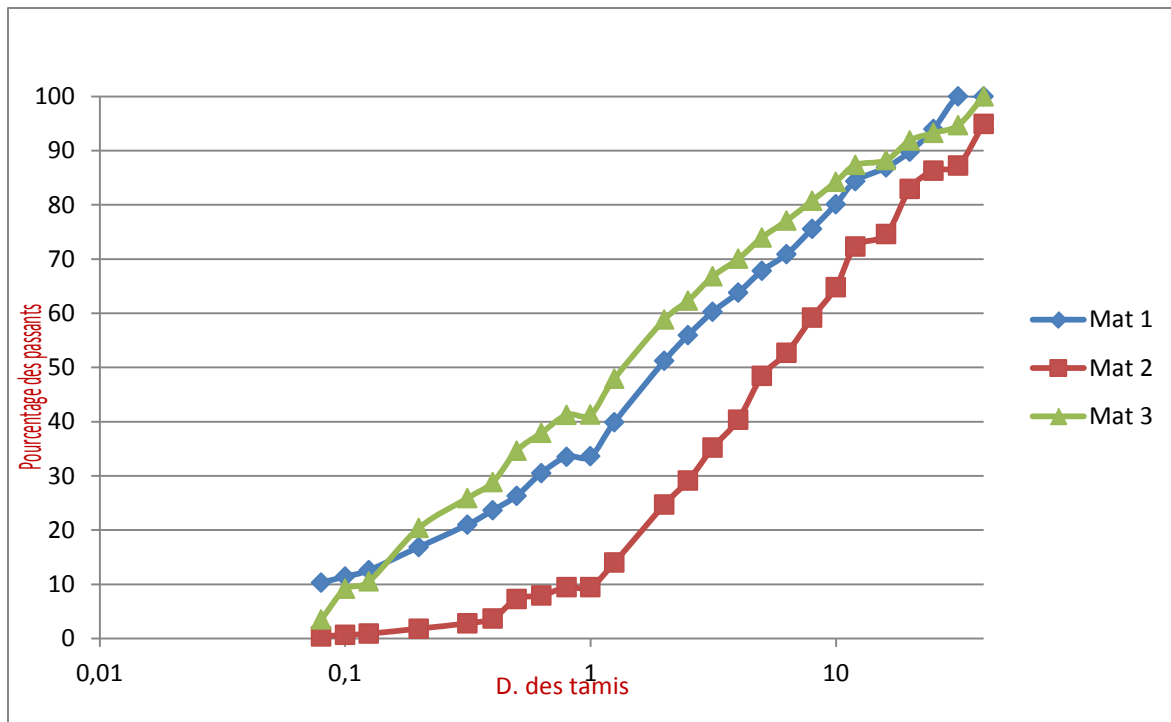


Figure 15 : Courbe granulométrique

2.2: Les limites d'Atterberg

2.2.1 Introduction : Les limites d'Atterberg sont des essais qui permettent de définir des indicateurs qualifiant la plasticité d'un sol, et plus précisément de prévoir le comportement des sols pendant les opérations de terrassement, en particulier sous l'action des variations de teneur en eau. Notons que cet essai se fait uniquement sur les éléments fins du sol et il consiste à faire varier la teneur en eau de l'élément en observant sa consistance, ce qui permet de faire une classification du sol.

2.2.2 But de l'essai : Le but de ces tests est de déterminer les limites de consistance qui sont exprimées en termes de teneur en eau marquant les limites entre état solide, plastique, et liquide. Il est important de noter que ces tests ne s'appliquent que pour les sols fins, définis comme ayant des grains de diamètres inférieurs à 0.06 [mm].

2.2.3 Résultats :

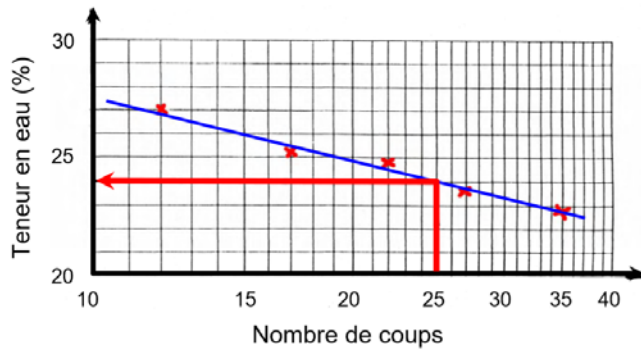
A. Détermination de la limite de liquidité :

On utilise la coupole de Casagrande, qui consiste en un appareillage composé d'un bol et d'un arbre à came permettant de transformer le mouvement de rotation en translation, on arrive donc à élever le bol d'une certaine hauteur et de le laisser retomber sur un plan rigide. Pour réaliser ce premier test, il faut :

- ✓ Humidifier l'échantillon de sol fin
- ✓ L'homogénéiser
- ✓ Etaler l'échantillon dans le bol, de manière à avoir une épaisseur à peu près constante, de 1 [cm], avec une surface horizontale
- ✓ Appliquer une rainure au milieu, séparant l'échantillon en deux parties distinctes et égales, de manière à voir le fond du bol
- ✓ Tourner la manivelle en comptant la norme de fois que le bol s'est élevé puis rabattu jusqu'à ce que la fente se referme.
- ✓ Récupérer l'échantillon, le peser, et calculer sa teneur en eau.



Figure 16 : Préparation des échantillons pour déterminer la limite de liquidité



$$WL = W \left(\frac{N}{25} \right)^{0.121}$$

Avec : WL= teneur en eau correspondant à la limite de liquidité;

W = teneur en eau de la pâte de sol;

N = nombre de chocs correspondants à w.

Tableau 4 : Classification proposée par Dakshanamurthy et Raman 1973 (Azzouz F-Z, 2006)

Limite de liquidité W_L	Classification
0-20	Non gonflant
20-35	Gonflement faible
35-50	Gonflement moyen
50-70	Gonflement élevé
70-90	Gonflement très élevé
90	Gonflement critique

B. Détermination de la limite de plasticité :

Pour déterminer cette limite :

- ✓ Prendre un échantillon séché du sol fin
- ✓ Y ajouter un peu d'eau et homogénéiser le mélange
- ✓ Former trois fil de 3 [mm] de diamètre et de 10 [cm] de longueur sur le modèle d'une petite barre de fer

- ✓ Rouler les fils sur une planche de bois, servant à l'assécher au fur et à mesure, jusqu'à l'apparition des premières fissures. Les rétrécir si nécessaire pour maintenir la même longueur (10 [cm])
- ✓ Récupérer l'échantillon, le peser, et calculer sa teneur en eau. (F.Weill et al,2010)



Figure 17 : Détermination de limite de plasticité

C. Indice de plasticité I_p :

$I_P = W_L - W_P$ (F.Weill et al,2010)

Habituellement : $W_p < \text{teneur en eau des sols sur site} < W_L$

Tableau 5 : Résultats obtenus d'après l'essai de les limites d'Atterberg

	Matériau n°1	Matériau n°2	Matériau n°3
W_L	49	51	43
W_p	26,5	29	22
I_p	22,5	22	21

D'après nos résultats et le tableau de classification (tableau 5) on détermine que :

- ✓ Le matériau n°1 et le matériau n°3 sont des sols moyennement gonflant
- ✓ Le matériau n°2 est un sol avec un gonflement élevé

2.3 : Essai au bleu de méthylène :

2.3.1 **Objectif et principe de l'essai** : L'essai au bleu de méthylène, ou « essai au bleu », est utilisé pour déterminer l'argilosité d'un sable, d'un granulat et plus généralement d'un sol.

