

HUITIEME CONGRES NATIONAL DE LA ROUTE

IFRANE 3 ET 4 JUIN 2010

TRAITEMENT DES SOLS A BASE DES PRODUITS A BASE D'ENZYME

ETUDE COMPARATIVE AVEC LA CHAUS

AFECHKAR MOHAMED

CHEF DE SERVICE DE LA RECHERCHE ROUTIERE

CENTRE NATIONAL D'ETUDES ET DE RECHERCHES ROUTIERES

1. INTRODUCTION

Les sols argileux sont très présents au niveau de plusieurs régions du Maroc (El Gharb, Chaouia, Doukala,...). Or, ces sols sont susceptibles de changer de portance ou de volume en cas de variation de la teneur en eau. Cette variation de portance ou volume engendre d'une part des épaisseurs importantes des corps de chaussées, et d'autre part, des mouvements dans le sol qui peuvent conduire à l'apparition de désordres sur les structures construites sur ce genre de sols.

Construire des chaussées sans problème sur ce genre de formation requiert le respect de certaines règles:

- Soit concevoir une chaussée épaisse pour palier à la faible portance des sols et pour résister éventuellement aux mouvements du sol et il n'y
- Soit intervenir sur le sol pour que ce dernier soit moins sensible à la variation de la teneur en eau et montrera donc moins de variation de volume et une très bonne portance, c'est ce qu'on entend par stabilisation.

La stabilisation du sol consiste donc à modifier certaines de ses propriétés pour améliorer ses performances techniques en vue d'une application donnée. Dans le cas des sols expansifs, la stabilisation est utilisée pour réduire la sensibilité du sol aux variations volumiques dus la plus part du temps aux variations de la teneur en eau. Les techniques de stabilisation utilisées en pratique sont nombreuses, pour cela le choix du type de la technique dépend de son efficacité et son prix de revient.

Une étude de laboratoire au CNER a été lancée pour étudier les caractéristiques et l'apport du traitement à base d'enzyme sur les caractéristiques géotechniques des sols étudiés (sol de Tanger, Berrechid et Settat) et de faire une étude comparative avec les mêmes sols traités à la chaux, dans la perspective de le valoriser et d'étudier les possibilités de son utilisation dans le secteur routier.

Les objectifs de l'étude sont de deux ordres :

- Une évaluation globale de l'aptitude d'emploi du produit à base d'enzyme en technique routière ;

- Une étude comparative, entre le traitement des sols avec le produit à base d'enzyme et les sols traités à la chaux, du point de vue amélioration des caractéristiques géotechniques .

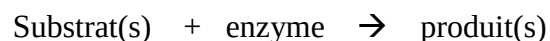
Trois sols provenant de 3 endroits différents (Tanger , Settat et berrechid) ont été utilisés dont les résultats sont présentés au niveau de cette communication

2. LE TRAITEMENT A BASE D'ENZYMES

a. Définition

Une enzyme est un catalyseur biologique qui augmente la vitesse d'une réaction par plusieurs ordres de grandeur en diminuant son énergie libre d'activation, sans être elle-même affectée. Certains enzymes sont extrêmement spécifiques et ne fonctionneront que sur un seul et unique réactif (substrat) ; d'autres ont un large spectre et fonctionnent sur une structure partagée par de nombreuses molécules qui peuvent toutes lui servir de substrat.

Une enzyme agit comme catalyseur en se liant au substrat et facilite sa réaction en stabilisant son état de transition vers un produit spécifique.



La majorité des enzymes sont des protéines ou des glycoprotéines.

Les sites actifs des enzymes contiennent souvent des composantes chimiques (organiques ou inorganiques), autres que des acides aminés (ex. Fe^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} ou Mg^{2+} , biotine, vitamines B) qui sont essentielles pour l'activité catalytique.

b. Objective

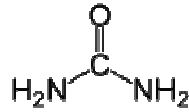
L'objectif principal est d'examiner le mécanisme de stabilisation des sols. Des essais de laboratoire sont exécutés pour déterminer si ce produit améliore les propriétés physiques du sol et s'il offre des propriétés supérieures par rapport à d'autres types de stabilisateurs.

c. Composition chimique

Le produit étudié est composée essentiellement des éléments suivants : l'Urée, Aspartase, Glucose, Lyase, Hydrolase.

➤ **Urées :**

L'urée est un composé organique sous forme de $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$, dont la formulation chimique est la suivante :



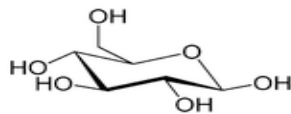
Cet élément peut avoir autres noms comme Carbamide, carbonyle diamide, carbonyldiamine. Étant solide, incolore, inodore, ni acide ni de base, fortement soluble dans l'eau et relativement non-toxique, l'urée est largement utilisée dans des engrais comme une source commode d'azote.

➤ **Aspartase :**

L'aspartase est un acide aminé avec la formule chimique $\text{HO}_2\text{CCH}(\text{NH}_2)\text{CH}_2\text{CO}_2\text{H}$. La biosynthèse de l'aspartate-ammonium lyase, enzyme inductible par l'acide aspartique, est réprimée spécifiquement par l'acide fumarique.

➤ **Glucose :**

Le glucose est un ose simple et plus particulièrement un aldohexose. Sa formulation chimique est :



Il présente la même formule brute que ses isomères, en particulier le mannose ou le fructose : $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$. Il s'agit d'un glucide réducteur grâce à la fonction aldéhyde.

Le glucose est une molécule polaire (grâce à ses groupements alcools), thermodégradable et dialysable.

➤ **Lyase :**

En biochimie, une lyase est une enzyme qui brise diverses liaisons chimiques par d'autres voies que l'hydrolyse et l'oxydation, formant souvent une nouvelle double liaison ou un nouvel anneau.

➤ **Hydrolase :**

Membre d'un groupe d'enzymes qui catalysent la scission des liaisons entre le carbone et un autre type d'atome, par addition d'eau. On inclut parmi les hydrolases les enzymes qui

attaquent ou scindent les liaisons de type ester : estérases (comme les phosphatases, les lipases, etc.), celles de type peptidique : peptidases (comme la pepsine, la trypsine, etc.), celles de type glucosidique : glucosidases (comme l'amylase, la maltase, etc.), etc.

3. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

La plupart des argiles ont une structure moléculaire avec une charge négative nette maintenant la neutralité électrique, les cations sont attirés et tenu sur les bords et les surfaces de particules d'argile. Ces cations sont appelés "cations échangeable". Quand la charge de cation dans la structure d'argile est faible, la charge négative restante attire des molécules polarisées d'eau.

La taille détermine la mobilité du cation : plus les cations sont petits, ils peuvent parcourir des distance trop longue dans la structure de sol (l'ion hydrogène est de taille très petite). L'ion hydrogène est affecté facilement, parce qu'il contient une seule charge, il produit un effet de valence double en raison de sa haute énergie d'ionisation. Ces cations H^+ exerce une traction plus forte sur les couches d'argile joignant la structure du sol et permet de libérer l'eau piégée par les atomes de sodium de potassium.

