

# Effet de la chaux sur la stabilité et la portance dans les travaux de terrassement.

**BENDIMERAD Karam Feth Allah<sup>1</sup> et ZADJAOUI Abdeldjalil<sup>1</sup>.**

<sup>1</sup> Faculté de Technologie. Laboratoire RisAM. Université de Tlemcen (Algérie). [k.f.bendimerad@gmail.com](mailto:k.f.bendimerad@gmail.com)

---

*RESUME : Dans un contexte de développement durable, les enjeux économiques et environnementaux incitent, lors des travaux de terrassement, à valoriser les matériaux locaux pour être employés de manière à atteindre l'objectif « zéro emprunt, zéro dépôt ». Dans ce sens le traitement des sols fins à la chaux est une solution potentielle pour atteindre cet objectif qui présente une efficacité géotechnique et économique développée au cours des trente dernières années, consiste à incorporer le liant dans le sol, avec un complément d'eau, le tout est mélangé jusqu'à l'obtention d'un matériau suffisamment homogène préjugé utilisable pour la conception des remblais, couche de forme ou couche d'assise, justifiée par l'évolution de leurs caractéristiques (état, argilosité, comportement au compactage et mécanique). Le présent travail se veut comme une contribution expérimentale dans ce domaine. Il s'agit de l'application de cette technique aux cas des sols de l'ouest Algérien. Les sols étudiés appartenant à la classe A<sub>3h</sub> (argile très plastique) selon le Guide Technique de Terrassement (GTR), dont leur utilisation en état brute comporterait de grands risques de stabilité en raison de leur grande plasticité ( $I_p > 20$ ) et de leur faible portance ( $CBR_{immédiat} < 25$ ) selon le Cahier Spéciale Des Charges Algérien, Clauses Technique (CSDCA-CT). Vu la non disponibilité d'autre gisements exploitables à proximité du chantier, la variante du traitement semble faisable. Les résultats montrent clairement une diminution immédiate de l'indice de plasticité (35.30 % pour le premier sol et 42.85 % pour le second) en proportionnalité avec le dosage à la chaux (0 à 14 %) d'une part. D'autre part, l'allure de la courbe Proctor à tendance d'être plus aplatie, de plus, l'application de la chaux induit une amélioration de la portance très significative des deux sols étudiés.*

*ABSTRACT. In a context of sustainable development, the economic and environmental stakes incite, during the works the genie civil, to value the local materials to be used so as to reach the goal " zero borrowed, zero deposit ". In this sense the treatment of the fine soil by lime is a potential solution to reach this goal which presents a geotechnical and economic efficiency developed during the last thirty years, consists in incorporating in the soil with a complement to water, the whole is mixed until the obtaining of a usable prejudged homogeneous enough material for the design the layer of shape or the coat of basis, justified by the evolution of their characteristics (state, shaliness, behavior in the compaction and mechanics). The present work aims to be as an experimental contribution in this domain. It is about the application of this technique in the cases of the western Algerian. The studied grounds belonging to the class A<sub>3h</sub> (very plastic clay) according to the Technical Guide of Excavation (GTR), whose big risks of their use in state would because of their big plasticity ( $I_p > 20$ ) and of their weak portance Immediate ( $CBR < 25$ ) according to the Exercise book Special Of the Loads Technical Algerian, Clauses (CSDCA-CT). Seen the not availability of other one exploitable deposits near the construction site, the variant of the treatment seems feasible. The results show clearly an immediate decrease of the indication of plasticity (35.30 % for the first ground and 42.85 % for the second) in proportionality with the dosage in lime (0 in 14 %) on one hand. On the other hand, the look of the curve Proctor with trend to be flattened more, furthermore, the application of the lime leads an improvement of the very significant portance of both studied grounds.*

*MOTS-CLÉS : Sols fins, Améliorations des sols, Durabilité.*

*KEYWORDS: Fine soil, Soil improvement, Durability.*

---

## 1. Introduction

Il est aujourd'hui une exigence afin de limiter l'impact environnementale des nouveaux projets de terrassement et dans un contexte socio-économique, d'utiliser exclusivement les sols situés dans la réserve foncière d'un projet de construction des infrastructures. Mais dans certaines situations, cet objectif exige l'emploi des sols à propriétés d'ingénieries insuffisantes qui ne convient pas à une réalisation réglementaire. Alors, dans ce sens, l'amélioration des sols à grains fin par un traitement chimique, reste une des solutions potentielle pour atteindre cet objectif.