L'essai consiste à déterminer la quantité de particules argileuses présentes dans l'échantillon. Pour cela on utilise du bleu de méthylène, substance adsorbée de préférence par les argiles.

L'essai consiste à mesurer la quantité de bleu de méthylène fixée par 100 g de la fraction granulaire de sol analysé.

2.3.2 **Mode opératoire** :

- ✓ Tamiser l'échantillon à étudier au tamis 5 mm.
- ✓ Prélever une masse de 120 gr.
- ✓ Calculer la teneur en eau W de la prise d'essai.
- ✓ Verser un échantillon de 30 gr de sol sec dans le Bécher et ajouter avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. Agiter sans arrêt le mélange à l'aide de l'agitateur à ailettes.
- ✓ Ajouter 5 cm³ de bleu de méthylène dans le Bécher.
- ✓ Prélever une goutte de mélange et la placer sur papier filtre.
 - Si la tache centrale est entourée d'une auréole bleu turquoise, le test est positif. Dans ce cas l'essai est terminé, les particules argileuses sont alors saturées en Bleu de Méthylène. On recommence l'essai à l'identique, cinq fois à intervalle d'une minute pour le confirmer.
 - Si la tâche est entourée d'une auréole humide incolore, le test est négatif. Dans ce cas, on ajoute du bleu de méthylène par prises de 5cm³ jusqu'à ce que le teste soit positif. On répète l'essai à l'identique, cinq fois à intervalle d'une minute pour le confirmer.

2.3.3 **Interprétation** : Calculer la valeur au bleu du sol (VBS) en appliquant la formule suivante :

$$VBS = \frac{B}{m_s} \times C \times 100$$

B : masse de bleu introduite dans le b cher (gr)

Ms : masse sèche de la prise d'essai (gr)

C : proportion de 0/5 mm soumis à l'essai dans la fraction 0/5 du matériau sec

La VBS est une grandeur qui exprime globalement la quantité et l'activité de l'argile contenu dans le matériau étudié

Le GTR retient 6 seuils:

0,1 : seuil d'insensibilité à l'eau.

0,2 : seuil au-dessus duquel apparaît à coup sûr la sensibilité à l'eau.

1,5 : seuil entre les sols sablo-limoneux et sablo-argileux.

2,5 : seuil entre les sols limoneux peu plastiques et ceux de plasticité moyenne.

6,0 : seuil entre les sols limoneux et argileux.

8,0 : seuil entre les sols argileux et très argileux.

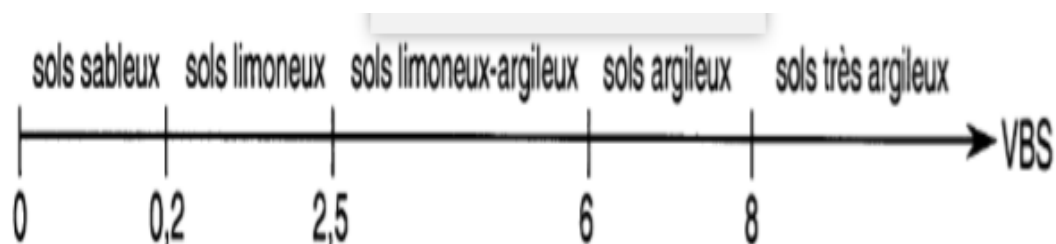


Figure 18 : Echelle GTR



Figure 19 : Agitation de mélange sols et bleu



Figure 20 : Prélèvement des gouttes de mélange et les placer sur papier filtre

2.3.4 Résultats :

D'après les tests effectués on a obtenu les résultats qu'on a ensuite comparer au GTR.

✓ **Matériau n°2**

$VBS = (50/50) * 0,6 * 100 = 60 \Rightarrow$ Le sols sont limoneux

✓ **Matériau n°1**

$VBS = (180/50) * 0,6 * 100 = 216 \Rightarrow$ Le sol est limoneux

✓ **Matériaux n°3**

$VBS = (125/50) * 0,6 * 100 = 150 \Rightarrow$ Sol limoneux

2.4 Essais proctor :

L'essai Proctor est un essai de compactage exécuté en laboratoire qui a pour but de déterminer l'influence de la teneur en eau (W , exprimée en %) d'un matériau sur sa compactibilité (exprimée par la masse volumique sèche en g/cm^3 ou en kg/m^3) l'essai est effectué selon la norme (NF P 94-093). Concernant notre travail, on a utilisé le compactage pour mesuré la succion des trois matériaux ainsi pour déterminer l'indice CBR des déférentes teneures en eau et densités sèches. Le compactage de l'échantillon de sol est réalisé dans un moule modifié, avec une dame normalisée et modifié, et selon la norme (NF P 94-093). La teneur en eau et le poids spécifique sec après compactage du sol sont mesurés. Le moule choisi pour l'opération de compactage est de type CBR.



Figure 21 : Moule CBR avec une dame

2.4.1 Manipulation :

- une quantité calculée pour obtenir une densité sèche précise est humidifié à des teneur en eau différente (5% ; 10% ; 15%) et divisé en trois part égaux
- Introduire alors la quantité de matériau pour que la hauteur de la première couche après compactage soit au tiers de la hauteur de moule
- Compacté cette couche avec la dame correspondante en appliquant une énergie de compactage afin que toute la quantité calculé soit dans le moule et répéter l'opération pour trois masse volumique (1,55 t/m³, 1,65 t/m³, 1,75 t/m³)
- peser l'ensemble du moule avec le matériau, Pour chaque éprouvette compactée, on a calculé :
 - ✓ la teneur en eau
 - ✓ la densité sèche de matériau



Figure 22 : Appareil de compactage

2..5 : Essai IPI (Indice CBR Immédiat) :

