

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Djilali Bounaama Khemis-Miliana
Faculté des sciences de la nature et des sciences de la terre
Département des sciences de la terre
Spécialité : Géotechnique

Année universitaire : 2018/2019

Intitulé : Cours - 2^{ème} année Master (S3)

Spécialité : Géotechnique

Intitulé de la matière : Traitement des sols

Chargé de cours : Dr. GADOURI Hamid

Intitulé de l'UE : UEF1

Intitulé de la matière : Géotechnique routière (Crédits: 1 - Coefficients: 1)

— Objectifs de l'enseignement Contenu de la matière —

Objectifs de l'enseignement : procurer à l'étudiant de lutter contre les différentes pathologies qui peuvent surgir dans les sols. . Instabilités des excavations souterraines par excès de contraintes. Stabilité à court terme et à long terme. Soutènement naturel et artificiel.

Connaissances préalables recommandées : MDS Contenu de la matière

Chapitre 1 : Rappels de mécanique

Chapitre 2 : Pathologies des sols

Chapitre 3 : Amélioration des caractéristiques des sols

☒☒ Le vibrocompactage

☒☒ Les colonnes ballastées

☒☒ La consolidation dynamique

☒☒ L'injection

☒☒ Le jet grouting

Chapitre 4 : Stabilisation et renforcement des sols

Mode d'évaluation : *Contrôle continu (40%) examen (60%)*

Références (*Livres et photocopiés, sites internet, etc.*).

Soil dynamics Das

Généralités

1.1 Introduction

.....

1.3.5 Méthodes Chimiques

Traiter un sol consiste à mélanger intimement ses éléments à une certaine quantité d'addition. Cette opération provoque une modification physico-chimique qui intervient dans la stabilisation du sol telles que les réactions d'échange de base avec les particules d'argile (cation) et les réactions pouzzolaniques (cimentation), qui corrige ses défauts de perméabilité et améliore ses qualités de résistance (capacité portante) et de durabilité. Pratiquement tous les sols peuvent être traités. La stabilisation peut être utilisée, avant compactage, in situ ou avec des sols excavés ou amenés d'ailleurs. Cependant une analyse préalable de leur nature est nécessaire avant chaque traitement. Elle détermine la technique et les moyens les plus appropriés à mettre en œuvre, en fonction des spécificités du terrain qui demande une attention particulière concernant l'épaisseur du sol à traiter, le type d'additifs à utiliser et les dosages des ajouts à respecter.

Le traitement des sols en place ou rapportés par l'utilisation des additifs seuls ou combinés (ciment, chaux, pouzzolane naturelle, cendres volantes, fumée de silice...etc.) est actuellement très largement employé dans la plupart des pays du monde.

1.3.5.1 Utilisation de la chaux

La chaux a été utilisée depuis longtemps comme stabilisateur des sols sensibles à l'eau (remblai, couches de formes...etc.). De plus, la chaux est employée dans de nombreux domaines tels que le bâtiment, la sidérurgie, la dépollution. Le premier guide de base a été établi par le SETRA et le LCPC en 1972 : «Recommandation pour le traitement des sols fins à la chaux». Le second a été élaboré en 1992 nommé GTR (Guide des terrassements routiers, Réalisation des remblais et des couches de formes). Le dernier qui les complète issu en 2000 portant le titre «Traitement des sols à la chaux et aux liants hydrauliques». Ces guides peuvent fournir des informations importantes sur le choix du type de traitement à utiliser (Le Borgne 2010).

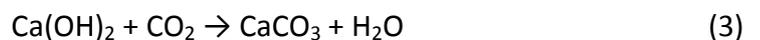
La chaux est généralement une poudre fine obtenue par la calcination de carbonate de calcium (CaCO_3), à une température supérieure à 900°C , qui donne lieu à la naissance d'un oxyde de calcium (CaO) ou la chaux vive munie d'un dégagement du gaz carbonique (CO_2) (Eq. 1).



Au contact de l'eau, la chaux vive obtenue par calcination, peut se transformer en chaux éteinte (Ca(OH)_2) accompagné par un fort dégagement de chaleur, (Eq. 2).



La chaux vive CaO peut, après hydratation par l'humidité ambiante (Ca(OH)_2), se carbonater sous l'action du CO_2 atmosphérique, (Eq. 3).



Les caractéristiques des chaux aériennes vis-à-vis du traitement des sols dépendent de la forme sous laquelle elles sont utilisées, diverses formes de chaux étant utilisées dans le traitement des sols. Les formes les plus communes sont la chaux vive et la chaux éteinte. La réactivité définie par la norme (NF P 98-102). Elle exprime la rapidité d'action d'une chaux lors de son emploi et est essentiellement fonction de la surface de contact entre la chaux et le corps avec lequel elle réagit. Elle dépend donc de la surface spécifique et de la finesse de la chaux.

