

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة عمار تليجي بالاغواط
UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUAT
كلية الهندسة المدنية والهندسة المعمارية
Faculté de Génie Civil et d'Architecture



Département de Génie Civil

Domaine : Sciences et techniques
Filière : Génie civil
Option : Matériaux en Génie Civil

MEMOIRE DE MASTER

Réaliser par

SERAIH Fatima Zohra

Thème

Propriétés de béton à base de sable contaminé par de l'huile brûlé

Soutenu devant le jury composé de

M. GUEDDOUDA Mohamed Kamel	Pr	Président
M. NOUIOUA Tahar	M.A.A.	Examineur
M. GOUALI driss	Pr	Encadreur
M. BENABED Benchaa	Pr	Co-encadreur

2019-2020

Remerciement

En tout premier lieu, je remercie le bon Dieu, tout puissant, de m'avoir donné la force pour survivre, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés.

J'adresse mes infinis et sincères remerciements est notre encadreur monsieur *.Goual Idriss*, professeur dans a université Ammar Telidji de Laghouat pour l'orientation, la confiance, la patience qui ont constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port. Qu'il trouve dans ce travail un hommage vivant à sa haute personnalité et le monsieur *Benabed Benchaa*, professeur à université Ammar Telidji de Laghouat Sur son soutien.

Nous voudrions remerciée Monsieur le professeur *Gueddouda Mohamed Kamel* d'avoir accepté de présider ce mémoire, et Monsieur *Nouioua Taher* qui a eu le temps d'examiner notre travail, et qui ont honorés ce mémoire. Trouvent ici l'expression de nos profonds respects

Nous remercions également tous nos enseignants pendant les années d'étude et tout le personnel dans laboratoire de génie civil A. ainsi que les doctorantes *DADA H.*

Enfin Je remercie profondément,

Mon parent je voudrais tout particulièrement remercier mes chers collègues et amis Et en particulier Merdjani F. Z et Loubaki F.Z et Djamed A et Meggousi M et tout l'autre, qui ont rendu cette formation si agréable

اهداء

الى الينبوع الذي لا يمل العطاء الى من حاكت سعادتي بخيوط منسوجة من قلبها
الى

والدتي العزيزة

الى من سعى و شقي لأنعم بالراحة والهناء الذي لم يبخل بشيء من اجل دفعي في
طريق النجاح الذي علمني ان ارتقي سلم الحياة بحكمة وصبر الى

والدي العزيز

الى من حبهم يجري في عروقي ويلهج بذكراهم فؤادي الى

اخواتي الغاليات

الى من علموني حروفا من ذهب وكلمات من دور و عبارات من اسمى واجلي
عبارات في العلم الى من صاغوا لي من علمهم حروفا ومن فكرهم منارة تغير لنا
مسيرة العلم والنجاح الى

اساتذتي الكرام

والى من سرنا سويا ونحن نشق الطريق معا نحو النجاح والابداع الى من تكاتفنا
يدا بيد ونحن نقطف زهرة تعلمنا الى

صديقاتي و زميلاتي

فإنني اتوجه الى استاذي الفاضل "قوال ادريس" بالشكر والتقدير الذي لن تفيه اي
كلمات حقه, فلولا مثابرته ودعمه المستمر ما تم هذا العمل.

ملخص

تتسرب كمية كبيرة من النفط الخام كل عام بسبب تقادم المرافق ونقص الصيانة والأخطاء البشرية في إنتاج النفط. تؤثر مشكلة التلوث البترولي بشكل كبير على النظم البيئية ، وتشكل مخاطر على صحة الإنسان وتغير الخصائص الميكانيكية للرمال المحيطة. نتيجة لذلك ، تم اختبار وتنفيذ العديد من طرق العلاج لتقليل الآثار الضارة للرمال الملوثة بالنفط. ومع ذلك، فإن تكلفة طرق الصرف الصحي الحالية باهظة في معظم البلدان النامية ولكن المنتجة للنفط. بديل محتمل وغير مكلف هو خلط الرمل الملوث بالبترول مع الإسمنت واستخدامه في البناء. ركزنا في هذه الدراسة على تلوث الكثبان الرملية بالزيت الخام الخفيف وزيت المحركات المستخدم، وهو ما حدث في الجزائر. فهم الخصائص الميكانيكية لهذا النوع من الرمال الملوثة وسلوك الملاط احتواء هذه النفايات كانت الدوافع الرئيسية لهذا البحث

الكلمات الرئيسية: الكثبان الرملية ، الرمال الملوثة ، الهيدروكربونات ، المواد المحلية