L'essai permet de mesurer la portance d'un matériau compacté. Il consiste à comparer la résistance au poinçonnement d'un matériau à tester à celle d'un matériau de référence californien (grave naturelle). L'essai est réalisé en enfonçant à vitesse constante un poinçon cylindrique dans l'axe de l'éprouvette à la cadence normalisée de 1,27 mm/min sur des éprouvettes de sol compactées à l'énergie Proctor dans des moules CBR. On mesure en continu la force appliquée en fonction de l'enfoncement du poinçon (généralement jusqu'à 10 mm). Après l'essai, on détermine l'effort de pénétration à appliquer au sol pour observer des enfoncements de 2,5 et 5 mm (respectivement P2, 5 et P5). L'indice IPI (exprimé en %) est défini comme étant la plus grande des deux valeurs suivantes:

$$IPI_{25} = (100 * F_{25}) / 13,35$$

$$IPI_{50} = (100 * F_{50}) / 19,93$$

$$IPI = \max (IPI_{25} ; IPI_{50})$$

Où:

F25 : Force [kN] à 2,5 mm d'enfoncement

F50 : Force [kN] à 5 mm d'enfoncement

13,35 : Force [kN] à 2,5 mm d'enfoncement pour le matériau type

19,93 : Force [kN] à 5 mm d'enfoncement pour le matériau type

Le poinçonnement est réalisé sur toutes les éprouvettes de l'essai Proctor, on peut ainsi établir un graphique CBR/teneur en eau au compactage (B.Narimene, N.Asma, 2017)



Figure 23 : Des moules CBR



Figure 24 : Appareille CBR

3 : Effet des améliorants sur les caractéristiques des sols :

3.1 : Préparation des échantillons :La méthodologie suivie pour cette étude consiste en premier lieu à réaliser des mélanges sols et la chaux, sols et lait de chaux à des pourcentages bien déterminés (2%, 4%, 6%, 8%, 10%), sur ces mélanges, les paramètres physico-chimiques seront déterminés



Figure 25 : Préparation des échantillons sols et chaux

3.2 : Effet de la chaux

Tableau 6 : Les résultats obtenus d'après les essais effectués en ajoutant la chaux

chaux							
%	/	0	2	4	6	8	10
Matériau n°1	W _L	49,0	48,0	47,5	46,5	46,0	47,0
	W _p	26,5	27,5	28,5	30,5	32,5	32,0
	I _p	22,50	20,50	19,00	16,00	13,50	15,00
	W _O	7,0	7,5	8,5	9,0	10,0	9,5
	G _d	1,625	1,575	1,500	1,450	1,400	1,425
Matériau n°2	W _L	51,0	50,5	48,0	47,0	46,5	48,5
	W _p	29,0	31,5	32,5	34,0	34,5	33,0
	I _p	22,00	19,00	15,50	13,00	12,00	15,50
	W _O	6,0	6,5	7,0	8,0	9,0	8,5
	G _d	1,555	1,500	1,450	1,425	1,400	1,415
Matériau n°3	W _L	43,0	42,5	41,0	39,0	42,0	43,0
	W _p	22,0	23,0	24,0	25,0	26,0	26,5
	I _p	21,00	19,50	17,00	14,00	16,00	16,50
	W _O	7,0	7,5	8,0	9,0	7,0	6,0
	G _d	1,650	1,625	1,575	1,555	1,600	1,625