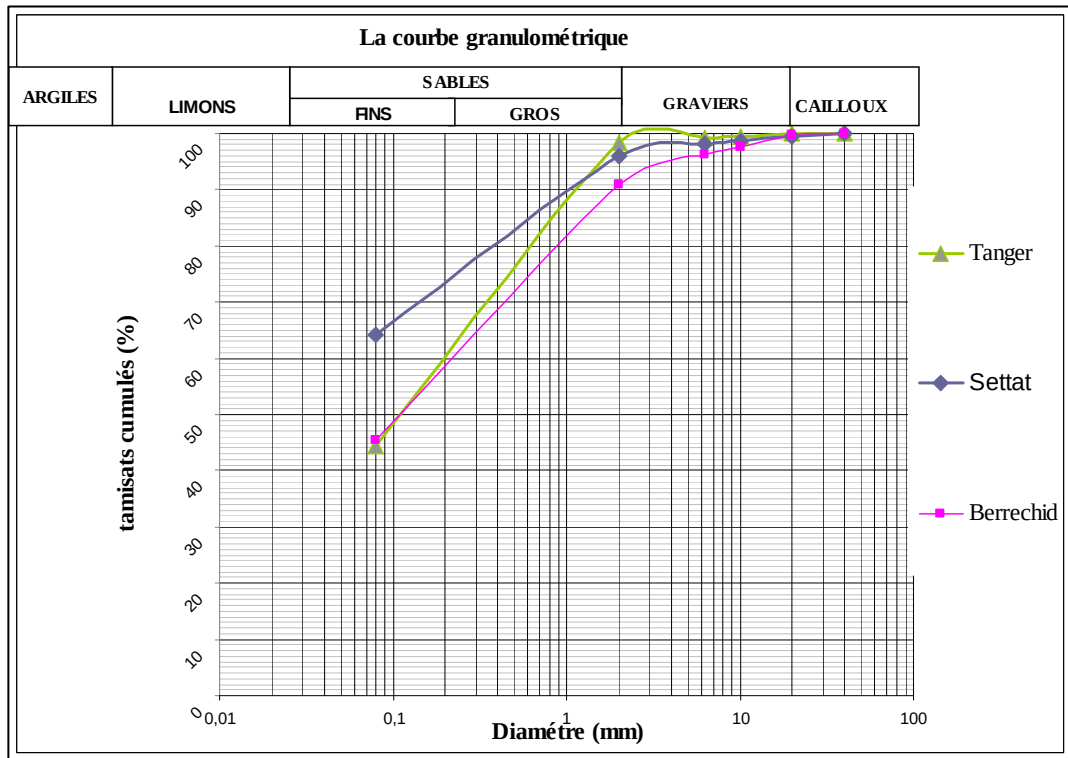
Cette perte d'eau aboutit à un renforcement de la structure moléculaire de l'argile et aussi à une réduction de la taille de particule et de la plasticité.

4. ETUDE DE LABORATOIRE

Pour la détermination des caractéristiques physiques et mécaniques des différents types de sols nous avons procédé à une caractérisation des sols étudiés en provenance de Tanger, Berrechid et Settât.

a. Caractérisation des sols étudiés

Les principaux résultats concernant les trois sols sont comme suit :

