

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

N° :



DOMAINE : TECHNOLOGIE
FILIERE : GENIE CIVIL
OPTION : GEOTECHNIQUE.

Rapport présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master (Arrêté 1275)

Par :

Younes BELATRACHE et Habib BELBECIR

Intitulé

Etude des propriétés géotechniques des sols contaminés

Devant le jury compose de :

Dr. SEDDIKI Ahmed	Université de M'sila	Président
Pr. MEDDAH Abdelaziz	Université de M'sila	Encadreur
Dr. GOUFI Abd elmalik	Université de BBA	Co-Encadreur
Dr. TALLAH Naoui	Université de M'sila	Examineur
Mr. MIMOUNE Mohamed	DTP de M'sila	Membre

Année universitaire: 2022 /2023

Abstract

The geotechnical properties of soils polluted by petroleum derivatives (such as diesel) are significantly altered after contamination. However, different treatment methods can improve the properties of these soils. This study examines the effect of diesel contamination of clay taken from the region of Sidi Hadjres, Wilaya of M'sila. The experimental program undertaken includes compaction and compressive strength tests. The tests were carried out on natural soil (without contamination) and soil contaminated with diesel in different concentrations (3.6, and 9%). The study also considers the potential to improve the mechanical performance of contaminated clay by its treatment with sand and lime. The results obtained showed that diesel modifies the mechanical properties of this clay. However, adding lime and/or sand to contaminated soils significantly contributes to regaining the natural properties of the soil with a low lime content.

ملخص

تتغير الخصائص الجيوتقنية للتربة الملوثة بالمشتقات النفطية (مثل المازوت) بشكل كبير بعد التلوث. ومع ذلك، يمكن لطرق المعالجة المختلفة تحسين خصائص هذه التربة. تتناول هذه الدراسة تأثير التلوث المازوت على الطين المأخوذ من منطقة سيدي هجرس بولاية المسيلة.

يتضمن البرنامج التجريبي الذي تم إجراؤه اختبارات الضغط وقوة الضغط. أجريت الاختبارات على تربة طبيعية (غير ملوثة) وتربة ملوثة بالمازوت بتركيز مختلفة (3.6، 9%). كما تناولت الدراسة إمكانية تحسين الأداء الميكانيكي للطين الملوث من خلال معالجته بالرمل والجير. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن الديزل يعدل الخواص الميكانيكية لهذا الطين. ومع ذلك، فإن إضافة الجير و/أو الرمل إلى التربة الملوثة يساهم بشكل كبير في استعادة الخصائص الطبيعية للتربة ذات المحتوى المنخفض من الجير.

Résumé

Les propriétés géotechniques des sols pollués par les dérivés pétroliers (comme le gasoil) sont fortement altérées après contamination. Cependant, les différentes méthodes de traitement peuvent améliorer les propriétés de ces sols. Cette étude examine l'effet d'une contamination par gasoil d'une argile prélevée dans la région de sidi Hadjres, Wilaya de Msila. Le programme expérimental entrepris comporte les essais de compactage et de résistance à la compression. Les essais ont été réalisés sur le sol naturel (sans contamination) et des sols contaminés par gasoil en différentes concentrations (3,6, et 9%). L'étude envisage également la potentialité d'améliorer la performance mécanique de l'argile contaminée par son traitement avec du sable et de la chaux. Les résultats obtenus ont montré que le gasoil modifie les propriétés mécaniques de cette argile. Cependant, l'ajout à la chaux et/ou sable aux sols contaminés contribue significativement à retrouver les propriétés naturelles du sol à faible teneur en chaux.

Table des Matières

Résumé.....	I
Abstract.....	II
Table des matières.....	III
INTRODUCTION GENERALE.....	1
1- MATERIAUX UTILISES ET.....	4
PREPARATION.....	4
1-1 Sols naturels.....	4
a- Lieu de prélèvement.....	4
b- Identification et caractérisation.....	5
c- Sable de dunes.....	6
d- La chaux.....	6
2- METHODES EXPERIMENTALES.....	7
2-1 Détermination des caractéristiques de compactage.....	7
2-2 Résistance à la compression uni-axiale.....	8
2-3 L'essai CBR.....	9
2-4 CONCLUSION.....	10
3- RESULTATS ET DISCUSSIONS.....	11
3-1- Essais de compactage.....	11
3-2- Essai de compression uni axial et CBR.....	14
4 CONCLUSION GENERALE.....	20
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	21

1 INTRODUCTION GENERALE

Les sols contaminés par le pétrole résultent de fuites de réservoirs de stockage souterrains et de puits de pétrole, ou de déversements de pétrole pendant le transport, d'accidents de pétroliers, de pipelines endommagés, de processus de forage pétrolier et de raffineries de pétrole environnantes. La contamination des sols est un problème grave dans le monde entier et pose un risque environnemental majeur [1–3]. Son exploitation, sa manutention, son transport et sa transformation sont devenus problématiques et ont attiré l'attention d'ingénieurs et de géologues [4]. Les réservoirs souterrains de stockage de carburant représentent une source potentielle de contamination dans le monde entier. Les causes les plus courantes de fuite des réservoirs sont liées à des défauts structurels, principalement dus à une installation inappropriée et à la corrosion de leur revêtement interne et/ou externe. La contamination du sol par les hydrocarbures pétroliers entraîne des altérations de ses propriétés physiques, chimiques et géotechniques et le degré d'altération dépend du type de sol et du type et de la concentration du contaminant [5–7]. Cependant, les politiques d'orientation sur la réutilisation potentielle des sols contaminés par le pétrole montrent des moyens de réutiliser les sols non dangereux contaminés par le pétrole dans des applications de génie civil, telles que le béton bitumineux, l'asphalte à froid, les matériaux de construction, les sous-couches de chaussée et les matériaux de couverture quotidiens alternatifs pour les décharges [8, 9]. [5], pour une éventuelle réutilisation, il est nécessaire de déterminer les effets de la contamination par l'huile sur les propriétés d'ingénierie du sol car elles peuvent changer radicalement et rendre les sols inadaptés aux structures d'ingénierie de soutien. Par conséquent, les propriétés techniques des sols contaminés par le pétrole ont fait l'objet de nombreuses recherches au cours des dernières années, en raison de leur occurrence croissante et de leur importance dans le contexte de la réutilisation et de la minimisation des impacts environnementaux [1, 4, 7, 10–12]. [13] proposent, sur la base de l'étude des propriétés techniques des sols contaminés par les hydrocarbures, l'utilisation de méthodes d'amélioration pour convertir ces sols en un matériau valorisable, pour les couches de fondation routières ou les matériaux de surface des parkings, après mélange avec agents de stabilisation, ce qui en fait une technique économique et rapide. La stabilisation peut se faire par l'ajout de cendres volantes, de chaux ou de ciment Portland, ou même une combinaison de ceux-ci, ce qui entraîne souvent une réaction pouzzolanique. De plus, bien que l'ajout de ciment soit la technique la plus utilisée avec succès, le coût élevé du ciment a motivé la recherche de stabilisants alternatifs. [14] ont étudié un sol contaminé par du pétrole stabilisé avec 5 % de ciment, 10 % de cendres volantes et 20 % de chaux et ont montré des propriétés de