Les premiers travaux dans ce domaine (traitement chimique des sols par l'incorporation des produits stabilisateur, à titre d'exemple, la chaux) datent de plus de cinquante ans, travaillant avec différents types des sols (des argiles très expansives aux limons de faible plasticité, tel que Ranganatham ; 1961 et Ferber ; 2005) dans le but d'évaluer l'influence et l'efficacité technique de ce dernier et de développer une approche scientifique conduisant à une amélioration de la compréhension des phénomènes et pouvant être généralisable et adaptable à la diversité des cas de figure rencontrés dans les projets. Dans le cas des sols traités à la chaux, l'efficacité de tel agent agit à l'échelle microscopique non seulement lors de son hydratation en libérant des ions  $Ca^{2+}$  qui vont entraîner la floculation des argiles (apparition de mottes qui structurent le sol à court terme) et en asséchant le sol compte tenu du caractère exothermique de la réaction d'hydratation, mais également en générant une rigidification du sol compte tenu des réactions pouzzolaniques qui se produisent à une cinétique lente nécessitent plusieurs heures avant d'être appréciées (dissolution de la silice et de l'alumine par les ions  $OH^-$  libérés et formation avec les  $Ca^{2+}$  de produits cimentaire) [MAU 10].

La géologie comprend des formations argileuses (sols à grains fin) faisons l'objet de plusieurs problèmes de construction vue une application routière (très difficiles à compacter à l'état sec et collants à l'état humide) dans le monde, mais particulièrement dans les régions arides et semi arides comme le cas de l'ouest Algérien qui s'intègre dans une bonne partie, délimitées par l'atlas tellien au nord et l'atlas saharien au sud et s'étendus de l'est à l'ouest jusqu'aux pays limitrophes du Maghreb et caractérisées par un hivers froid et humide et d'un été chaud et sec [MAH 15].

Le présent travail se veut comme une contribution expérimentale à court terme dans ce domaine, il s'agit de l'application de cette technique aux cas des sols de l'ouest Algérien dans un contexte, zéros emprunt, zéros dépôt et qui s'étale sur deux volets, l'identification et l'analyse de l'influence du traitement sur les propriétés physiques et mécaniques des deux sols étudiés.

## 2. Matériaux et méthodes expérimentales

### 2.1. Matériaux

#### 2.1.1. Le sol

Les deux matériaux argileux étudiés dans ce travail ont été recueillis de la wilaya de Tlemcen (échantillon n°1 au niveau de la localité de Koudia, par contre l'échantillon n°2 est au niveau de la localité d'Ain Fetah), extrais à une profondeur varie de -1,50 m à -4,50 m puis transportés au laboratoire mécanique des sols de l'université de Tlemcen.

Les différentes caractéristiques physiques et mécaniques des échantillons étudiés ont été déterminées selon les normes Algériennes (NA) et classés suivant le GTR, rapportés dans le tableau 1.

**Tableau 1.** Caractéristiques géotechnique des échantillons étudiés.

Caractéristiques	Normes	Echantillon n°1	Echantillon n°2
<i>D</i> Max [mm]		≤ 50	≤ 50
Tamisât à 2 mm [%]	Analyse granulométrique : NF P 94-056 _ NA 5232.	100.0	85.0
Tamisât à 80 µm [%]		75.0	70.0
<i>I</i> p	Limites d'Atterberg : NF P 94-052 _ NA 16213.	34.0	28.0
V.B.S	Essai au Bleu de Méthylène : NF P 94-068 _ NA 5288.	6.15	4.50
<i>W</i> Op [%]	Essai PROCTOR : NF P 94-093 _ NA 5262.	5.0	7.0
$\gamma_d$ [t/m <sup>3</sup> ]		1.675	1.725
CBR Immédiate [%]	Essai CBR : NF P 94-078 _ NA 5252.	12.0	15.0
CBR Imbibé [%]		7.0	9.0
Classification GTR :		A <sub>3h</sub>	A <sub>3h</sub>

La chaux utilisée est une chaux vive ramenée directement de l'usine de Saida située dans la région de l'ouest Algérien, livrée en sac de 25 kg. Ses propriétés physico-chimiques fournies par l'usine de fabrication résumée dans le tableau 2 ci-dessous.