1.3.5.2 Mécanisme de stabilisation à la chaux

Le principe de l'action de chaux avec les minéraux argileux en présence d'eau, peuvent être résumés en deux phases principales à savoir:

- *Action à court terme*

Elle peut se résumer en cinq étapes successives (Fig.1.13) (Locat et al., 1990; Bell, 1996; Cabane, 2004; Le borgne, 2010):

- l'ajout de la chaux provoque l'évaporation de l'eau avec l'ionisation de la Chaux éteinte qui libère des ions Ca^{2+} et OH^- ;

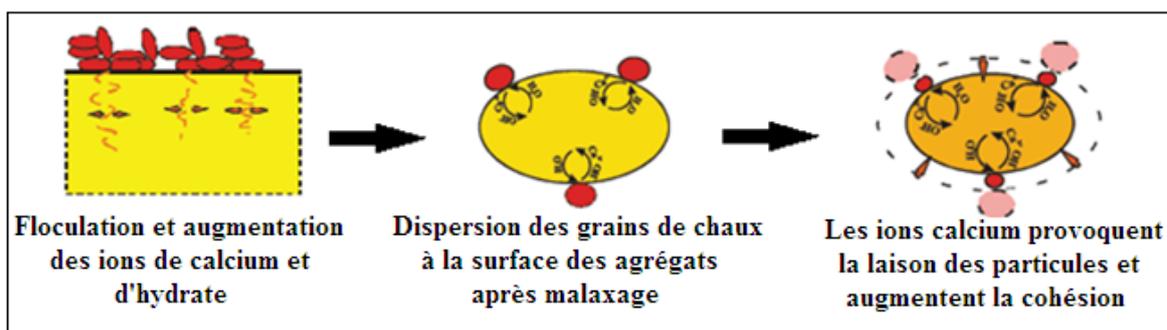


Fig. 1.13 — Action de la chaux à court terme (modification par floculation), (Cabane, 2004).

- la forte concentration en ion Ca^{2+} et OH^- entraîne un échange cationique entre les ions absorbés et les cations apportés qui modifie la CEC et augmente le pH du sol à plus de 12.5 (Fig. 1.14) (Al-Mukhtar et al., 2010) ;
- réduction de la taille de la double couche des particules argileuses et diminution des forces de répulsion entre elles ;
- floculation (par l'ajout de chaux) et agrégation (par malaxage) des particules argileuses ;
- modification des propriétés géotechniques, formation des grumeaux de taille millimétrique et diminution de la sensibilité à l'eau.

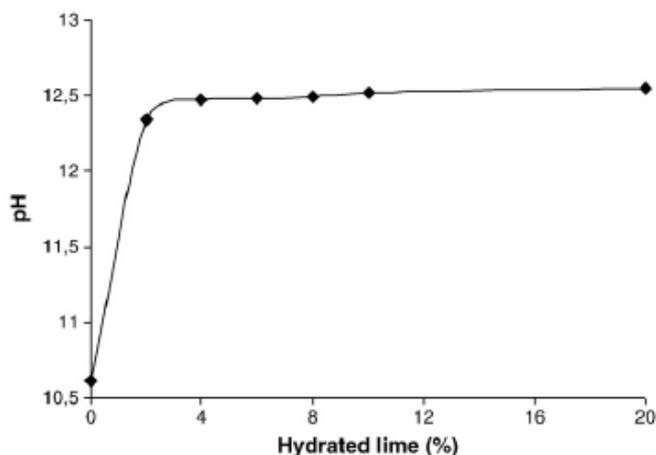


Fig. 1.14 — Effet de la chaux sur le pH d'une argile (bentonite très plastique riche en kaolinite et en montmorillonite), (Al-Mukhtar et al., 2010).

○ *Action à moyen et à long terme*

L'amélioration des caractéristiques mécaniques ainsi que la diminution ou la suppression du gonflement est liée à la formation des nouveaux produits cimentaires par l'action de chaux à long terme qui peut se faire comme suit:

- la forte concentration en ion Ca^{2+} et OH^- augmente le pH du sol ($\text{pH} \geq 12.5$) ;
- un fort pH, entraîne la dissolution de la silice et de l'alumine des particules argileuses et rentrent en réaction avec le calcium apporté par la chaux d'où viennent les réactions pouzzolaniques ;
- formation des produits cimentaires à savoir les silicates de calcium hydratés (C-S-H) et les aluminates de calcium hydratés (C-A-H).

1.3.5.3 Utilisation du ciment

Un ciment est un liant hydraulique composé de matière inorganique finement moulue qui, gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit par suite de réactions d'hydratation et qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau. D'ailleurs, pour les travaux de

terrassment, la norme NF- P15-108 met en évidence des liants hydrauliques routiers destinés notamment, à la réalisation d'assises de chaussées, de couches de forme et de terrassements.