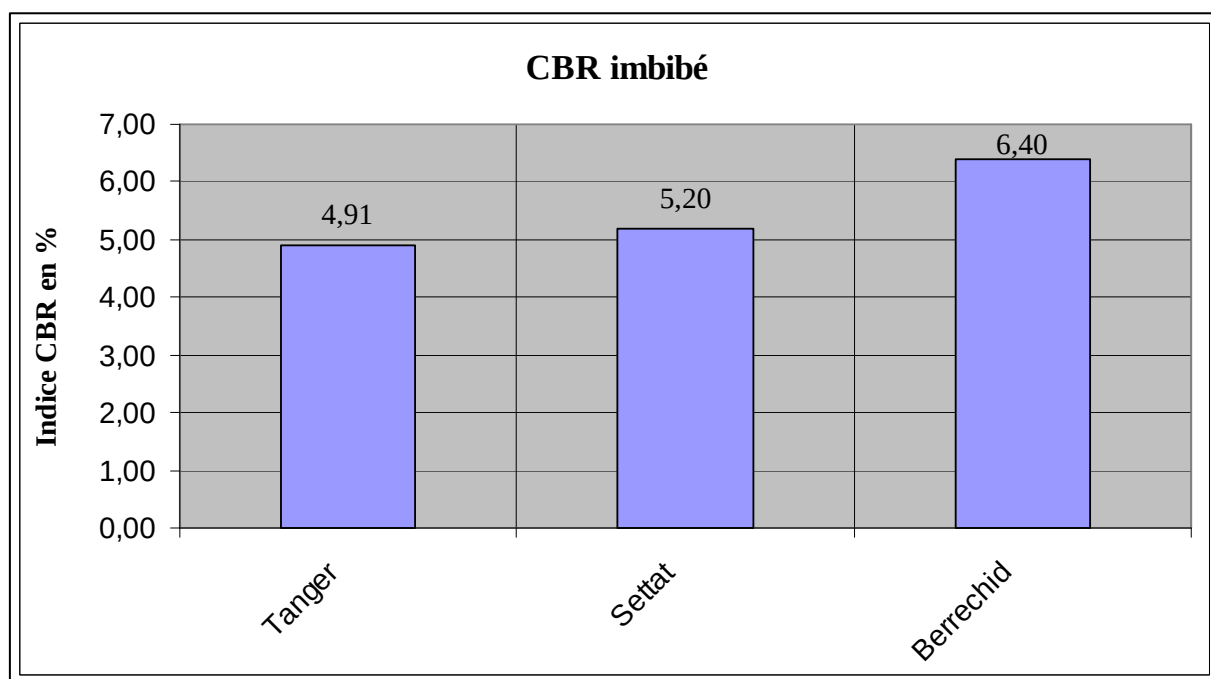


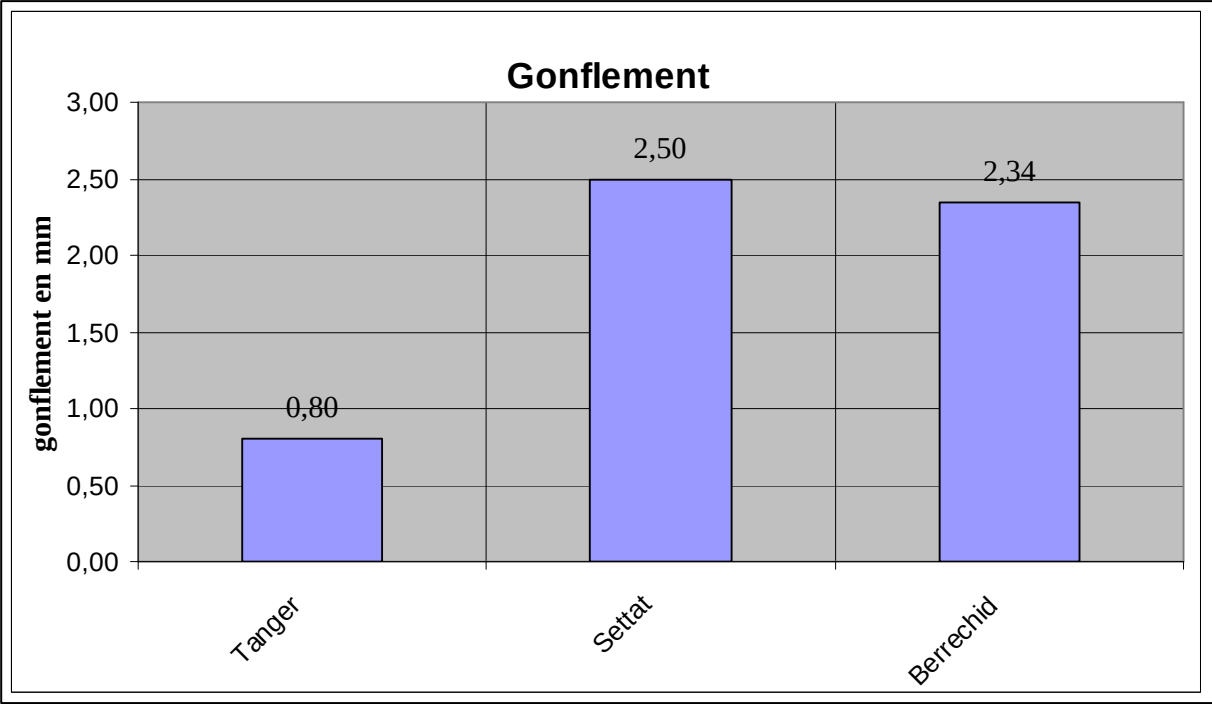
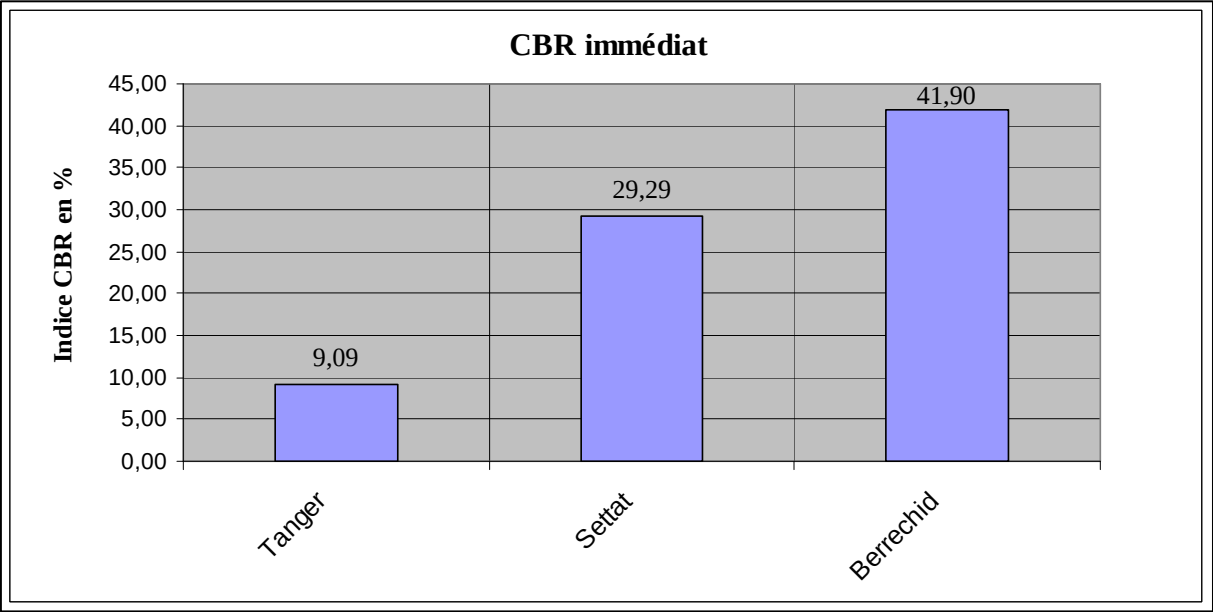
L'indice de consistance $I_c = (W_L - W_{nat}) / I_p$

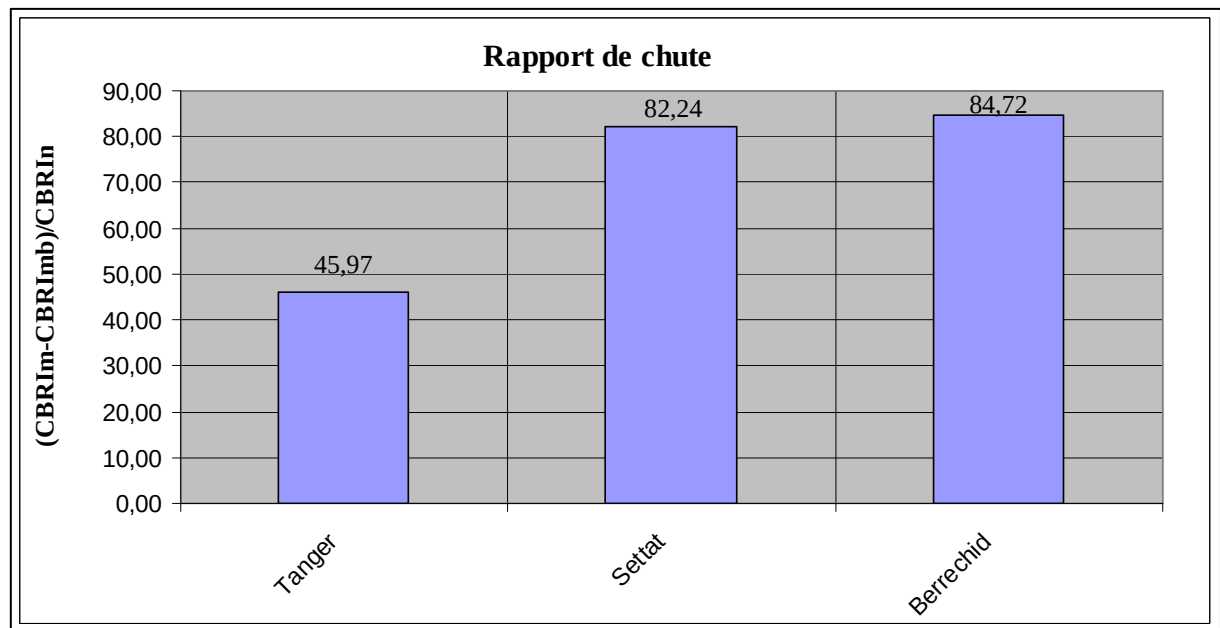
	WL	WP	IP	Ic
Tanger	33%	21%	12%	1,58
Settât	50%	34%	16%	1,87
Berrechid	34%	18%	16%	1,12