**Tableau 2.** Propriétés physico-chimiques de la chaux [KHE 11].

<i>Non Chimique</i>	<i>Pourcentage</i>	<i>SiO<sub>2</sub></i>	< 2.5 %	<i>Plus de 90 µm</i>	< 10.0 %
<i>CaO</i>	> 83.3 %	<i>SO<sub>3</sub></i>	< 0.5 %	<i>Plus de 630 µm</i>	0.0 %
<i>MgO</i>	< 0.5 %	<i>Na<sub>2</sub>O</i>	0.4 à 0.5 %	<i>Matériau insoluble</i>	< 1.0 %
<i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	< 2.0 %	<i>CO<sub>2</sub></i>	< 5.0 %	<i>Densité Spécifique</i>	2.0
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	< 1.5 %	<i>CaCO<sub>3</sub></i>	< 10.0 %	<i>Densité apparente</i>	600 à 900
Apparence physique : poudre blanche sèche.					

## 2.2. Méthodes expérimentale

Outre les essais d'identifications, le programme expérimental comprend des essais classique de densité (compactage Proctor), plasticité (limites d'Atterberg) ainsi de résistance (California Bearing Ratio (CBR) immédiat et imbibé), effectués sur des échantillons non traités (témoins) et sur des échantillons traités à divers teneur en chaux selon le planning résumé au tableau 3.

**Tableau 3.** Combinaisons adopté au cours d'étude.

N°	% D'Echantillon	% De la Chaux	N°	% D'Echantillon	% De la Chaux
1	100.0 %	0.0 %	6	90.0 %	10.0 %
2	98.0 %	2.0 %	7	88.0 %	12.0 %
3	96.0 %	4.0 %	8	87.0 %	13.0 %
4	94.0 %	6.0 %	9	86.0 %	14.0 %
5	92.0 %	8.0 %	10	/	/

### 2.2.1. Préparation des échantillons

Après l'extraction des pierres argileuses, mets par la suite dans une étuve pendant 24 heures à une température de 105 °C afin d'éliminer toute trace d'humidité, il a été procédé ensuite à leur broyage puis au tamisage à sec pour avoir une mouture très fine.

L'additif (la chaux) à son tour, est passé par un tamisage à sec pour éviter les grumeaux (éléments dont leur diamètre est supérieur à 80 µm).

Des quantités de sol et d'additif ont été pesées et mélangés à sec selon les combinaisons d'étude ci-dessus, puis stockés dans des endroits sec pour éviter leurs humidifications.

### 2.2.2. Détermination de l'indice de plasticité

L'indice de plasticité ( $I_p$ ) représente la différence entre la limite de liquidité ( $w_l$ ) définie comme étant la teneur en eau du passage d'un état plastique à un état liquide et la limite de plasticité ( $w_p$ ) qui est la limite de transaction entre un état plastique et solide déterminer conformément selon les normes en vigueur.

### 2.2.3. Détermination des caractéristiques de compactage

Les caractéristiques de compactage Proctor modifié d'un sol dénommées respectivement la teneur en eau optimum ( $w_{OPM}$ ) et la densité sèche maximale ( $\gamma_{dmax}$ ), très utilisées pour identifier les sols destinés à être utilisés dans la construction des couche de remblais, formes ou d'assises.

### 2.2.4. Détermination de California Bearing Ratio (CBR)

Cet essai détermine l'aptitude des sols à supporter une charge dans des conditions normales (CBR Immédiat) ainsi sous une variation de régime hydrique (CBR Imbibé), réaliser sur des échantillons à leurs teneurs d'optimum Proctor et compactés à la densité sèche maximale.

3.1. Résultats

Tableau 4. Résultats des essais.

Echantillon n°1												
Combinaisons		Indice de plasticité			Caractéristiques de compactage						Indice CBR (%)	
Matériau	Chaux	w <sub>l</sub>	w <sub>p</sub>	I <sub>p</sub>	WOPM (%)			γ <sub>dmax</sub> (t/m <sup>3</sup> )			CBR Immédiat	CBR Imbibé
98.0 %	2.0 %	54.0	20.0	34.0	5.0	6.0	7.0	1.500	1.655	1.555	12.0	9.0
96.0 %	4.0 %	53.0	20.0	33.0	5.5	6.5	7.5	1.425	1.600	1.525	15.0	12.0
94.0 %	6.0 %	51.5	23.5	28.0	6.5	8.0	9.0	1.400	1.550	1.475	20.0	15.0
92.0 %	8.0 %	51.0	25.5	25.5	7.0	8.5	9.5	1.375	1.525	1.450	21.0	17.0
90.0 %	10.0 %	49.0	27.0	22.0	7.5	9.0	10.0	1.350	1.500	1.425	27.0	19.0
88.0%	12.0 %	52.0	26.0	26.0	5.5	7.5	8.5	1.400	1.600	1.550	24.0	18.0
87.0%	13.0 %	53.5	23.5	30.0	4.5	7.0	8.0	1.425	1.650	1.600	18.0	14.0
86.0%	14.0%	55.0	22.5	32.5	4.0	6.5	7.5	1.500	1.675	1.625	12.0	8.0