résistance supérieures parmi les autres contenus testés. [15] ont évalué un sol argileux contaminé au fioul traité avec différents agents de stabilisation en termes d'amélioration des propriétés géotechniques et ont observé des résultats supérieurs lorsque le sol était traité avec une combinaison de 10 % de chaux, 5 % de ciment et 5 % de cendres volantes, ce qui a été attribuée à la dispersion de l'huile, à l'échange de cations, à l'agglomération et aux réactions pouzzolaniques. Un mélange de sable contaminé par de l'huile et de poussière de four à ciment a été évalué par [3] en termes de comportement de compactage et de résistance pour la construction de routes rurales. 2 % de teneur en huile et par rapport au sable contaminé non stabilisé, les valeurs de CBR ont augmenté d'environ 37 % et 47,6 %, respectivement, lorsque la teneur en poussière de four à ciment est passée de 10 à 15 %. Dans les recherches [2], l'influence de la période de durcissement à la chaux sur les propriétés de résistance d'un sol industriel contaminé par l'huile a été évaluée à l'aide d'essais de résistance à la compression non confinée. Les résultats ont montré qu'une période de cure de 28 jours permettait au sol contaminé par l'huile de se stabiliser avec 1 % de chaux pour atteindre les propriétés de résistance du sol naturel. Georges et al. [16] ont mené des études pour évaluer l'efficacité des cendres volantes en tant qu'agent stabilisant sur les propriétés géotechniques d'un sol sableux pollué par le gasoil. Les résultats ont montré que les caractéristiques de compactage n'étaient pas uniformes avec l'augmentation des cendres volantes et que les valeurs de CBR diminuaient avec l'ajout de contaminant, reprenant l'augmentation avec l'ajout de cendres volantes. Yu et al. [17] présente une étude expérimentale sur la stabilisation de sols contaminés avec du ciment Portland, motivée par la réhabilitation de terrains industriels dans des villes côtières de Chine. Les résultats expérimentaux ont montré que les propriétés géotechniques des sols contaminés par l'huile végétale étaient très médiocres, mais avec l'application de ciment, l'indice de plasticité du sol contaminé par l'huile diminue considérablement et la propriété de résistance est améliorée. [18] ont évalué l'utilisation de chaux hydratée à l'échelle nanométrique sur un sol argileux contaminé à 9 % de gaz. Les résultats ont montré que l'ajout de 5 % de chaux au sol contaminé augmentait l'UCS, les paramètres de résistance au cisaillement, LL, PL, la teneur en humidité optimale et diminuait l'indice de plasticité et la densité sèche maximale du sol après 24 jours. Chen et al. [4] ont évalué un sol contaminé au gasoil traité avec du ciment, montrant que différentes combinaisons de temps de durcissement, de teneur en gasoil et en ciment conduisaient à différents processus d'augmentation de la résistance. Selon [4], la plus faible viscosité du gasoil, par rapport au pétrole brut, en fait un puissant potentiel de contamination en cas de déversement de pétrole et d'infiltration dans le sol.

La présente étude vise à analyser, en premier lieu, l'influence du gazoil sur l'argile de Sidi hadjres. Le deuxième objectif du travail consiste, cependant, d'améliorer les propriétés géotechniques de l'argile contaminée en adoptant différents modes de traitement ; chaux, sable et un mélange des deux. Les essais comprennent les propriétés de compactage, la compression non confinée et le CBR.

1 MATERIAUX UTILISES ET PREPARATION

Un programme expérimental a été entrepris pour mieux comprendre l'effet de (gasoil, sable de dunes et la chaux) sur les propriétés géotechniques d'un sol argileux prélevé de la zone de Sidi Hadjres. Utilisée Outre les essais d'identification, ce chapitre comprend les différentes techniques expérimentales utilisée dans le laboratoire. Toutes les analyses ont été réalisées sur la fraction inférieure à 2 mm Les essais ont été effectués au niveau du laboratoire des matériaux et mécanique des structure (LMMS) et BERM (M'sila).

1-1Sols naturels

e- Lieu de prélèvement

Le sol utilisé dans cette étude a été prélevé de 4m profondeur, de la ville de Sidi-hadjres wilaya de m'sila (Algérie) (Fig. 1.1), les coordonnées géographiques du site d'étude sont (35°40' 30 "N et 4°02' 16 "E).

Après extraction, le sol a été placé dans des sacs en plastique, transportés au laboratoire et sou placés à l'étuve à 50°C durant 24h. Après séchage, les sols ont été ensuite concassés et broyés pour la préparation d'éprouvettes d'essais (Fig.1.2).



Fig. 1.1 Sidi-hadjres wilaya de m'sila (Algérie)



Fig. 1.2 : Aspect du sol de Sidi Hadjres a) intact, b) broyé

f- Identification et caractérisation

Le Tableau 1.1 représente les différentes caractéristiques physico-mécaniques de sol étudié ainsi que leur classification géotechnique. Ces caractéristiques ont été déterminées suivant les normes américaines (**ASTM**). Les propriétés chimiques sont reportées dans le **Tableau 1.1 (GOUFI et al, 2021)**.

Tableau 1.1 : Caractéristiques géotechniques du sol étudié.

	Propriété	Valeur
Caractéristiques de plasticité ASTM D-4318	Limite de liquidité [%]	85.9
	Limite de plasticité [%]	33.9
	Indice de plasticité	52
Caractéristiques physiques ASTM D-831	Masse volumique absolue [g/cm ³]	2.7
	Gravie (>5 mm) [%]	0
Caractéristiques granulométriques ASTM D-421 &422	Sable (5-0.08) [%]	2
	Limon (0.08-0.002) [%]	23
	Argile (< 0.002 mm) [%]	75
	Classification USCS	CH : High plasticité (Argile très plastique)
Caractéristiques de compactage ASTM D-698	Teneur en eau optimale [%]	24.58
	Densité sèche maximale	1.56
Caractéristiques mécaniques	Résistance à la compression	256

g- Sable de dunes

Nous avons utilisé un sable localement commercialisé (Sable d'Oued Souf). Les propriétés physiques de ce sable sont groupées dans le **Tableau 1.2**.

Tableau 1.2: Caractéristiques géotechniques du sable étudié.

Propriétés	Symbole	Valeur
Masse volumique apparente, (g/cm ³)	ρ	2,05
Masse volumique absolue	GS	2,65
Analyse granulométrique par tamisage NF P94-056	% Sable	99,6
	% Fines	0,4
Coefficient d'uniformité	C_U	2,53
Coefficient de courbure	C_c	1,16
Classification du sol (USCS)	- SP (Poorly-graded sand: Sable mal gradué)	
Equivalent sable	ESV (%)	88,56
	ESP (%)	86,39

h- La chaux

La chaux est obtenue par cuisson de roches calcaires dans des fours droits ou rotatifs à une température variable de 900 à 1250°C. On distingue plusieurs types de chaux, selon la composition chimique de la roche d'origine.