Paramètres Région	Dmax	IP	VBS	Classe du sol
Tanger	20	12	1,48	A1/A2
Settât	20	16	2,93	A2
Berrechid	20	16	2,26	A2

	Densité sèche maximale P_{dmax} (g/cm ³)	Teneur en eau optimal W_{opt} (%)
Tanger	2,24	12
Settat	2,05	17
Berrechid	2,33	12,3





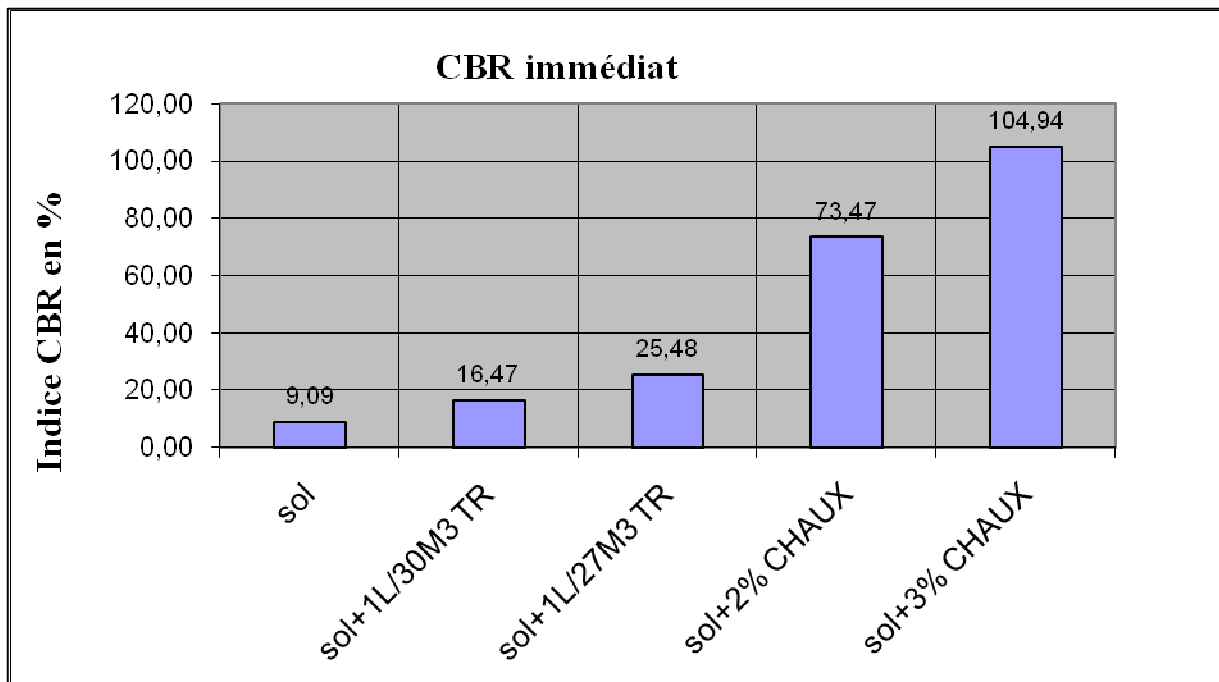


b. Traitement des sols essais et résultats

Les dosages avec lesquels on a traité les différents sols correspondent à un litre du produit à base d'enzyme pour 30 m³ du matériau, le deuxième dosage utilisé est un litre pour 27m³ du matériau.

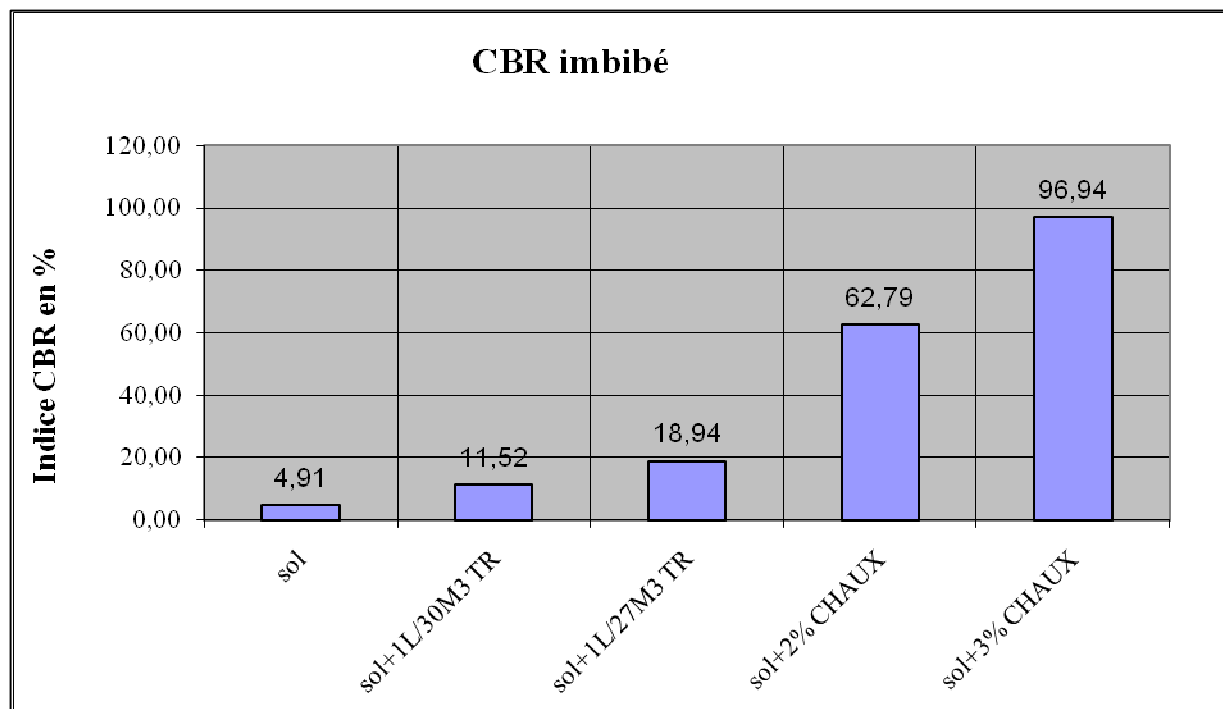
Pour la chaux, on a procédé à un traitement avec des dosages de 2% et 3%

Les résultats des différents essais qui ont été réalisés sur les sols traités sont comme suit :



Histogramme présentant la valeur de l'indice CBR immédiat du sol de Tanger sans traitement et du sol avec traitement avec la chaux et le produit à base d'enzyme