Echantillon n°2												
Combinaisons		Indice de plasticité			Caractéristiques de compactage						Indice CBR (%)	
Matériau	Chaux	w <sub>l</sub>	w <sub>p</sub>	I <sub>p</sub>	WOPM (%)			γ <sub>dmax</sub> (t/m <sup>3</sup> )			CBR Immédiat	CBR Imbibé
98.0 %	2.0 %	52.0	25.0	27.0	6.5	7.5	8.0	1.525	1.675	1.625	18	10
96.0 %	4.0 %	51.0	26.5	24.5	7.5	8.5	9.0	1.475	1.625	1.575	20	11
94.0 %	6.0 %	48.5	28.5	20.0	8.0	9.0	9.5	1.455	1.550	1.475	23	15
92.0 %	8.0 %	45.0	29.0	16.0	9.0	9.5	10.0	1.400	1.525	1.425	26	17
90.0 %	10.0 %	46.0	28.5	17.5	8.0	9.0	9.5	1.450	1.550	1.450	25	16
88.0%	12.0 %	49.0	26.0	23.0	7.5	8.0	9.0	1.525	1.575	1.550	21	13
87.0%	13.0 %	50.0	25.0	25.0	6.5	7.5	8.0	1.550	1.600	1.575	19	11
86.0%	14.0%	51.0	24.5	26.5	6.0	7.0	7.5	1.600	1.650	1.625	16	10

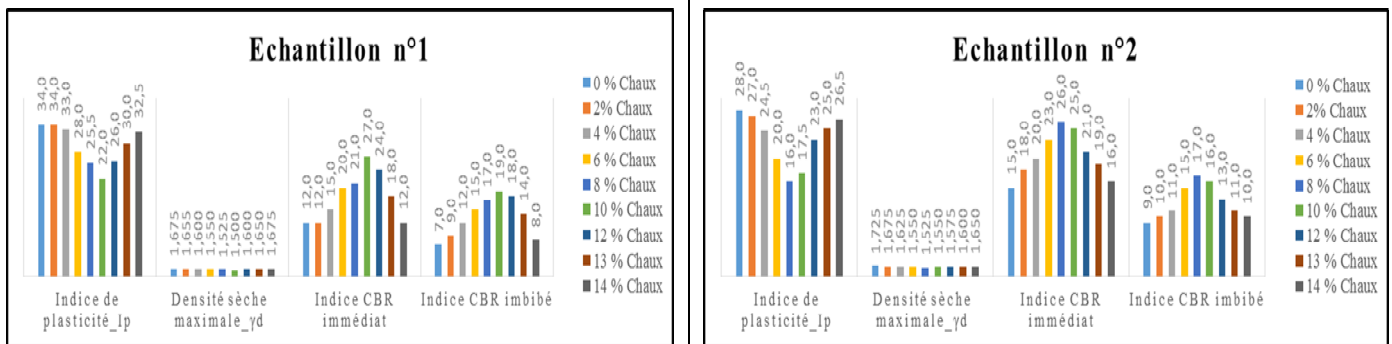


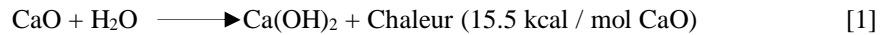
Figure 1. Variation des caractéristiques géotechnique en fonction du pourcentage d'additif.

3.2. Analyse et interprétations des résultats

La variété de nature des constituants des sols à l'image des minéraux argileux (proportion, morphologie, surface spécifique ainsi la capacité d'échange cationique) est le paramètre fondamental qui influe sur le comportement des sols sans ou avec additifs [FER 05], suivie à court terme comme à long terme par l'ensemble des essais stipulés ci-dessus qui nous ont permis d'observer une diminution immédiate de l'indice de plasticité des échantillons étudiés en proportionnalité avec le dosage à la chaux de 35.30 % pour le premier et de 42.85 % pour le second qui se manifeste par une baisse de la limite de liquidité et une augmentation de la limite de plasticité d'une part, d'autre part, une réduction de la densité sèche qui s'accompagne par un accroissement de leur teneur en eau optimale et se résume par un aplatissement d'environ 11.0 % de la courbe Proctor pour les deux sols étudiés, de plus, l'application de la chaux induit une amélioration très significative de la portance des deux sols étudiés dans des conditions normales comme dans une variation de régime hydrique.