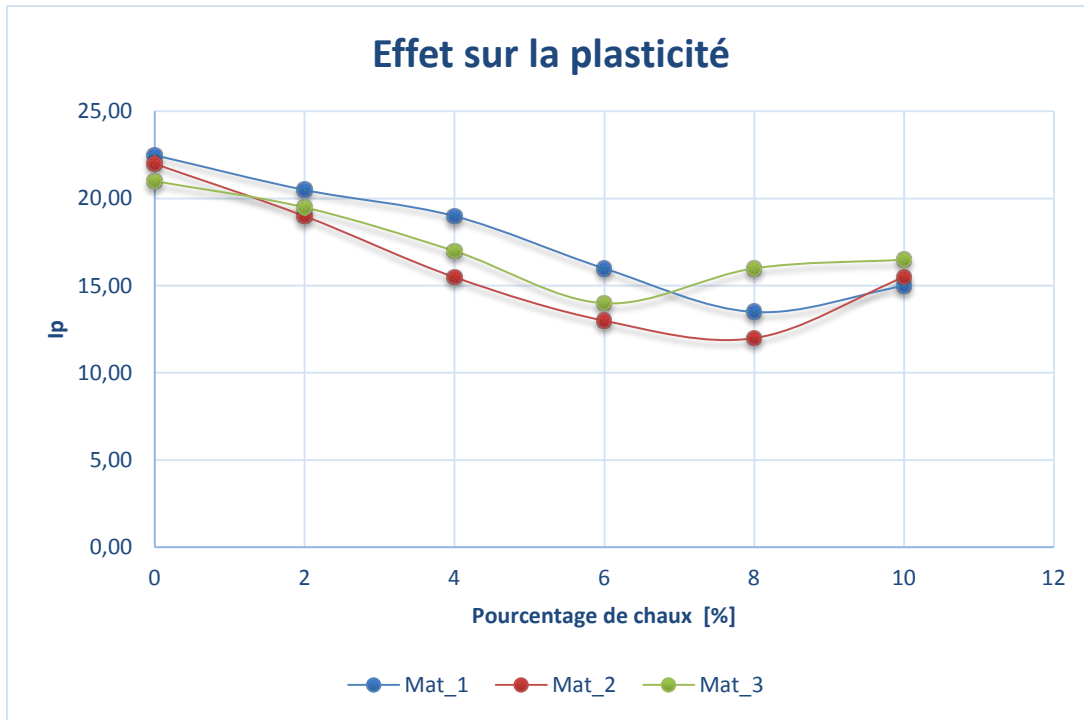


Figure 26 : L'effet de la chaux sur les indices de plasticité

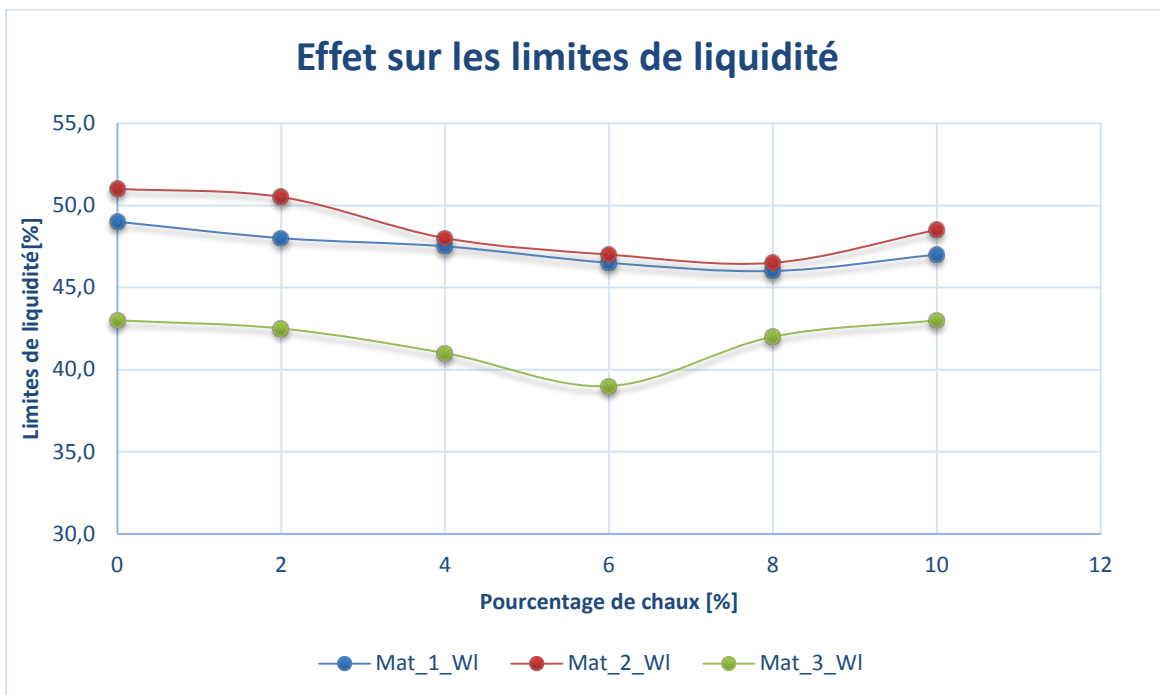


Figure 27 : L'effet de la chaux sur les limites de liquidité

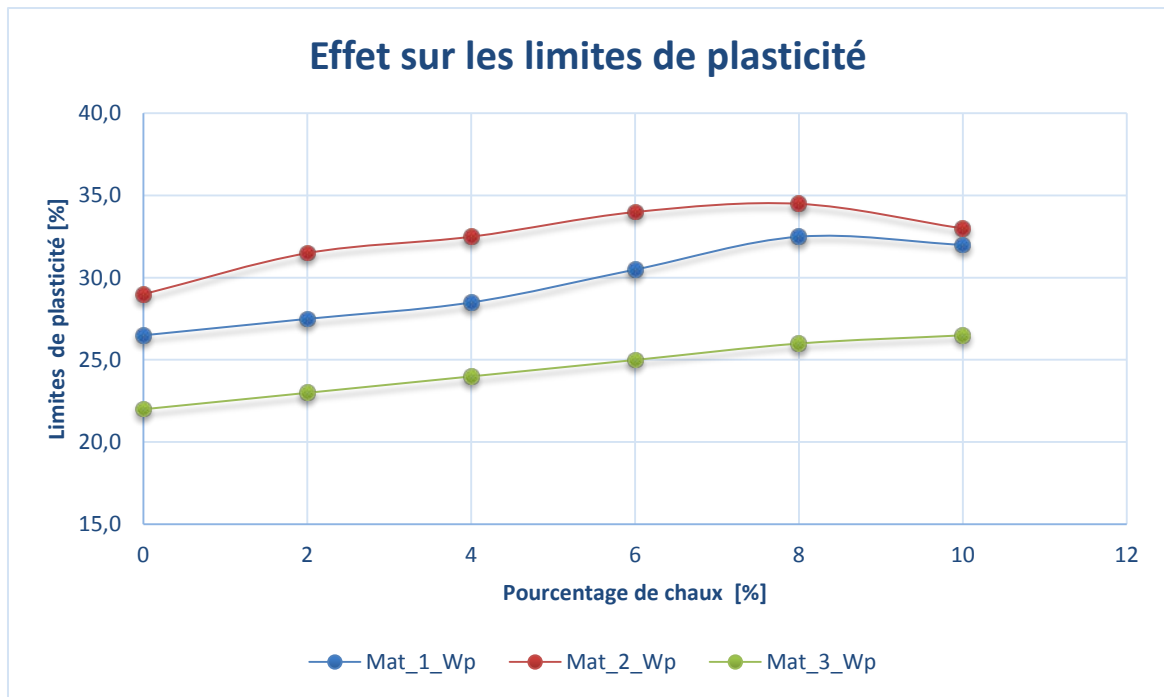


Figure 28 : Effet de la chaux sur les limites de plasticité.

On observe que l'indice de plasticité «IP » diminue fortement avec la quantité de chaux ajoutée jusqu'à 8 % puis diminue plus faiblement avant de se stabiliser pour des pourcentages plus élevés.

Dans notre cas, on constate que le changement maximal dans la plasticité est obtenu à 9% de chaux ajoutée. Pour le critère de changement dans la plasticité, on désigne donc 8% de la teneur en chaux nécessaire pour la réaction à court terme.

3.3 : Effet de lait de chaux :

Tableau 7 : Les résultats obtenus d'après les essais effectués en ajoutant lait de chaux

Lait de chaux								
%	/	0	2	4	6	8	9	10
Matériau n°1	W _L	49,0	48,5	47,0	46,5	45,0	44,5	46,0
	W _p	26,5	27,0	28,0	29,5	30,0	30,5	28,0
	I _p	22,50	21,50	19,00	17,00	15,00	14,00	18,00
	W _O	7,0	8,0	9,0	10,0	10,5	11,0	9,5
	γ _d	1,625	1,600	1,575	1,515	1,475	1,450	1,500
Matériau n°2	W _L	51,0	50,5	49,0	47,0	47,5	47,0	48,5
	W _p	29,0	29,5	30,5	31,0	33,0	33,5	32,0
	I _p	22,00	21,00	18,50	16,00	14,50	13,50	16,50
	W _O	6,0	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	9,0
	γ _d	1,555	1,525	1,515	1,500	1,450	1,415	1,475
Matériau n°3	W _L	43,0	42,0	41,0	40,0	39,0	40,5	41,0
	W _p	22,0	23,0	23,5	24,0	24,5	23,0	22,5
	I _p	21,00	19,00	17,50	16,00	14,50	17,50	18,50
	W _O	7,0	7,5	8,0	9,0	9,5	8,5	8,0
	γ _d	1,650	1,635	1,615	1,575	1,550	1,575	1,600

Le gonflement des sols argileux est par fois corrélé avec certain paramètres physico-chimiques. Afin d'étudier l'influence de la stabilisation sur ces paramètres, des mesures de limites d'Atterberge ont été effectuées avec le lait se de chaux a différents pourcentages.