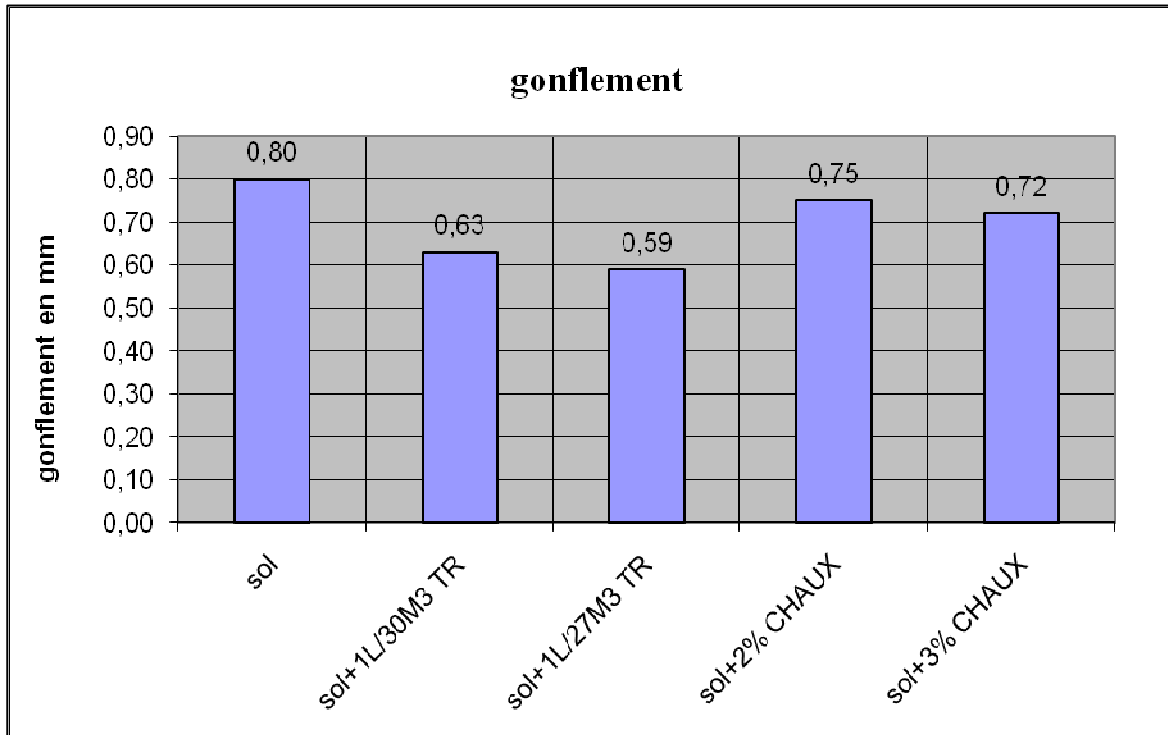
- Les résultats du CBR immédiat obtenus montrent que l'indice de CBR immédiat est amélioré de 81% pour la dose de 1L/30m3 par rapport à l'indice CBR immédiat du sol sans traitement et de 180% pour la dose de 1L/27m3.
- L'indice CBR immédiat du sol traité par 1L%27m3 est amélioré de 55% par rapport au sol traité par 1L%30m3.
- Par contre , le traitement du sol avec la chaux a amélioré l'indice de CBR immédiat d'une façon très remarquable, 708 % pour 2% de la chaux et 1054 % pour 3% de la chaux.



Histogramme présentant la valeur de l'indice CBR imbibé du sol de Tanger sans traitement et du sol avec traitement avec la chaux et le produit à base d'enzyme

À partir de l'histogramme on tire les remarques suivantes :

- Les résultats du CBR imbibé obtenus montrent que l'indice de CBR est amélioré de 135% pour la dose 1L/30m3 par rapport à l'indice CBR du sol sans traitement et de 286% pour la dose 1L/27m3.
- L'indice CBR imbibé du sol traité par 1L%27m3 est amélioré deux fois de plus par rapport au sol traité par 1L%30m3 et quatre fois par rapport au sol sans traitement.
- Le traitement à la chaux présente une amélioration, par rapport au sol de référence, de 1179% et 1874% successivement pour les doses 2% et 3% de la chaux.
- Le traitement à 2% de la chaux présente une amélioration de 232% par rapport au sol traité avec 1L%27m3.

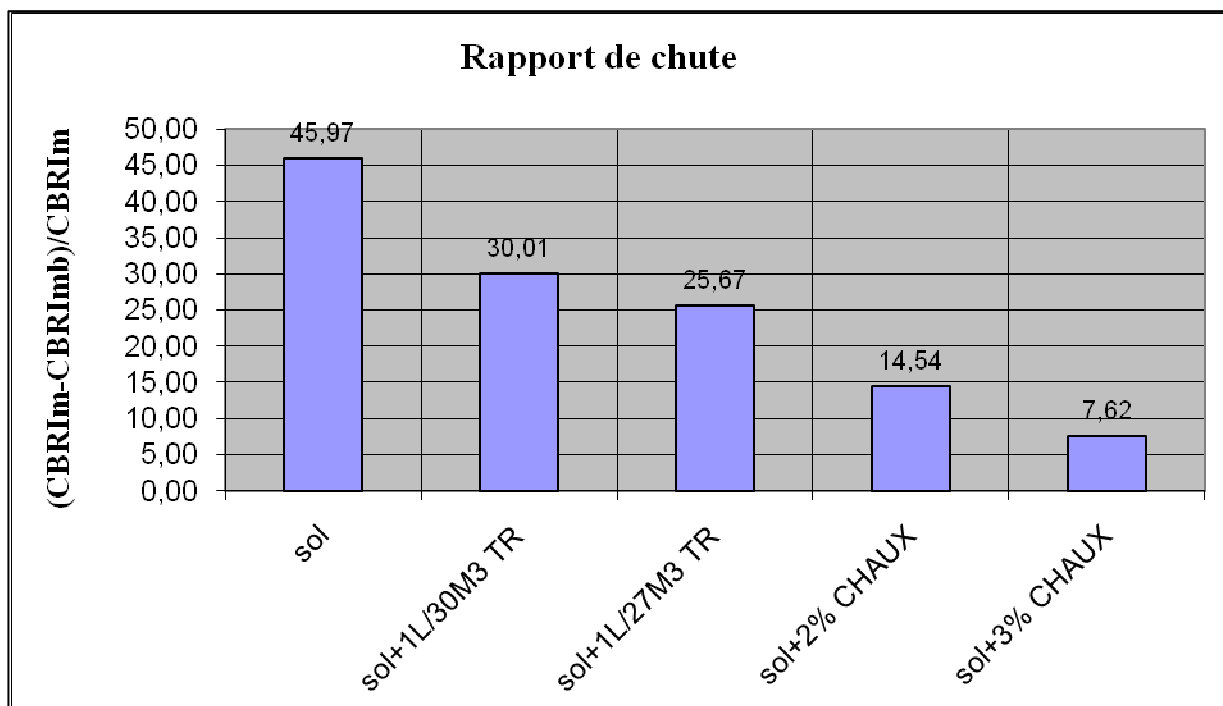


Histogramme présentant les valeurs du gonflement du sol de Tanger sans traitement et du sol avec traitement à la chaux et le produit à base d'enzyme

D'après les résultats d'essais ci avant:

- Plus la dose du traitement par la base d'enzyme augmente, plus la teneur en eau et le gonflement diminuent, ce qui confirme les résultats obtenus par les essais de CBR.
- Le traitement à la chaux ne diminue pas d'une manière significative le gonflement du sol, puisqu'il reste toujours important.