Abstracts

A high volume of crude oil is spilled each year due to aging facilities, lack of maintenance and human errors in oil production. This problem of petroleum contamination significantly affects ecosystems, poses risks to humane Heath and alters the mechanical properties of the surrounding Sand. As a result, several remediation methods have been tested and implemented to minimize the adverse effects of oil contaminated sand. However, the cost of existing sanitation methods is prohibitive in most developing, but oil-producing countries. A potential and inexpensive alternative is to mix petroleum contaminated sand with cement and use it in construction. In this study we focused on the contamination of dune sand by light crude oil and use motors oil, which is the case encounter in Algeria. Understanding the mechanical properties of this type of contaminated Sand and the behavior of the mortar containing this waste were the main motivations for this research

KEYWORDS: Dune Sand, contaminated sand, hydrocarbones, local materiels

Résumé

Un volume élevé de pétrole brut est déversé chaque année en raison du vieillissement des installations, du manque d'entretien et des erreurs humaines dans la production de pétrole. Ce problème de contamination par le pétrole affecte de manière significative les écosystèmes, pose des risques pour la santé humaine et modifie les propriétés mécaniques du sable environnant. En conséquence, plusieurs méthodes d'assainissement ont été testées et mises en œuvre pour minimiser les effets néfastes du sable contaminé par le pétrole. Cependant, le coût des méthodes d'assainissement existantes est prohibitif dans la plupart des pays en développement, mais producteurs de pétrole. Une alternative potentielle et peu coûteuse est de mélanger du sable contaminé par du pétrole avec du ciment et de l'utiliser dans la construction. Dans cette étude nous avons concentré sur la contamination de sable de dune par le pétrole brut léger et l'huile de moteur usée, qui est le cas rencontrés en Algérie .La compréhension des propriétés mécaniques de ce type de sable contaminé et le comportement du mortier contenant ces déchets ont été les principales motivations de cette recherche

MOTS CLES : sable de dune, sable contaminé, les hydrocarbures, matériaux locaux.

Remerciement

Dédicace

Résumé

Liste des tableaux.

Listes des figures.

Chapitre 1 Introduction9

1. Contexte	10
2. Objective de recherche	15
3. Structure de la mémoire	16

Chapitre 2 Aperçu général générale sur les sables contaminés

1. Aperçu général	18
2. Hydrocarbures légers.....	19
3. sources de contamination par les hydrocarbures	20
3.1.Déversement du pétrole	20
3.2 .Eaux usées pétrolier(eau de production)	20
4. contaminants pétroliers	21
4.1. Sable contaminé par le pétrole	21
4-2 Propriétés mécaniques du sable contaminé par le pétrole	24
4.2.1.Teneur en eau	24
4.2.2.Absorption d'eau	25
4.2.3 Perméabilité	26
4.3 Effet de la contamination par l'huile sur les propriétés du sable	26
5. Méthodes d'assainissement actuelles pour le sable contaminé par l'huile.....	27
5.1 Stabilisation du sable contaminé par l'huile par mélange avec ciment.....	28

5.2 Effets de la contamination par l'huile sur les propriétés du mortier et du béton.....28

Chapitre 3 Caractérisation du sable contaminé

1.Introduction.....	32
2.Matériaux de base	32
2.1. Localisation des matériaux	32
3. Préparation des échantillons contaminés	32
4 Caractérisation du sable contaminé	33
4.1 Caractéristique physique	33
4.1.1 Analyse granulométrique	33
4.1.2 Masse volumique	34
4.1.3 Teneur en eau	37
4.1.4 Absorption d'eau.....	38
4.1.5 Equivalent de sable	41
4.1.6 Indice de densité	43
4.1.7 Perméabilité à charge constante	44
4.1.8 Essai de cisaillement direct	45
5. Conclusion.....	46
Conclusions générale	47

Référence Bibliographique

Listes des figures

Chapitre 1 : introduction 9

Figure 1.1: montre un exemple de fuite de pétrole dans le champ d'Amal, Libye en 2014. 11

Figure 1.2: Site touché par le pétrole en Ogoni land au Nigeria, montrant une rivière contaminée et une perte de couverture végétale (Kadafa, 2012). 12

Figure 1.3: montre un exemple de fuite de pétrole dans le champ d'Amal, Libye en 2014. 12

Chapitre 2 : Aperçu général générale sur les sables contaminés

Figure 2.1 Détenteurs de réserves pétrolières éprouvées en Afrique, 2011 (Administration américaine de l'information sur l'énergie, 2011) 18

Figure 2.2 Localisation des principaux bassins sédimentaires algériens Administration américaine de l'information sur l'énergie, septembre 2015..... 19