La chaux utilisée dans cette étude est une chaux vive produite par la société BMSD-SARL située dans la ville de Saïda, Algérie (**Fig1.3**). Les propriétés physiques et chimiques de cette chaux sont présentées dans le Tableau 1.3.



Fig. 1.3 : Format commercialisé de la chaux employée

Tableau 1.3.: Propriétés physiques et chimiques de la chaux de Saida [Fiche technique].

Paramètre	(%)
CaO	> 83.3
MgO	< 0.5
Fe ₂ O ₃	< 2
Al ₂ O ₃	< 1.5
SiO	< 2.5
SO ₃	< 0.5
Na ₂ O	0.4 - 0.5
CO ₂	< 5
CaCO ₃	< 10
Densité spécifique	2
Plus de 90 µm (%)	< 10
Plus de 630 µm (%)	0
Matériaux insolubles (%)	< 1
Densité apparente (g /l)	600-900

2 METHODES EXPERIMENTALES

2-1 Détermination des caractéristiques de compactage

Les caractéristiques de compactage d'un sol, dénommées respectivement la teneur en eau optimale et la masse volumique sèche maximale, sont très utilisées en géotechnique pour l'identification des sols et l'étude du compactage notamment dans la construction des remblais, des couches de forme et des assises de chaussées. Elles sont déterminées à partir de l'essai Proctor normal ou modifié. Les deux essais sont identiques dans leur principe, sauf que les valeurs des paramètres qui définissent l'énergie de compactage appliquée sont différentes.

Le principe de ces essais consiste à humidifier un sol à plusieurs teneurs en eau et le compacter selon un procédé et une énergie conventionnelle (Fig. 1.4). Pour chacune des valeurs de la teneur en eau considérée, on détermine la masse volumique sèche du sol et on établit la courbe des variations de cette masse volumique en fonction de la teneur en eau.

Les résultats obtenus sont ensuite portés sur la courbe Proctor qui est caractérisée généralement par une valeur maximale marquée de densité. Par définition, les coordonnées du

sommet représentent la masse volumique sèche maximale et l'optimum Proctor.

Les essais de compactage sont réalisés conformément à la norme **ASTM D698**. Ces essais avaient pour but de fournir les paramètres de compactage pour des échantillons remoulés à compression simple et CBR.



Fig. 2.1 : Préparation des essais de compactage

2-2 Résistance à la compression uni-axiale

La résistance à la compression non confinée a été effectuée sur des échantillons du sol conformément à la norme **ASTM D2166**. Chaque échantillon est compacté dans un moule cylindrique ($\Phi= 5\text{cm}$, $h=10\text{cm}$) avec les caractéristiques de l'optimum Proctor.

Après démoulage, tous les échantillons ont été enduits de la cire comme indiqué sur la **(Fig1.5)**. Pour déterminer l'effet de la période de durcissement sur la propriété de résistance les échantillons d'essai ont été cirés pour maintenir leur teneur en eau optimal pendant 28 jours. Après chaque période de cure, l'essai de compression non confinée est réalisé au moyen d'une presse hydraulique.

La valeur de la résistance à la compression maintenue représente la moyenne de deux valeurs, pour chaque combinaison considérée.



Fig. 2.2 : L'essai de compression

2-3 L'essai CBR

L'essai CBR est couramment adopté pour déterminer la capacité portante du sol de fondation et de fondation. L'essai CBR est également utilisé pour mesurer la résistance du sol de fondation contre la charge pénétrante.

Plus la valeur CBR est élevée, plus l'épaisseur des couches supérieures de la chaussée sera réduite et, par conséquent, le coût de construction sera réduit. L'essai CBR est effectué dans cette recherche selon la norme [ASTM D1883 \(2007\)](#). Un premier mélange sec uniforme de sol, chaux, sable et fibre est préparé à la main puis mélangé avec de l'eau Wopt.

Le mélange humide résultant est placé sur un moule CBR en trois couches et chaque couche est compactée 56 fois par un dame de 2,49 kg avec une hauteur de coups de 305 mm Le moule CBR avec l'échantillon compacté est ensuite stocké pour la durci émet pendant 28 jours. [\(Fig.1.6\)](#).

Le principe général de l'essai consiste à mesurer les forces à appliquer sur un poinçon

cylindrique pour le faire pénétrer à vitesse constante (1.27mm/min) dans une éprouvette de matériau. Durant de l'essai, la courbe effort-déformation est établie sur l'anneau dynamométrique la force nécessaire aux enfoncements de 1.25mm, 2mm, 2.5mm, 5mm, 7.5mm, et 10mm on définit les valeurs caractéristiques suivantes :

$$I_1 = \frac{\text{Effort de pénétration à 2.5mm(kN)}}{13.35} \times 100$$

$$I_2 = \frac{\text{Effort de pénétration à 5mm(kN)}}{19.93} \times 100$$

L'indice recherché est par convention la plus grande des deux valeurs : $\max (I_1 ; I_2)$.



Fig. 2.3 : Les éprouvettes de CBR avant et après l'exécution de l'essai.

2-4 CONCLUSION

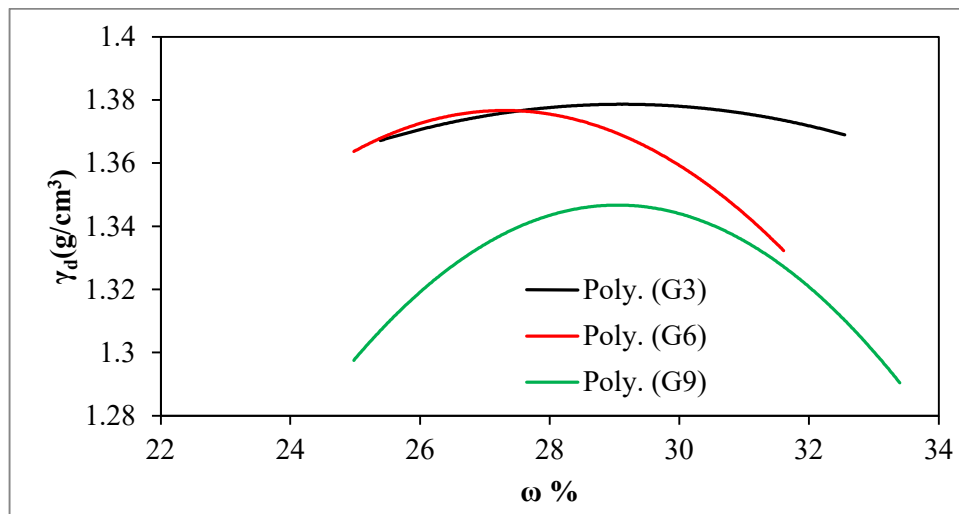
Les matériaux sélectionnés dans ce travail de mémoire ont été d'abord identifiés et caractérisés tout en déterminant leurs propriétés physico-mécaniques, chimiques qui permettent enfin, de commenter, d'interpréter et de se comparer aux résultats issus du programme expérimental entrepris. Les échantillons ont été préparés selon la nature et le type d'essai tout en respectant les normes **ASTM**. Les différents effets apportés par l'utilisation du sable, chaux et fibre sur le comportement physico-mécanique de sol argileux stabilisés. Les résultats de différents essais réalisés seront présentés, analysés et discutés dans le Chapitre suivant à savoir : Compactage, la résistance à la compression non confinée et CBR.