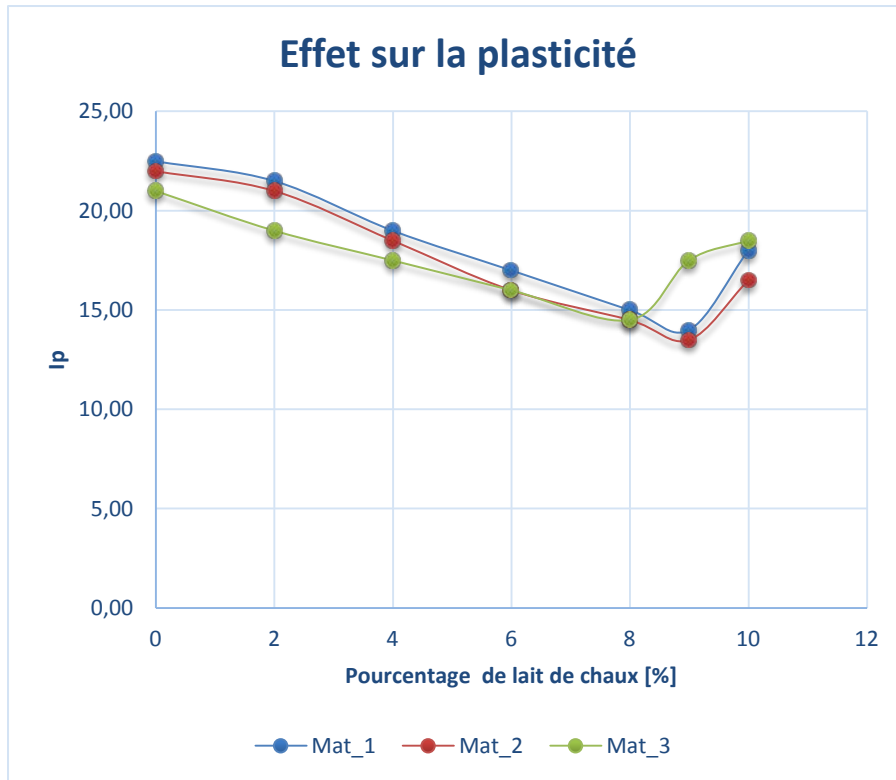


Figure 29 : Effet de lait de chaux sur les indices de plasticité

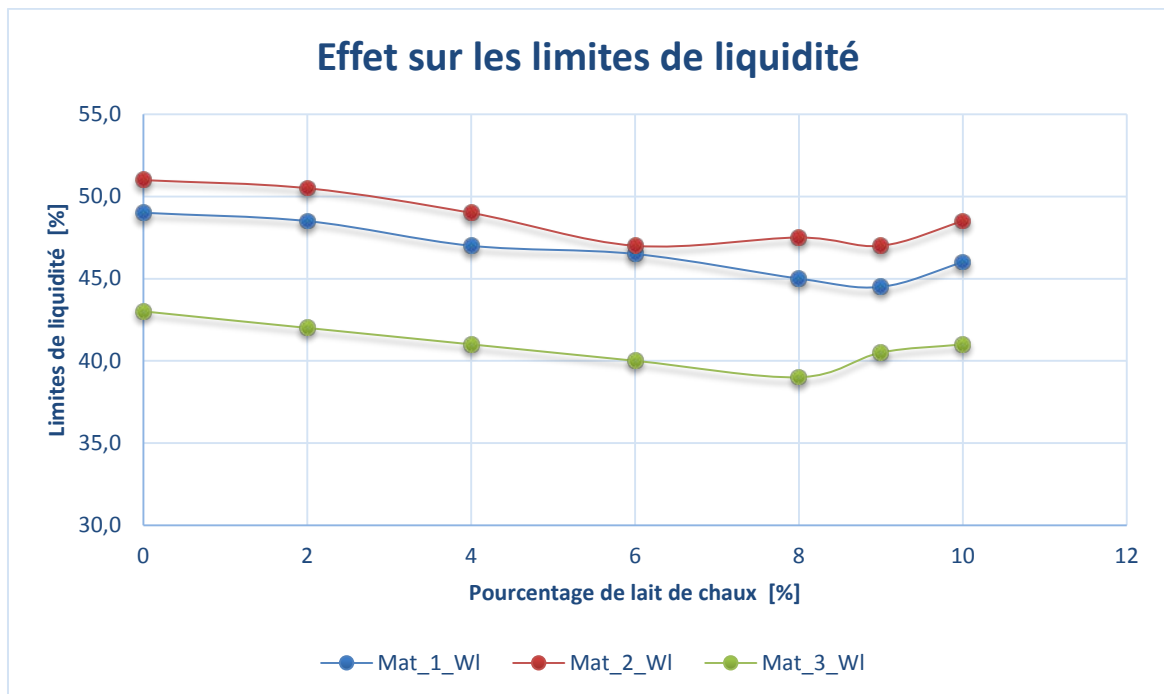


Figure 30 : Effet de lait de chaux sur les limites de liquidité

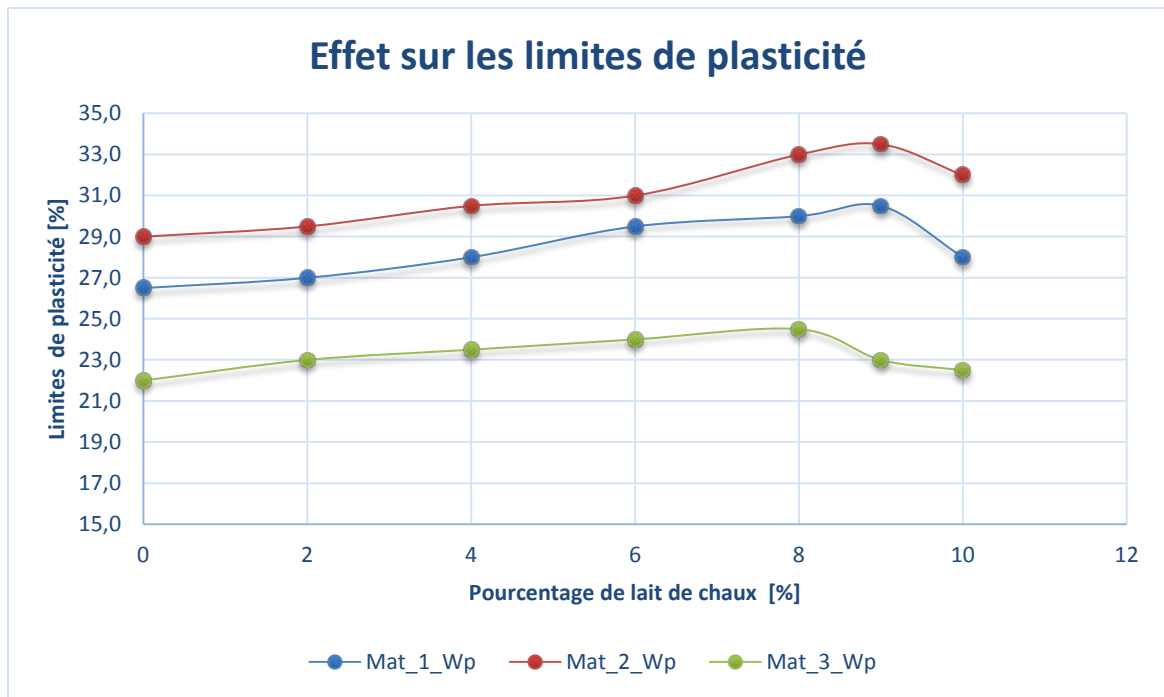


Figure 31 : Effet de lait de chaux sur les limites de plasticité

Les figures illustrent le chemin suivi par les sols traités suite à un traitement à 2%, 4%, 6%, 8%, et 10% de lait de chaux.