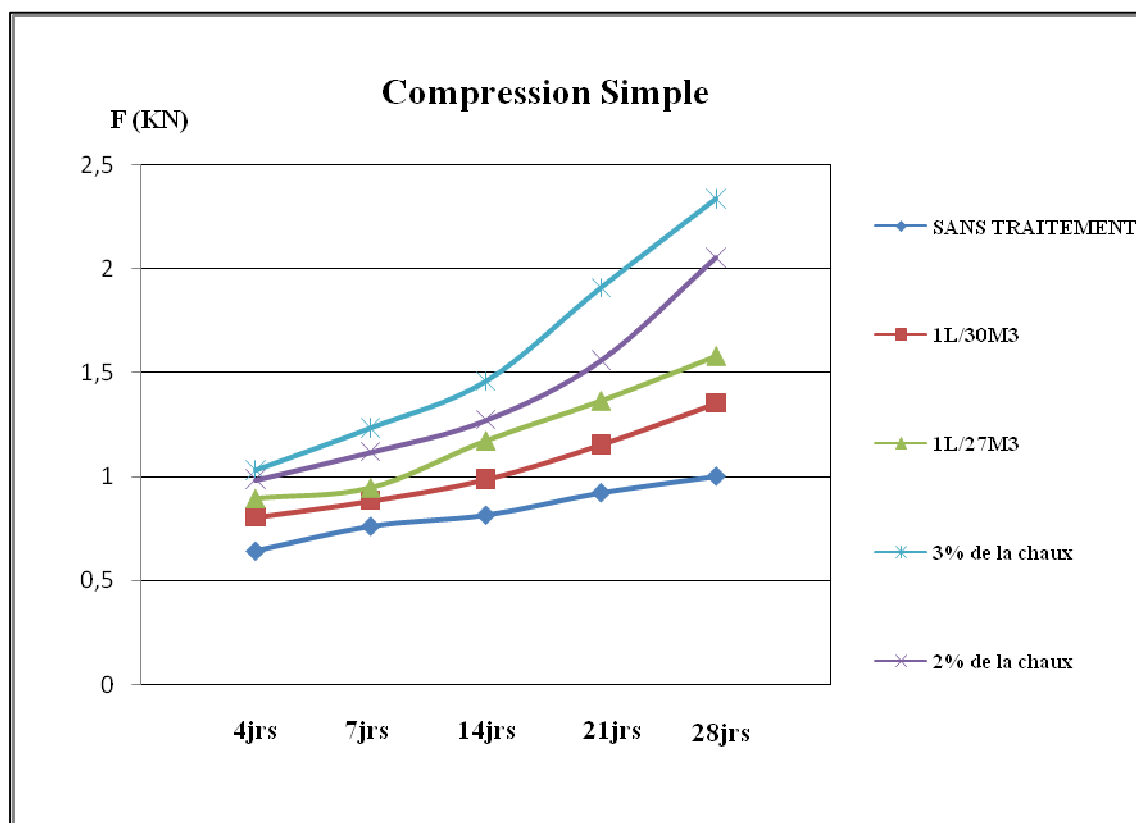
Pour mieux juger le comportement du sol vis-à-vis le traitement avec les différentes doses de produit à base d'enzyme et le traitement à la chaux, nous avons procédé au calcul du rapport de chute de l'indice CBR qui correspond au rapport entre l'indice CBR immédiat et l'indice CBR imbibé.



En comparant les rapports de chute et les indices de CBR immédiat et imbibé, on remarque ce qui suit :

- Le traitement avec le produit à base d'enzyme pour la dose 1L/27m3, présente de bons résultats sur le sol confirmé par le rapport de chute : ce dernier est moins important que le rapport de chute du sol sans traitement et du sol avec traitement par la dose 1L/30m3.
- En comparant avec le traitement du sol à la chaux, on ne constate que cette dernière présente des résultats plus satisfaisants que le traitement à base d'enzyme.

Pour compléter l'étude, nous avons effectué des essais de résistance à la compression simple:

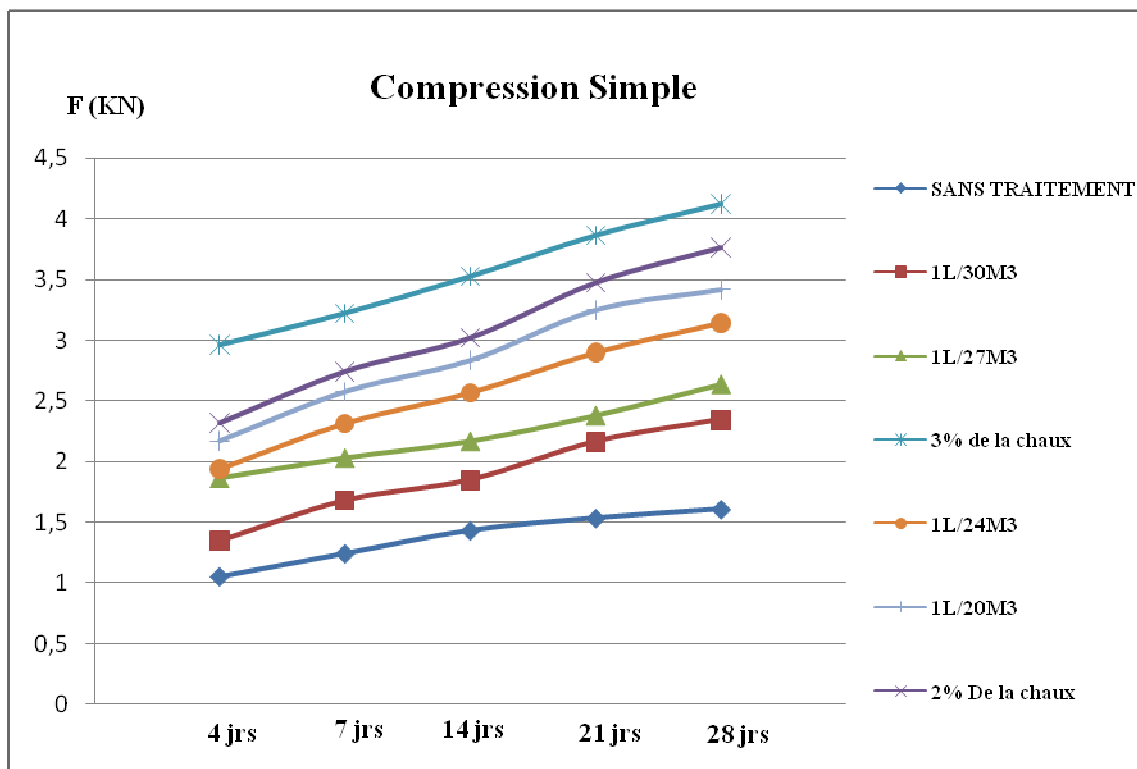


Courbes représentant les valeurs de la résistance à la compression simple par rapport à l'âge de l'éprouvette du sol de Tanger

D'après cette figure, on remarque que la résistance à la compression augmente avec le temps et avec l'augmentation de dosage de traitement, soit pour le produit à base d'enzyme ou bien la chaux, sauf que la chaux présente une résistance à la compression qui est très importante par rapport à la résistance à la compression obtenue par le produit à base d'enzyme.