3- Résultats et discussions

3-1- Essais de compactage

Des essais de compactage ont été effectués sur le sol, les résultats sont présentés dans les figures 3.1a,3.1b,3.1c,3.1d sous forme de densité sèche maximal en fonction de teneur en eau. Les courbes de compactage des sols contaminés se sont généralement déplacées vers la gauche des courbes de compactage des sols non contaminés, c.-à-d. la contamination provoque une augmentation de la teneur en eau avec l'augmentation de la teneur en gas-oil.

La figure 3.1 montre l'influence de la contamination sur la densité sèche maximale. La variation de la densité dans les sols montre une baisse significative lorsque 9 % de gas-oil a été ajouté dans les sols et pour les échantillons fortement contaminés. La réduction de la densité sèche dans les sols est faible, car les espaces vides sont plus grands et que le gasoil peut se déplacer à travers les grains du sol à la même vitesse que l'eau. À la même vitesse que l'eau et il a un effet lubrifiant similaire.



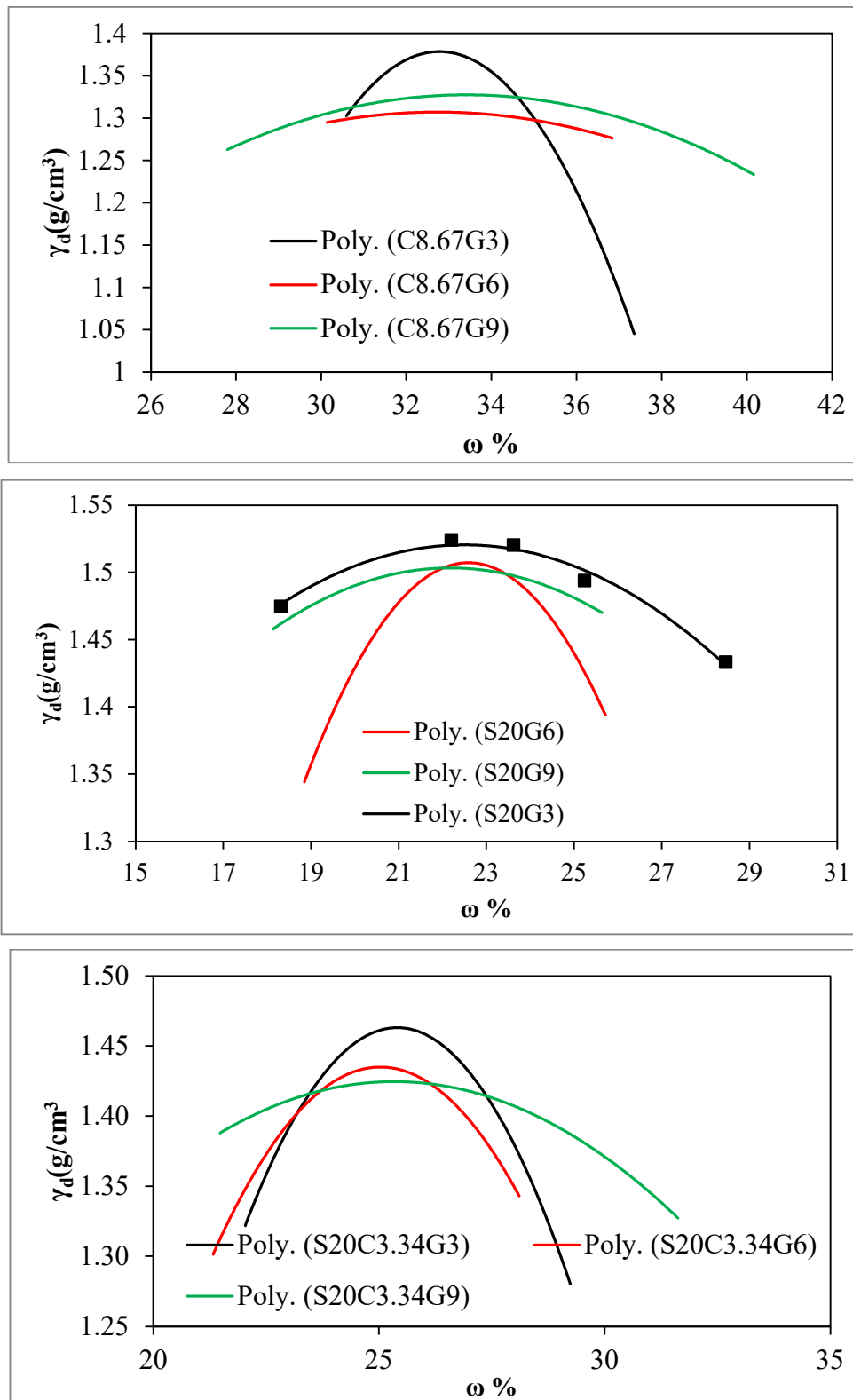


Fig. 3.1 L'effet de gas-oil sur le sol Natural et traite par la chaux et/ou sable

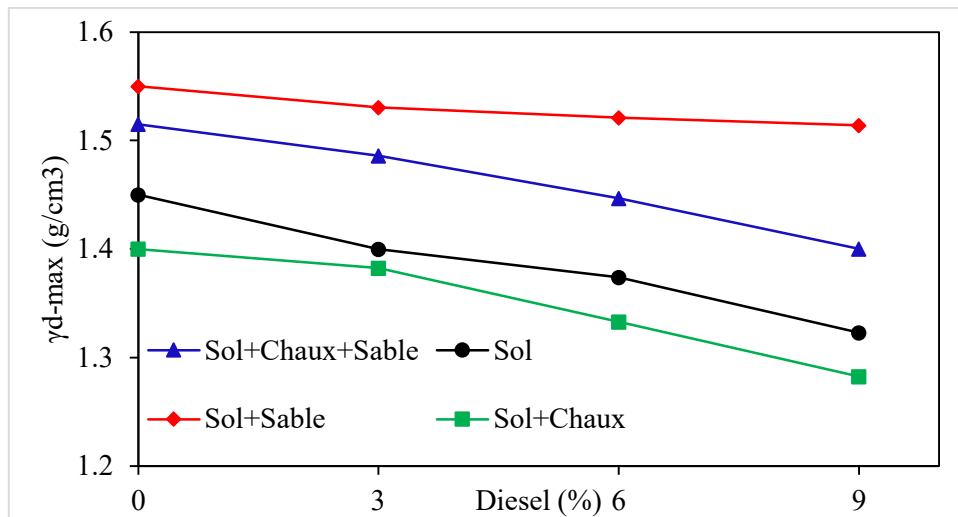


Figure 3.2 : Effet de la contamination sur γ_d -max sur le sol naturel et traité.