On remarque que l'argile qui est de plasticité forte voit, après traitement au lait de chaux, sa consistance évoluer vers une faible plasticité. Cette évolution de la consistance liée au pourcentage de lait de chaux, se traduit par une diminution de l'indice de plasticité.

3.4 : Effet de la chaux/lait de chaux sur l'essai de compactage :

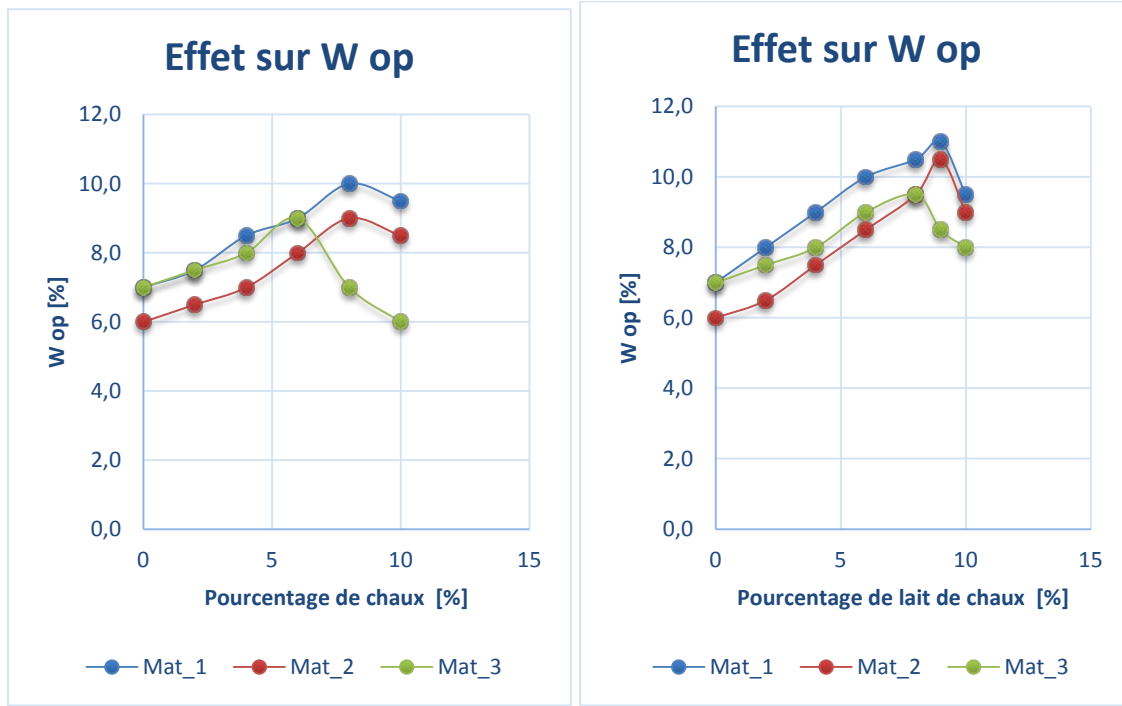


Figure 32 : Effet sur la teneur en eau optimale

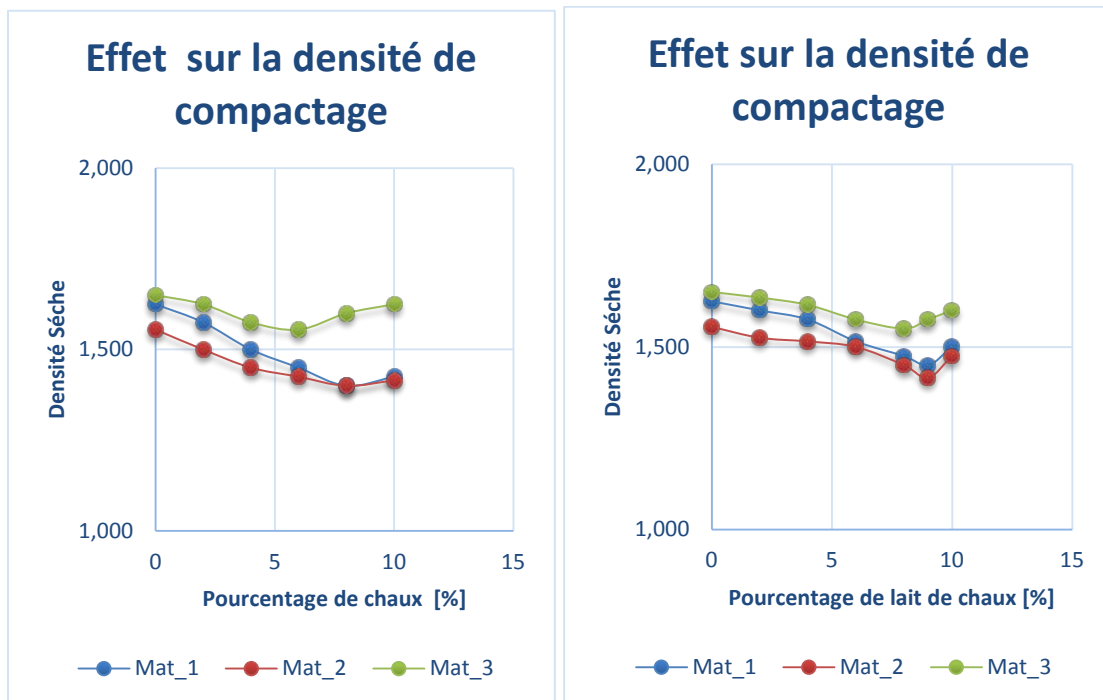


Figure 33 : Effet sur la densité de compactage

Le traitement à la chaux réduit la valeur maximale de la masse volumique sèche, La diminution de la teneur en eau est due à la diminution de la surface spécifique des particules argileuses des mélanges traités par les grains fins de la chaux/lait de chaux.