Le tableau suivant présente les améliorations apportées par le traitement à différents dosages, à la chaux et avec le produit à base d'enzyme, par rapport au sol de référence (sol sans traitement).

	FORCE en KN				
	4jrs	7jrs	14jrs	21jrs	28jrs
1L/30m3	23%	25%	26%	27%	35%
1L/27m3	37%	40%	49%	50%	57%
2% chaux	51%	58%	62%	72%	105%
3% chaux	58%	75%	86%	111%	133%



Courbes représentant les valeurs de la résistance à la compression simple par rapport à l'âge de l'éprouvette du sol de Berrechid

Le tableau ci-dessous présente les améliorations apportées par le traitement :

	FORCE en KN				
	4jrs	7jrs	14jrs	21jrs	28jrs
1L/30m3	28%	35%	36%	41%	46%
1L/27m3	66%	69%	70%	72%	83%
1L/24m3	83%	86%	88%	89%	96%
1L/20m3	106%	107%	108%	112%	113%
2%chaux	119%	120%	122%	127%	135%
3% chaux	142%	143%	144%	145%	150%

Les résistances à la compression simple du sol de Berrechid

c. Observation au microscope électronique à balayage des échantillons de sols traités avec le produit à base d'enzyme

Les photos suivantes présente l'état des grains après traitement à 1L/27m³ du produit à base d'enzyme :

➤ Tanger

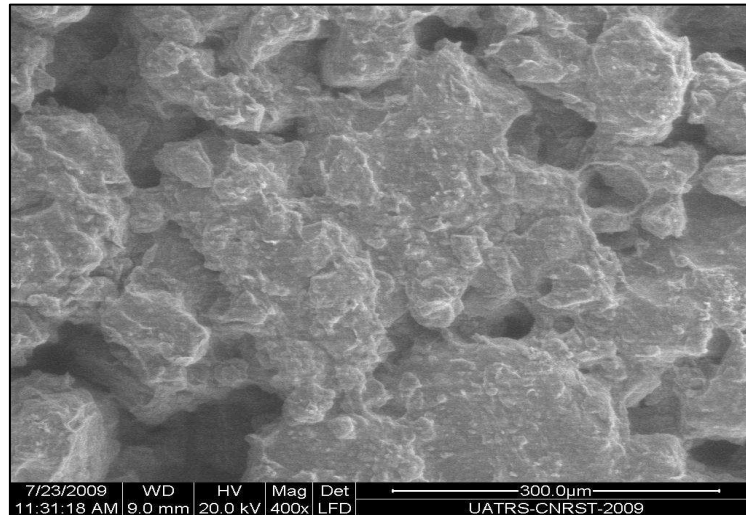


Photo par microscope électronique à balayage d'un échantillon de sol de Tanger sans traitement (Grossissement : x 400)

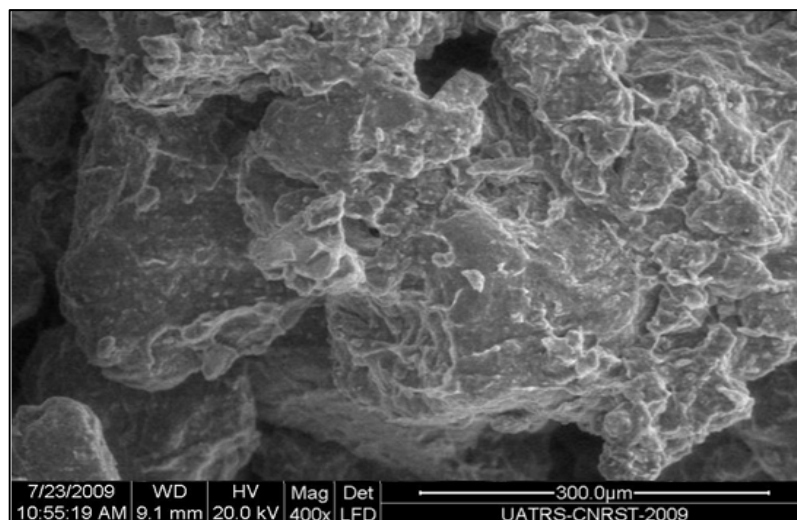
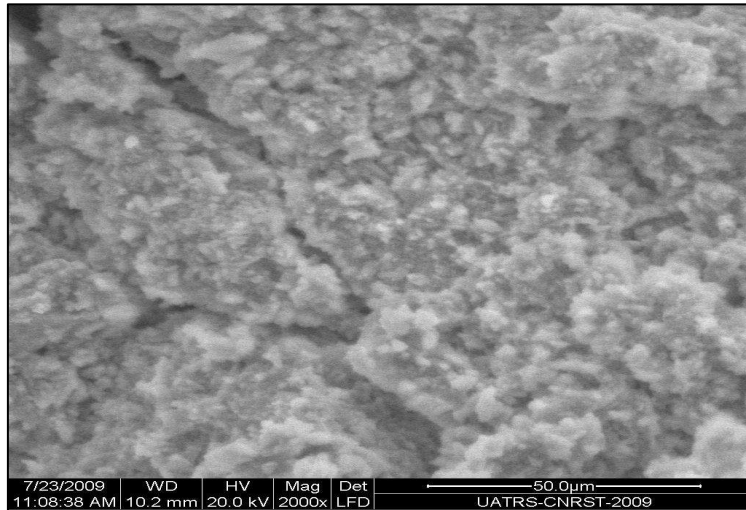
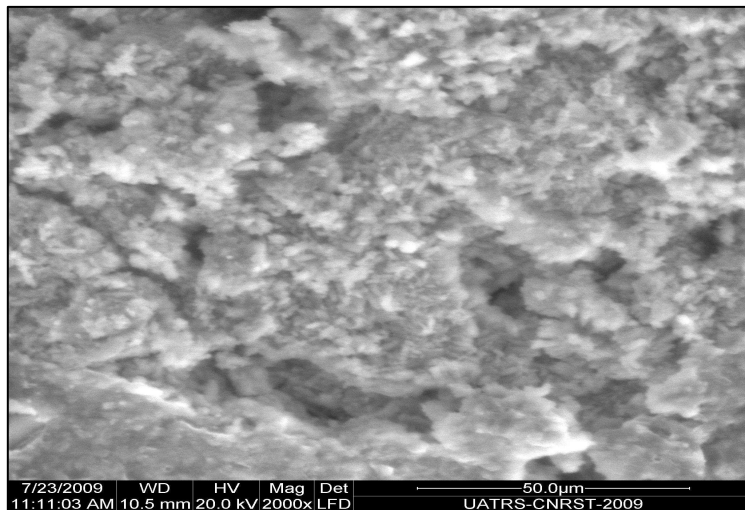