La figure 3.3 montre la relation entre la teneur en eau et le pourcentage de gasoil. Elle révèle une tendance à l'abaissement de la teneur en eau optimale avec l'augmentation de la teneur en gasoil. Cela implique que la d'eau nécessaire pour atteindre la densité maximale a diminué lorsque la teneur en gasoil a augmenté. Cela est probablement attribué à l'effet lubrifiant du gazole. Probablement attribué à l'effet lubrifiant du gasoil qui gasoil qui modifie les sols en un état de matériau plus lâche que les sols non contaminés (7). Il convient de noter que la teneur en eau optimale de non contaminer est relativement élevée, ce qui peut être causé par la présence de montmorillonite.

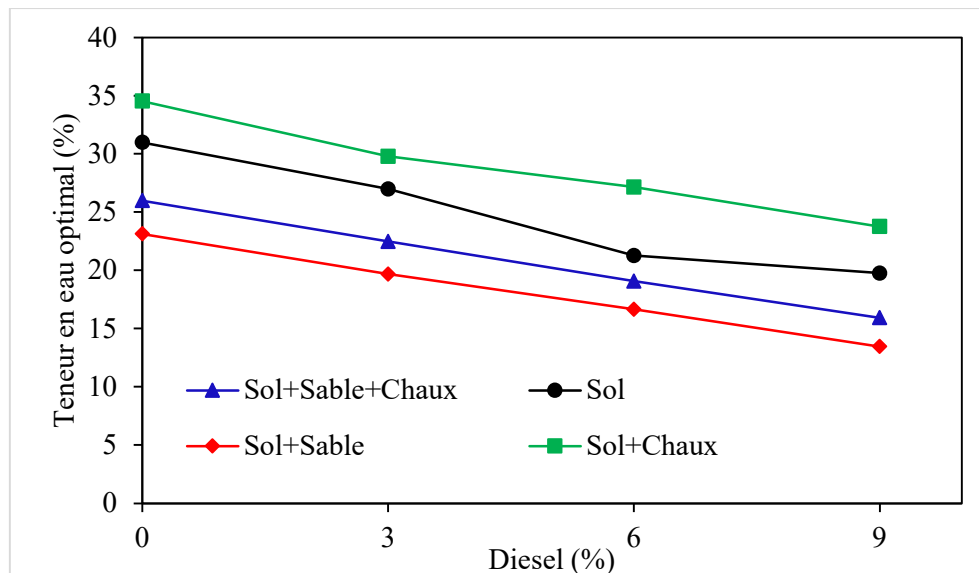


Figure 3.3 : Effet de la contamination sur ω_{opt} sur le sol naturel et traité.

3-2- Essai de compression uni axial et CBR

Les essais de compression uni axial est utilisé pour déterminer la résistance des échantillons de sol à résister aux contraintes appliquées. La résistance des échantillons de sol à résister aux contraintes appliquées. La figure 1 illustre la variation de la valeur Rc et CBR en fonction de la teneur en gasoil pour les échantillons étudiés. Pour les échantillons étudiés. La valeur de Rc et CBR augmente dans tous les échantillons étudiés en augmentant la teneur en gasoil de 6% jusqu'à et ensuite diminue ensuite avec toute augmentation de la teneur en gasoil. Le résultat mentionné est cohérent avec ceux rapportés par (4,7,13 4) dans des études similaires. Cela peut être attribué à la floculation qui peut être causée par une contamination par gasoil jusqu'à 6 %. Les échantillons de sol floculés ont généralement une résistance et une conductivité hydraulique plus élevées et une compression plus faible. La résistance et une conductivité hydraulique plus élevées et une compressibilité plus faible par rapport aux échantillons de sol dispersés ayant la même porosité (10). En outre, une très fine couche très fine gasoil peut servir d'interface visqueuse, préservant la matrice la matrice argileuse et augmenter. Pour les échantillons gasoil supérieure à 6%, l'épaisseur de la couche d'huile mentionnée dépasse une valeur critique, l'épaisseur de la couche susmentionnée dépasse une valeur les particules d'argile glissent, réduisant ainsi l'Rc et CBR

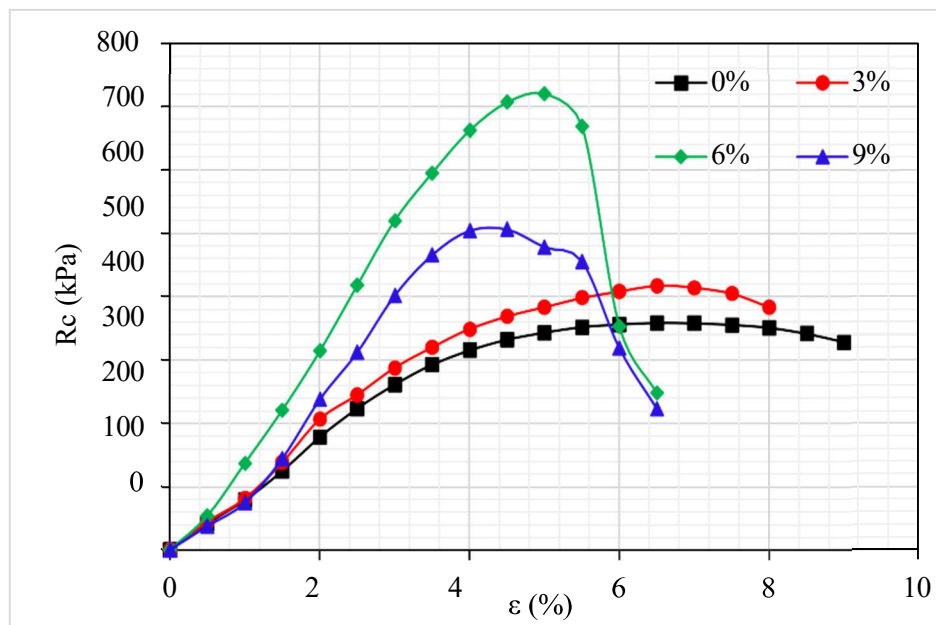


Figure 3.4: Effet de la contamination sur Rc.