Ces variations des caractéristiques géotechniques des échantillons étudiés schématisées dans la figure 1 lors de l'incorporation de l'additif sont analogue avec les résultats de plusieurs chercheurs : Bell ; 1996, Al Taie et al ; 2016 et s'expliquent par des processus physico-chimique incité par la chaux en présence d'eau qui débutèrent instantanément par une réaction exothermique (hydratation de la chaux) entraine une réduction de la teneur en eau du sol, en concomitance la diminution de l'indice de plasticité se produit puisque le sol se trouve à une teneur en eau inférieur à la nouvelle limite de plasticité, c'est-à-dire que le sol se transforme d'un état plastique avant le traitement à un état solide après le traitement d'une part et à la formation d'hydroxyde de calcium d'autre part (équation n°1), et se terminent par la carbonatation de calcium (équation n°2)

considérée comme un collage. AKBH, P. 9. L'indice de durabilité  $Q_{17}$  (0,22) est inférieur à 0,4 (0,22) d'une partie de la chaux pour la formation de carbonates, intercalées par l'agglomération des particule du sol (*floculation des particules argileuses*) révéler par une attraction des particules forment des floccs due à la *capacité d'échange cationique* des argiles afin d'équilibrer le déficit des charges en fonction de la nature des cations initialement adsorbés à la surface et de leur aptitude d'échange avec les ions de calcium  $Ca^{2+}$  libérés lors de l'addition de la chaux qui se traduit par une insensibilité à l'eau due à l'homogénéisation des pores et la réorganisation des particules et conduit par ailleurs à une modification des caractéristique du compactage du sol (réduction de la densité sèche ainsi l'accroissement de la teneur en eau optimale), suivie a une cinétique plus au moins lente par des *réactions pouzzolaniques* après à la saturations des minéraux en calcium a fin de formées des nouveaux hydrates comme le silicate du calcium hydraté (CSH) qui initie à une seconde phase de développement des performances mécaniques tel que l'indice California Bearing Ratio ( $CBR_{imbibé}$ ) [CAB 05], [SAU 12].



#### 4. Conclusion

L'étude réalisée jusqu'à présent mit en évidence l'importance du traitement chimique des sols par l'incorporation des produits stabilisateur, à titre d'exemple, la chaux pour une utilisation en terrassement, ce qui pourrait paraître surprennent pour une recherche qui se veut appliquer au moyen des essais simple au chantier comme au laboratoire vu la complexité des mécanismes réactionnels qui nous permet de décrire les processus physico-chimiques lors du contacte sol - additif à court terme comme à long terme dépendent plusieurs paramètres. Il s'agit donc d'une démarche très compatible avec la pratique de l'ingénieur en cohérence avec la construction économique avec respect des aspects environnementaux de la construction durable.

#### Bibliographie

[CAB 05] CABANE N., Sols traités à la chaux et aux liants hydrauliques : contribution à l'identification et l'analyse des éléments perturbateurs de la stabilisation, Thèse de doctorat, Université de Jean Monnet, 2005.

[FER 05] FERBER V., Sensibilité des sols fins compactés à l'humidification : apport d'un modèle de microstructure, Thèse de doctorat, Université de Nantes, 2005.

[MAU 10] MAUBAC N., Approche multi échelle du traitement des sols à la chaux : étude des interactions avec les argiles, Thèse de doctorat, Université de Nantes, 2010.

[SAU 12] SAUSSAYE L., Traitement des sols aux liants hydrauliques : aspect géotechniques et physico-chimiques des perturbations de la solidification, Thèse de doctorat, Université de Caen Basse Normandie, 2012.

[KHE 11] KHEBIZI W., Etude de la durabilité des sols argileux améliorés avec des ajouts minéraux, Thèse de magister, Université de Chlef, 2011.

[AL-T 16] AL-TAIE A., DISFANI M.M., EVANS R., « Swell shrink cycles of lime stabilized expansive subgrad », *Procedia engineering*, vol. 143, 2016, p. 615-622.

[BEL 96] BELL F.G., « Lime stabilization of clay minerals and soils », *Engineering geology*, vol. 42, 1996, p. 223-237.

[MAH 15] MHAMED A., KHEMISSA M., « Stabilization of an expansive overconsolidated clay using hydraulic binders », *HBRC journal*, vol.11, 2015, p. 82-90.

[KHE 11] KHELIFA H., GHRICI M., KHEBIZI W., « Effet de la combinaison de la chaux et la pouzzolane naturel sur la durabilité des sols argileux », *Acte de 29<sup>e</sup> rencontre universitaire de génie civil*, Tlemcen, 29-31 mai 2011.