Photo par microscope électronique à balayage d'un échantillon de sol de Tanger avec traitement (Grossissement : x 400)

➤ **Settat**



**Photo par microscope électronique à balayage d'un échantillon de sol de Settat sans traitement
(Grossissement : x 2000)**



**Photo par microscope électronique à balayage d'un échantillon de sol de Settat avec
traitement (Grossissement : x 2000)**

➤ Berrechid

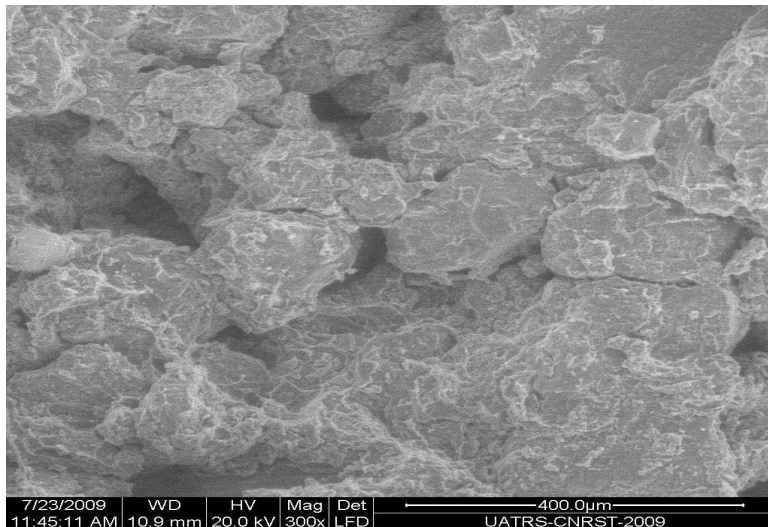


Photo par microscope électronique à balayage d'un échantillon de sol de Berrechid sans traitement (Grossissement : x 300)

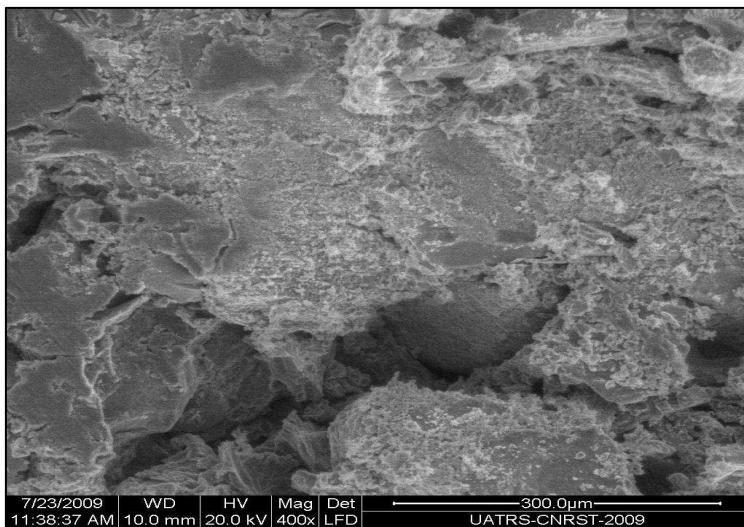


Photo par microscope électronique à balayage d'un échantillon de sol de Berrechid avec traitement (Grossissement : x 400)

Les photos obtenues montrent, pour le sol traité avec 1L/27m³, présente une forte agglomération des grains par rapport au sol sans traitement réduisant ainsi la porosité du sol, cela explique les résultats obtenus par les essais géotechniques réalisés au laboratoire :

- Augmentation de la densité ;
- Diminution de la teneur en eau ;
- Diminution du gonflement.

Donc le produit à base d'enzyme agit en adsorbant l'humidité du sol. De ce fait, il soude les particules en chassant les vides et favorise ainsi la compaction du sol.

5. CONCLUSION

Le choix de l'étude sur les sols en provenance de Tanger, Settât et Berrechid, n'est pas retenu au hasard, mais parce que ces régions connaissent un trafic moyen à élevé, c'est-à-dire un taux de poids lourds important, surtout au niveau des zones d'emprunt.

Les sols de Tanger, Settât et Berrechid ont subi deux types de traitement : traitement à la chaux (2% et 3% de la chaux) et traitement avec le produit à base d'enzyme en utilisant différentes dosages,

Le traitement avec la chaux a donné des résultats, du point de vue amélioration de la portance du sol, très satisfaisant. L'amélioration est très importante pour le sol de Tanger suivi par le sol de Settât et enfin le sol de Berrechid.

Le produit à base d'enzyme a également donné de bons résultats, les sols sont améliorés dans le même ordre que celui qui a été trouvé à l'aide du traitement avec la chaux, sauf que cette amélioration, reste moins importante que celle donnée par la chaux.

Les résultats de l'essai de la compression simple confirment ce que nous avons trouvé pour le CBR. La résistance à la compression simple pour le traitement à la chaux est supérieure à celle enregistrées pour les échantillons du sol traités avec le produit à base d'enzyme.

pour les rapports de chute de portance, la chaux a donné les meilleurs résultats en comparant avec le produit à base d'enzyme.

L'analyse avec le microscope électronique à balayage effectuée pour six échantillons de sol traités à l'aide du produit à base d'enzyme pour la dose de 1L/27m³, montre une agglomération des éléments pour chaque échantillons de sol réduisant ainsi la porosité ce qui explique la diminution de la teneur en eau. L'agglomération explique également l'augmentation de la densité des sols traités.

Il est recommandé d'étudier d'autres dosages du produit à base d'enzyme et d'autre sols pour étudier l'opportunité offerte par ces produits qui pourraient améliorer peut être certains caractéristiques des sols argileux.

Il est aussi recommander d'élargir l'étude aux graves surtout celles qui ne répondent pas aux spécifications en vigueur, en vue d'étudier une éventuelle valorisation des matériaux locaux à base de ces produits à base d'enzyme.

Références bibliographiques

Tisdall, & Oades, J.M. (1982) «Organic matter and water stable aggregates in soil» J. Soil. Sci. **32** 141-163.

Gosz, J.R. & Fischer, F.M. (1984) «Influence of clear-cutting on selected microbial processes in forest soils.» in *Current Microbial Ecology.Perspectives Proceedings of the third International Symposium on Microbial Ecology* (Klug, M.J. & Reddy eds.)

Catalyse enzymatique, BCM 1502

TFE ENIM, propose et encadré par AFECHKAR Mohamed et le professeur EDDINI (ENIM) (2009