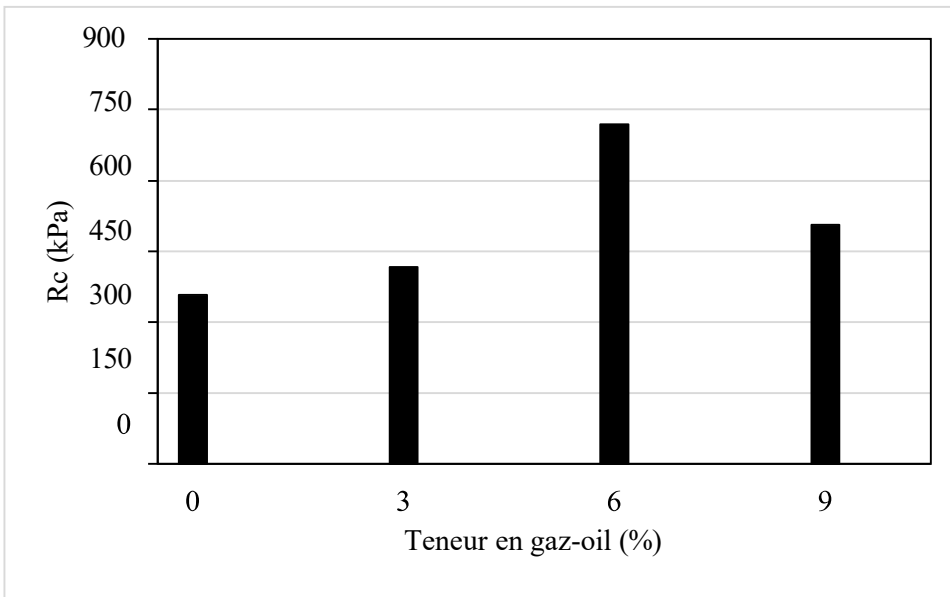


Figure 3.5: Effet de la contamination sur Rc.

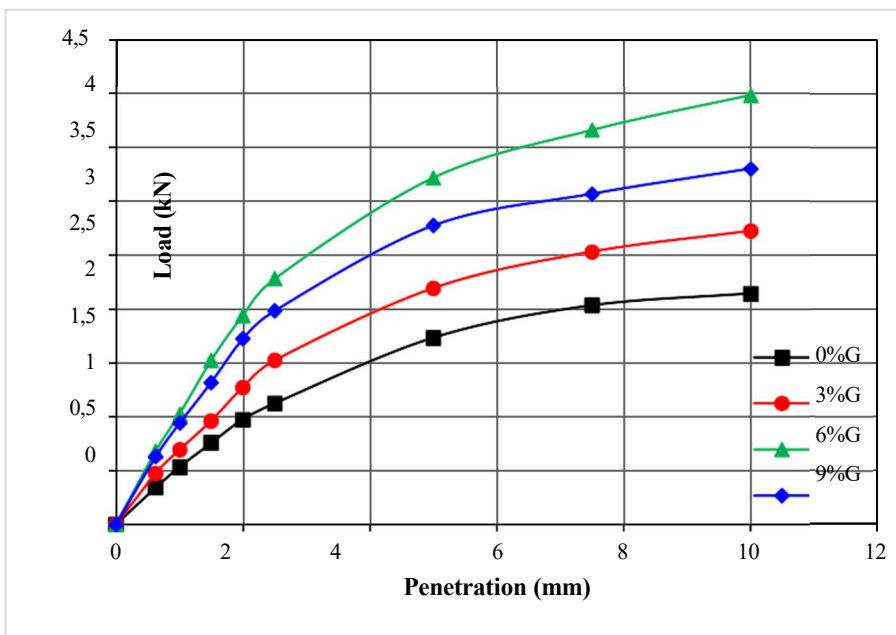


Figure 3.6: Effet de la contamination sur CBR.

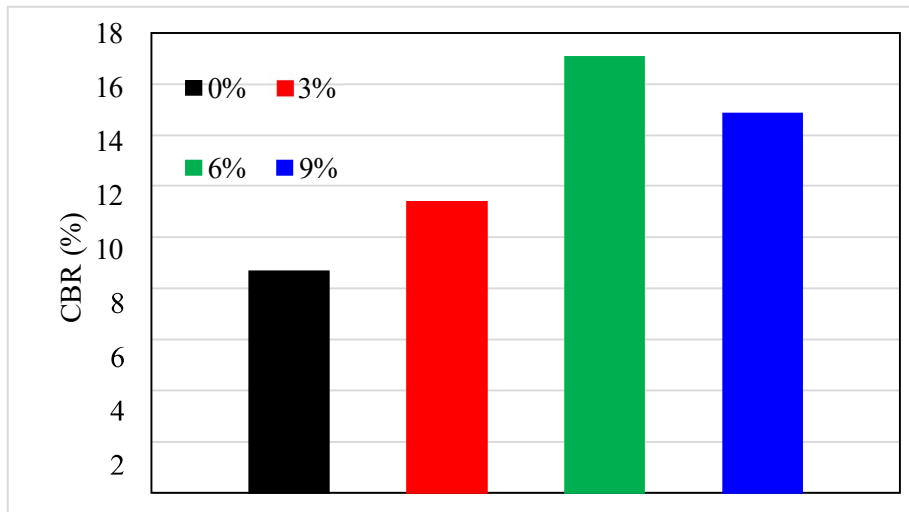


Figure 3.7: Effet de la contamination sur CBR.

L'ajout de chaux et le sable augmente la valeur du Rc des échantillons à toutes les teneurs en gasoil (Fig.1a), de sorte que l'ajout de point de fixation de la chaux (PFC) augmente la valeur maximale de Rc et CBR des échantillons. Augmente la valeur maximale de la Rc de l'échantillon contaminé (avec une teneur en huile de 6 %), (avec une teneur en huile de 6 %) de 27,7 %, 115,5 % et 162,2 %, respectivement, par rapport à l'échantillon contaminé. L'affinité du sol pour la chaux et sable doit être satisfaite tout d'abord lorsque la chaux et sable est ajoutée au grain fin. Chaux est ajoutée à un sol à grain fin (en particulier un sol à teneur en d'argile) (3). Avant de satisfaire l'affinité mentionnée l'affinité mentionnée, les ions sont principalement absorbés par les minéraux argileux, et, par conséquent, il n'y a pas d'ions disponibles pour d'éventuelles réactions pouzzolaniques. Les réactions pouzzolaniques et ce processus est connu sous le point de fixation de la chaux (16). En d'autres termes, le point de fixation de la chaux est de chaux est atteint lorsque l'ajout de chaux ne peut plus provoquer de changements dans le sol, tandis qu'au-delà de ce point, la chaux est encore est encore disponible pour améliorer la résistance du sol. La réaction entre l'alumine et la silice se produit dans les minéraux argileux (principalement sur les bords des particules d'argile). L'ajout de chaux peut créer un environnement alcalin qui participe à la production d'une solution silico-alumineuse. À la production d'une solution silico-alumineuse, qui précipite ensuite précipite ensuite sous forme de produits de réaction cimentaire hydratés (16). Les produits de cette réaction provoquent floculation en liant les particules les unes aux autres et finalement renforcent le sol (3).