3.5 : Effet de la chaux/lait de chaux sur la portance :

Tableau 8 : Effet des améliorants sur les comportements mécanique

Améliorant	%	Matériau n°1	Matériau n°2	Matériau n°3
	/	CBR_{mbb}	CBR_{mbb}	CBR_{mbb}
chaux	0	10,0	11,0	9,0
	2	11,0	12,0	11,0
	4	13,0	13,0	17,0
	6	15,0	15,0	20,0
	8	16,0	18,0	16,0
	9	17,0	19,0	15,0
	10	13,0	15,0	
Lait de chaux	0	10,0	11,0	9,0
	2	12,0	13,0	13,0
	4	13,0	15,0	18,0
	6	14,0	17,0	19,0
	8	18,0	20,0	15,0
	10	15,0	19,0	13,0

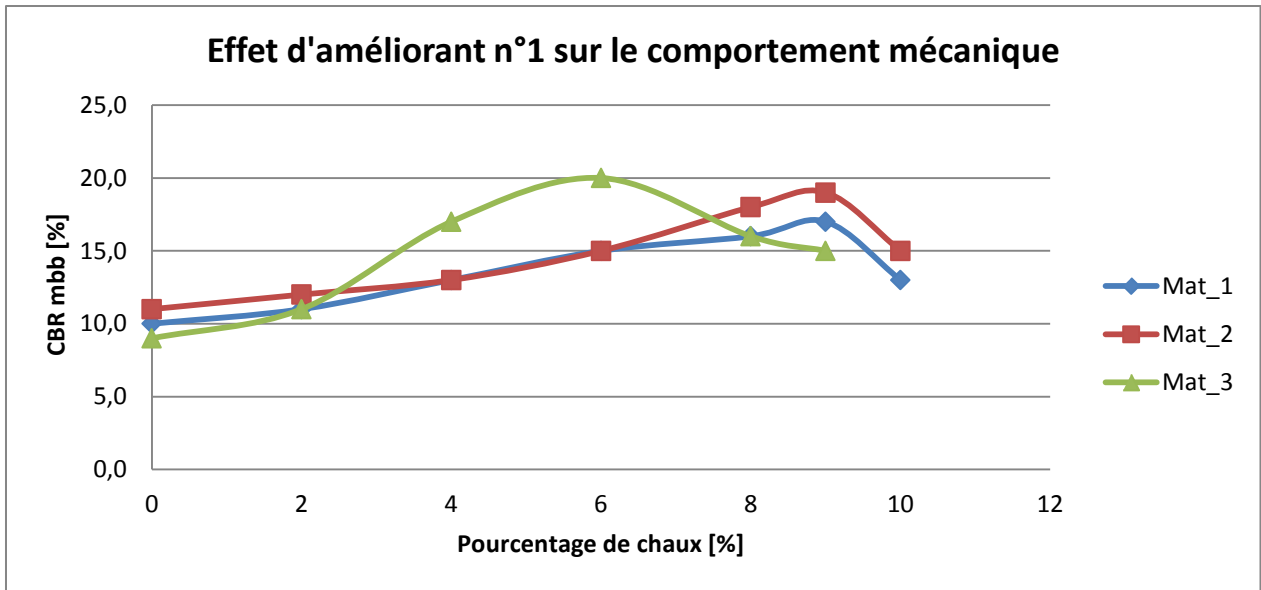


Figure 34 : Effet de la chaux sur le comportement mécanique

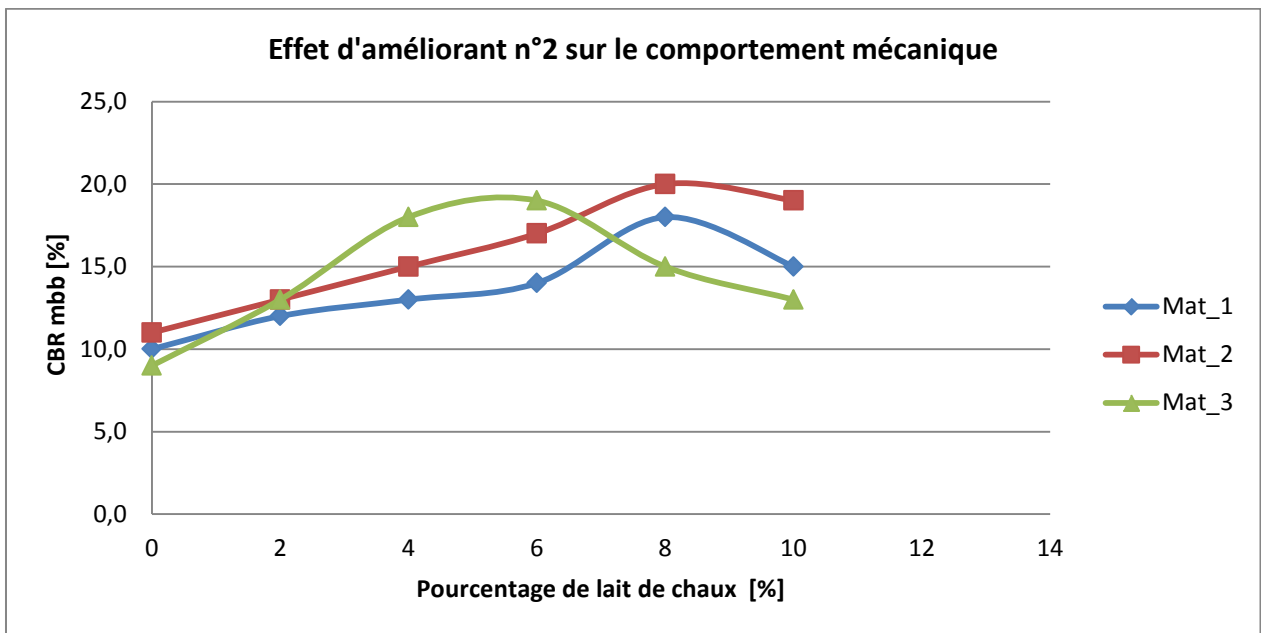


Figure 35 : Effet de lait de chaux sur le comportement mécanique

Cette figure montre une augmentation remarquable des valeurs d'indice CBR jusqu'à 10% de chaux/lait de chaux

Cette augmentation de la résistance à la compression simple, de l'indice CBR et de la stabilité, se fait par une réaction dite « pouzzolanique », lorsque la

chaux/lait de chaux est mise en contact avec une matière contenant des silicates et des aluminates.

4 : Conclusion

Les essais de stabilisation par chaux / lait de chaux réalisés sur les argiles de Tlemcen nous permettent de faire les conclusions suivantes :

L'ajout de lait de chaux modifie les caractéristiques physico-chimiques des argiles traitées, et réduit leur capacité d'adsorption. Le traitement réduit l'indice de plasticité, la valeur de bleu. La densité sèche maximale diminue en fonction de l'augmentation du lait de chaux jusqu'à 8% ; au-delà de ce pourcentage, la densité augmente

Le traitement à la chaux/lait de chaux des sols argileux améliore d'une manière significative ses propriétés géotechniques et permet d'avoir des qualités meilleures, en effet :

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

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

Enfin, on peut indiquer que le traitement par la chaux/lait de chaux reste une solution idéale pour stabiliser ces types de sols pour des raisons économique, écologique et technique.