La norme NF- EN 197-1 subdivise les liants hydrauliques en cinq type en fonction de leur composition à savoir: le ciment Portland (CEM I), le ciment Portland composé (CEM II), le ciment de haut-fourneau (CEM III), le ciment pouzzolanique (CEM IV) et le ciment composé (CEM V). En général, tous les liants doivent contenir un ou plusieurs constituants qui présentent l'une au moins l'une des propriétés suivantes:

- propriétés hydrauliques: elles font développer, par réaction avec de l'eau, des composés hydratés stables très peu solubles dans l'eau ;
- propriétés pouzzolaniques: c'est la faculté de former à température ordinaire, en présence d'eau, par combinaison avec la chaux, des composés hydratés stables ;
- propriétés physiques: elles font améliorer certaines qualités du ciment (accroissement de la maniabilité et de la compacité, diminution du ressuage...etc.).

1.3.6 Amélioration des sols par renforcement des terres

1.3.6.1 Terre renforcé

La terre renforcée est un matériau composite qui consiste en un sol contenant des éléments le renforcement (bandes d'acier galvanisé ou des négrides 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 «U» 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.

Plusieurs éléments de renforcement peuvent être utilisés par exemple les bandes d'acier ou d'aluminium, les câbles d'acier, les matériaux polymère ou géosynthétiques, les 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 naturelles...etc.

Le mécanisme de transfert de charge entre le sol et l'élément renforçant est gouverné par le frottement qui se développe à l'interface entre les deux constituants. Dans le cas des murs en terre renforcée, les deux éléments sont considérés comme un bloc cohérent dans l'analyse de la stabilité, avec une pression des terres active agissant derrière le bloc (analyse contre le glissement,

renversement et rupture de la capacité portante). La rupture interne peut arriver uniquement s'il y a une perte du frottement entre le sol et le renforcement, ou par rupture de la traction des éléments renforçant.

1.3.6.2 Technique de renforcement in situ

Le principe de base consiste à mobiliser un certain volume de terrain ou de rocher encaissant de façon à rétablir ou à renforcer la stabilité d'une fondation au renversement, au glissement ou au soulèvement.

Il y a 02 techniques de renforcement des sols in situ pour stabiliser les pentes et les excavations: clouage des sols, micro pieux réticulés (Fig. 1.15).

La méthode consiste à sceller des barres d'acier dans les masses de rochers fracturées rendant ainsi au "rocher" son monolithisme. Elle vise à stabiliser les déplacements différentiels des parois de la faille par un clouage multidirectionnel variant de 45° à 60° environ. Ces méthodes sont comparables à celles de clouage des parois rocheuses fracturées.

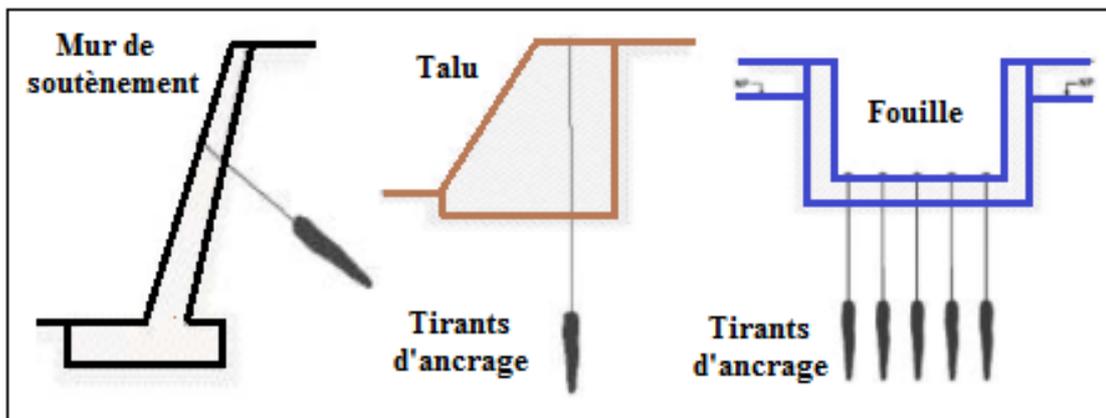


Fig. 1.15 — Technique de renforcement in situ par tirants d'ancrage.

1.3.6.3 Matériaux synthétiques

La construction de remblais sur sols compressibles constitue un enjeu majeur. Dans ce contexte, l'utilisation de nappes géosynthétiques pour améliorer la stabilité de ces remblais est une des techniques de renforcement de sol parmi les plus efficaces et largement éprouvée. Il y en a plusieurs types de matériaux géosynthétiques à savoir les produits polymériques (polypropylène, polyester, polyéthylène, polyamide, polyvinyle Chloride, polystyrène), les géonets, les géogrids, les géomembranes, les géotextiles, les géocomposites...etc.