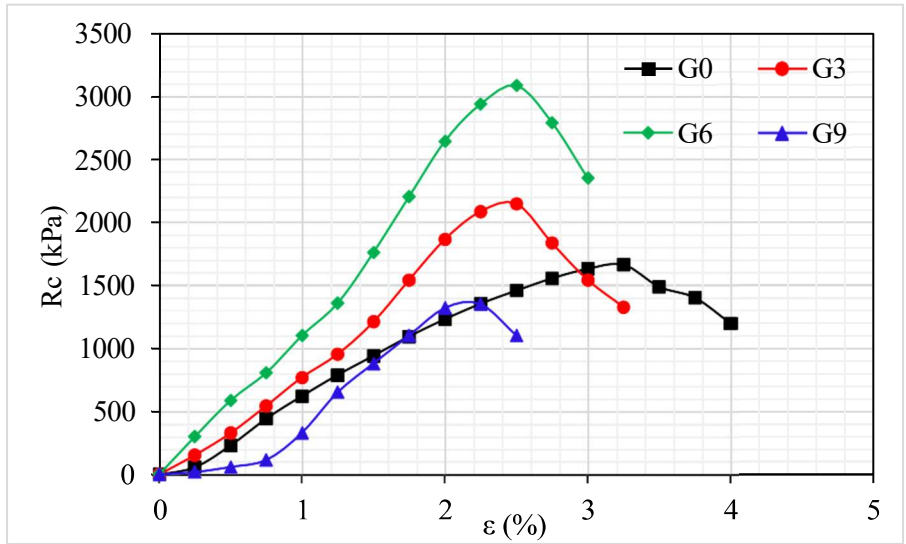


Figure 3.8: Effet de la contamination sur R_c .

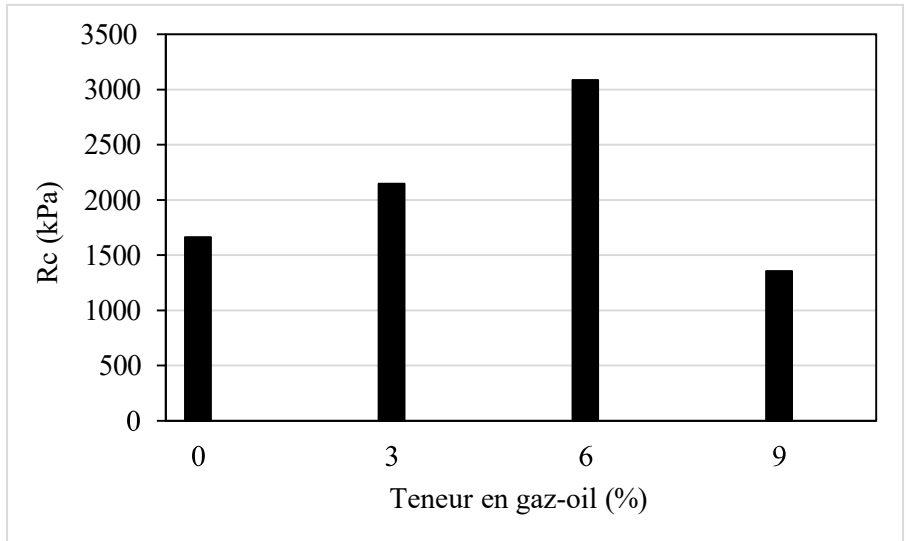


Figure 3.9: Effet de la contamination sur R_c .

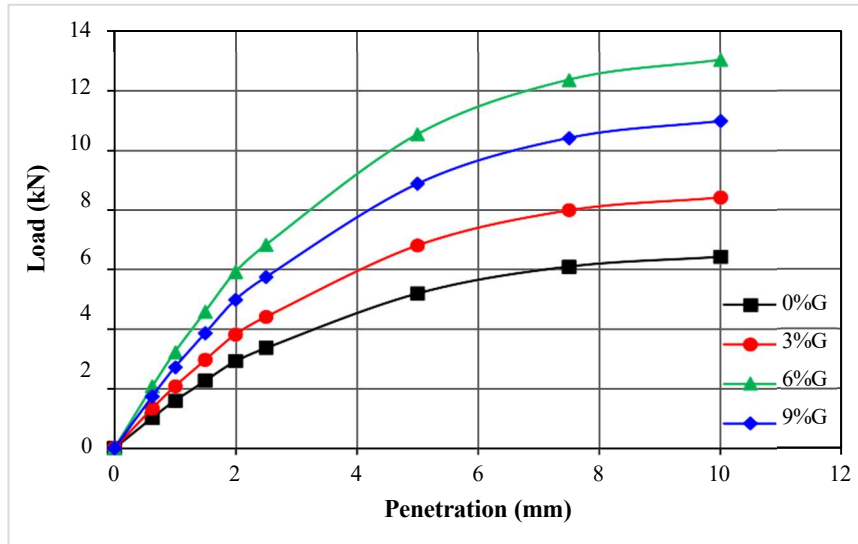


Figure 3.10: Effet de la contamination sur CBR

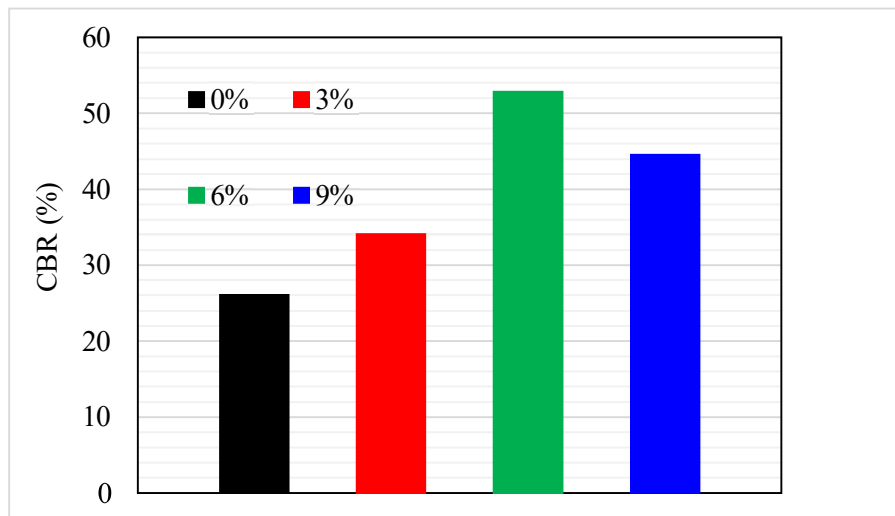


Figure 3.11: Effect de la contamination sur CBR.

Comme illustré dans les [figures 3.9 et 3.11](#) tous les échantillons étudiés s'améliorent avec l'augmentation du sable et/ou la chaux. L'Rc et CBR de l'échantillon de sol contaminé (avec une teneur en gas-oil de 6 %). Ce processus modifie la densité de charge électrique des particules du sol, ce qui contribue finalement à affecter les caractéristiques du sol. Contribue finalement à affecter les caractéristiques du sol. Les unités d'alumine et de silice réagissent complètement avec les ions calcium libérés, connue sous le nom de réaction pouzzolaniques (15). Dans cette réaction, des liaisons chimiques se développent entre les interfaces entre les particules de sol et les grains de ciment ainsi que les surfaces adjacentes des grains de ciment. L'hydratation du ciment l'hydratation du ciment développe une structure en nid d'abeille en créant des liens solides entre les agrégats et les minéraux, ce qui empêche

particules de sol ne peuvent pas glisser. Ainsi, le ciment renforce la résistance des échantillons de sol (15).