Conclusion générale

La plupart des sols requièrent souvent une certaine stabilisation afin d'augmenter leur stabilité mécanique et d'améliorer leur performance. En plus, l'évolution actuelle du contexte socioéconomique dans le domaine des ouvrages en terre sont marquée par la nécessité de réutiliser au maximum les matériaux situés dans l'emprise des projets, même ceux dont les caractéristiques de mise en œuvre, notamment mécaniques, sont très faibles.

Bien que plusieurs chercheurs aient démontrés qu'il est possible de traiter efficacement les sols avec de la chaux, du Lait de chaux et/ou combinés aux différents ajouts minéraux.

En premier lieu, une méthodologie a été suivie pour la collecte, la sélection et la caractérisation des sols fins et ceci pour une éventuelle amélioration par addition d'ajouts cimentaires (chaux ou lait de chaux).

En second lieu, un protocole expérimental a été établi et basé sur des normes internationales pour effectuer des essais géotechniques au laboratoire. Parmi ces essais on cite les limites d'Atterberg, le compactage, et le cisaillement.

A partir des résultats obtenus durant cette étude on peut conclure que quand la chaux /le lait de chaux sont ajoutées au sol un changement appréciable dans le comportement de plasticité a été observé (une réduction considérable de l'indice de plasticité).

Par ailleurs, la chaux/le lait de chaux fait diminuer la densité sèche maximale et fait augmenter la teneur en eau optimale.

On peut tenter d'améliorer un sol en place, entre autre, pour les raisons suivantes :

- 1)** Augmenter sa résistance en place, pour augmenter sa capacité portante;
- 2)** Améliorer la stabilité d'un talus existant ;
- 3)** Assurer la stabilité temporaire des travaux d'excavation sans recours aux systèmes d'étaïonnements conventionnels ;
- 4)** Arrêter le mouvement d'une pente instable pour permettre des travaux de confortement permanent ;

- 5) Augmenter la résistance latérale des sols offerte aux pieux installés;
- 6) Diminuer la compressibilité des sols en place ;
- 7) Diminuer la perméabilité des sols ;
- 8) Permettre le percement d'un tunnel dans un terrain difficile ;
- 9) Accélérer la consolidation d'un dépôt d'argile ;
- 10) Contrôler les infiltrations d'eau autour d'un ouvrage ;
- 11) Réduire les risques de liquéfactions des dépôts granulaires lâches ;
- 12) Diminuer le potentiel de déformation volumique des sols ;
- 13) Homogénéiser les sols pour réduire le risque de tassement différentiel ;
- 14) Réduire la gélivité ;
- 15) Effectuer des travaux de reprise en sous-œuvre ;
- 16) Stabiliser un remblai nouvellement mis en place.

Néanmoins nous considérons que les objectifs de cette recherche sont atteints.

Recommandations futures

Dans une perspective de recherche, plusieurs domaines méritent au moins d'être approfondis tels que :

- Etude de la durabilité du traitement dans des conditions environnementales variées et sévères.
- Etude et évaluation de l'efficacité du traitement en présence de différents composés organiques en termes de gain de résistance.

1. ALONSO E.E & DELAGE .P, (1975) : « Etude en laboratoire du gonflement de l'argile de la Flandres », thèse de doctorats, Ecole centrale de Lille.
2. AMOURA.F, MAAMERI.M, (2013) : « Effet de la durée de crue sur la plasticité et sur les paramètres de cisaillement d'un sol argileux améliorer par la chaux », Thème de Master, Université de Chleff.
3. ANDRY RICO .R, (2009) : « Etudes du comportement hydromécanique, chimique et de la durabilité des géo- matériaux d'étanchéité renforcés par ajout de polymères », Thèse de doctorat, Institut National des sciences appliquées de Lyon.
4. AZZOUZ.F.Z, (2006) : « Constitution de la stabilisation chimique de quelques argiles gonflantes de la région de Tlemcen », mémoire de magister, Université de Tlemcen, Algérie
5. BARON et OLIVER .J.P, (1992) : « la durabilité des bétons », presses de l'Ecole Nationale des ponts et chaussées, Vincennes.
6. BELABBACI Zayneb, (2014) : « stabilisation des sols gonflants », Thèse de doctorat LMD, Université de Tlemcen.
7. BELARBI A.ZADJAOUI A .et BEKKOUCHE A, (2012) : « Comportement au laboratoire d'un argile traitée au lait de chaux face à la dispersion », Chambéry, Franque : AUGC, 2012.
8. BELL.F.G, (1978) : « Méthodes de traitement des sols instables », Editions Eyrolles, France, 240P.
9. BENGRAA. H, (2004) : « Contribution a l'étude de la stabilisation du gonflement par ajout du sable », Thèse de magister, Université de Mohamed Boudiaf, Oran, Algérie..
10. BULLETIN CRR : Centre De Recherche Routières, « Code de bonne pratique pour le traitement des sols à la chaux et/ou liants hydrauliques ».
11. CHARDIGNY.M, KARSTUNNEN et GHAZALLON .C, (2010), Influence d'une colonne ballastée sur le comportement des sols argileux, Université de Strathclyde, Glasgon.
12. FARID K.,DERRICHE Z. et LARADI. N, (2010) : « Contribution à l'étude de la stabilisation des sols gonflants par ajout de sable », Université des sciences et de technologie Houari Boumediene, Alger.

13. GHRICIM et HARICHANE. K, (2009) : « Effet des résidus minéraux sur l'amélioration des sols argileux de la région de Chlef », Memoire de magister, Université de Chlef.
14. GUEDOUDA M. K, (2011) : « Comportement hydromécanique des sols compactés » : Application à la conception d'une barrière ouvragée « sable de dune-bentonite ».
15. KHEBIZI. W, (2011) : « Etude de la durabilité des sols argileux améliorés avec des ajouts minéraux », Université Hassiba Ben-Bouali de Chleff.
16. LAWTON.E.C, (2014): Non grouting techniques. In foundation engineering handbook. McGraw –Hill Companies, USA, 340p.
17. MARWANA A, (2015) : « Influence de la présence de sulfates sur le traitement du sol argileux par des ajouts minéraux », Université de Khemis Miliana.
18. MELLAL F, (2009) : « Etude du comportement physicochimique et mécanique d'un remblai routier marneux amélioré par la chaux éteinte cas de l'autoroute Est-Ouest tronçon Oued Fodda /khemisMiliana.Chlef ».
19. N. DRAOU, F. NEBATI, (2013) : « stabilisation des sols fins », Thème de master, génie civil, Université de Tlemcen.
20. NMICHE. M, YOUSSEF Z, (2017): « Etude managériale d'un projet de construction, Etude de cas : Parc industriel, OA N°1 a OuledBendamou, Daïra de maghnia, wilaya de TLEMENEN », Mémoire de m
21. agiter