Ainsi, le sable et/ou chaux renforce la résistance des échantillons de sol (15). D'être en contact avec un plus grand nombre (1). Au fur et à mesure que la teneur en nano-silice augmente, le contact entre les particules du sol augmente, ce qui entraîne une amélioration de la qualité de l'eau. Contact des particules de sol augmente, ce qui entraîne une amélioration de la force d'adhérence (1). Il convient de mentionner que l'effet de la nano-silice sur la Rc d'un sol contaminé est inférieur à celui des autres matériaux étudiés. Cela peut être lié au fait que le dioxyde de silicium est le composant clé de la nano-silice. Composant clé de la nano-silice (avec une composition de plus de (avec une composition de plus de 99%), qui a besoin d'ions calcium libres pour initier des réactions pouzzolaniques et lier les particules entre elles (12).

4 CONCLUSION GENERALE

Un vaste programme expérimental a été mené afin d'évaluer l'effet du traitement à la chaux et/ou sable d'un sol pollué par le gasoil sur les propriétés géotechniques d'un sol fin. Le programme expérimental impliquait l'évaluation des propriétés géotechniques du sol telles que les paramètres de compactage et la résistance en compression. Sur la base des résultats obtenus, les conclusions suivantes peuvent être tirées :

- La présence de gasoil affecte les courbes de compactage de l'argile de Sidi Hadjres en diminuant la densité sèche maximale et la teneur en eau optimale.
- La résistance en compression augmente significativement (102%) en raison de l'effet de la liaison qui se produit entre les particules.
- Les paramètres de compactage des sols contaminés par le gasoil ont été moins sensibles au gasoil en ajoutant la chaux. La chaux a permis, à 8.67 % de contamination par le gasoil, d'augmenter du Rc et de récupérer certaines propriétés mécaniques du sol naturel, mettant en évidence des réactions de carbonatation possibles dans le mélange. La période de cure à la chaux a été importante pour renforcer les propriétés mécaniques des sols contaminés par le gasoil, telles que la résistance et le CBR, principalement en raison des réactions de carbonatation qui se sont produites au cours du temps.
- La cristallisation de la calcite était présente dans les sols naturels et contaminés par le gasoil traités avec de la chaux affectant la minéralogie du sol. La dolomite n'a pas été trouvée dans les échantillons naturels traités, ce qui indique que la présence de carburant gasoil a favorisé la formation de dolomite. Ces résultats corroborent l'amélioration des propriétés mécaniques des sols contaminés par les hydrocarbures traités.

Les propriétés géotechniques évaluées dans cette recherche indiquent une réutilisation potentielle des sols contaminés par le gasoil dans des applications géotechniques après traitement à la chaux. Certaines préoccupations concernant le lixiviat d'huile et la compatibilité chimique doivent également être évaluées. Les résultats obtenus dans cette étude ne peuvent pas être directement extrapolés à d'autres types de sols et d'huiles et à leur teneur en contamination.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Eissa A, El-Sawwaf M, Shahin M, Nasr A. Effect of kerosine of contamination on geotechnical properties of clayey soils. *Int Conf Adv Struct Geotech Eng*. 2017, pp 44–50

1. Ocheho J, Joseph V (2014) Effect of oil contamination on lime stabilized soil, Jordan. *J Civ Eng*. <https://doi.org/10.14525/jjce.8.1.2632>
2. Nasr AMA (2014) Utilisation of oil-contaminated sand stabilised with cement kiln dust in the construction of rural roads. *Int J Pavement Eng*. <https://doi.org/10.1080/10298436.2014.893321>
3. Chen H, Jiang Y, Zhang W, He X (2017) Experimental study of the stabilization effect of cement on gasoilcontaminated soil. *Q J Eng Geol Hydrogeol*. 50:199–205. <https://doi.org/10.1144/qjegh2016-115>
4. Pandey A, Bind YK (2014) Effects of oil contamination on geotechnical properties of alluvial soil Naini. *Int J Innov Technol, Explor*
5. Karkush MO, Al-Taher TAA (2017) Geotechnical evaluation of clayey soil contaminated with industrial wastewater. *Arch Civ Eng*. 63 :47–62. <https://doi.org/10.1515/ace-2017-0004>
6. Nasehi SA, Uromeihy A, Nikudel MR, Morsali A (2016) Influence of gas oil contamination on geotechnical properties of fine and coarse-grained soils. *Geotech Geol Eng* 34 :333–345. <https://doi.org/10.1007/s10706-015-9948-7>
7. IDEM, Use of Alternative Daily Cover at Landfills, Indianapolis, 2013
8. Department of Environmental Conservation—New York State, Petroleum-Contaminated Soil Guidance Policy, New York, 2015. <http://www.dec.ny.gov/regulations/30902.html>
9. Ijimdiya TS (2013) The effects of oil contamination on the consolidation properties of lateritic soil. *Dev Appl Ocean Eng*. 2 :53–59. www.daoe-journal.org
10. Estabragh AR, Beytolahpour I, Moradi M, Javadi AA (2016) Mechanical behavior of a clay soil contaminated with glycerol and ethanol. *Eur J Environ Civ Eng*. 20 :503–519. <https://doi.org/10.1080/19648189.2015.1047900>
11. Ghaffoori F, Kkarpuzcu M (2018) Influence of oil contamination on geotechnical properties of sandy soil. *Polytech J* 8 :129–141
12. Kermani M, Ebadi T (2012) The effect of oil contamination on the geotechnical properties of fine-grained soils. *Soil Sediment Contam*. 21:655–671. <https://doi.org/10.1080/15320383.2012.672486>
13. Tuncan A, Tuncan M, Koyuncu H (2000) Use of petroleum-contaminated drilling wastes as sub-base material for road construction. *Waste Manage Res* 18(5):489–505
14. Shah SJ, Shroff AV, Patel JV, Tiwari KC, Ramakrishnan D (2003) Stabilization of fuel oil contaminated soil—a case study. *Geotech Geol Eng*.

15. George S, Aswathy E, Berlin S, Krishnaprabha N, Maria G (2015) Study on geotechnical properties of gasoil oil contaminated soil. *Int J Civ Struct Eng Res.* 2:113–117.
www.researchpublish.com
16. Yu C, Liao R, Zhu C, Cai X, Ma J (2018) Test on the stabilization of oil-contaminated Wenzhou clay by cement. *Adv Civ, Eng*
17. Nasehi SA, Uromeihy A, Nikudel MR, Morsali A (2016) Use of nanoscale zero-valent iron and nanoscale hydrated lime to improve geotechnical properties of gas oil contaminated clay: a comparative study. *Environ Earth Sci.* 75:1–20. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5443-6>