Figure 2.3 Infiltration et migration des hydrocarbures pétroliers 20

Figure 2- 4. Déversement de pétrole brut et lixiviation d'hydrocarbures légers vers l'aquifère (NTSB, 2010) 23

Figure 2.5 Coût des méthodes d'assainissement des hydrocarbures (Adapté de USEPA (1997) 28

Chapitre 3 : caractésation de sable contaminé

Figure 3.1 Sable contaminé avec différents pourcentages d'hydrocarbure (0%-20%) 33

Figure 3. 2 Courbe granulométrique de sable brut..... 34

Figure 3-3-Present la masse absolue pour les deux états 35

Figure 3-4-Persenté la masse apparente pour les deux états..... 35

Figure 3-5 Courbes la compacité avec des différente etet et pourcentage d'hydrocarbures 36

Figure 3-6 Courbes la porosité avec des différente etet et pourcentage d'hydrocarbures 36

Figure 3-7 Courbes la densité apparente avec des différente etet et pourcentage d'hydrocarbures 37

Figure 3-8: Moule et dame pour coefficient d'absorption des graviers 38

Figure 3-9 Variations de l'absorption avec le degré de contaminant 39

Figure 3-10-Test d'absorption d'eau pour 0°/°à 20% de sable contaminé 40

Figure 3-11: Définition de l'équivalent de sable	41
Figure 3-12-Essai d'équivalent de sable pour l'huile	42
Figure 3-14 La densité relative en fonction du degré et de type de contaminant,	44
Figure 3-18 Perméamétrie à charge constante	45
Figure 3-19 Machines de cisaillement direct	46

Liste des tableaux

Chapitre 2 : Aperçu générale du sable contaminé

Tableau 2.1 Effet de la contamination par l'huile sur les propriétés des propriétés du béton.....	29
---	----

Chapitre 3 : Caractésation du sable contaminé

Tableau 3-1 Résultats des essais de l'équivalent de sable	42
Tableau 3-2 les ordres de grandeur et la dénomination de l'état de compacité d'un sol sableux	43

Chapitre 1

Introduction

1-Contexte

Le pétrole et le gaz sont considérés comme les sources d'énergie les plus importantes dans le monde et, en tant que tels, leur importance ne cesse d'augmenter en raison de la demande mondiale croissante en énergie (Hubbert, 1975). L'un des principaux inconvénients de ces sources d'énergie est les dommages causés à l'environnement par les fuites de pétrole (Rahman et al., 2010a). Par exemple, dans le Golfe en 1991, il a été signalé qu'environ 1,1 milliard de litres de pétrole brut ont été déversés dans le golfe Persique, le golfe Persique et le désert du Koweït. Ces derniers sont considérés comme les plus grands déversements d'hydrocarbures de l'histoire (Al-Sanad et al. 1995, Mashalah et al., 2006). À la suite de cette fuite intentionnelle, 700 kilomètres de côtes entre le Koweït et l'Arabie saoudite ont été pollués et environ 49 kilomètres carrés du désert du Koweït ont été touchés. De plus, la plateforme de forage en eau profonde de BP britannique, qui a explosé dans le golfe du Mexique en 2010, a provoqué un déversement d'environ 91 millions de litres de pétrole qui a affecté environ 110 km du littoral de la Louisiane (Aryee, 2013). De plus, environ 71 millions de litres de pétrole brut ont été intentionnellement déchargés des réservoirs de stockage de pétrole du complexe pétrochimique et de raffinage de Harouge huile Opération au terminal de Ras Lanuf en Libye en août 2008 (Mees, 2008) pour éviter une explosion dans le réservoir d'un incendie. Causée par une erreur humaine lors de l'entretien annuel. De plus, environ 60 kilomètres de plages ont été polluées par le pétrole en 2009 à Spitfire Creek et Eagers Creek sur l'île de Moreton en Australie et il est considéré comme la plus grande partie des zones humides touchées par le déversement de pétrole brut (Division des politiques des ressources naturelles et de l'environnement, 2009) La plupart de ces déversements de pétrole brut ont été causés involontairement en raison du vieillissement des installations, du manque d'entretien et d'erreurs humaines. La figure 1.1 montre un exemple de fuite de pétrole dans le champ d'Amal, Libye en 2014.



Figure 1.1 Exemple de fuite de pétrole dans le champ d'Amal, Libye en 2014.

La contamination par le pétrole brut a un effet direct sur l'érosion du sable et de l'infiltration d'eau, et peut également provoquer un incendie au sol (Shakesby et al., 2007). La contamination par le pétrole brut peut également affecter les caractéristiques physico-chimiques du sable environnant (Osuji et Ezebuio, 2006). Sharma et Reddy (2004) ont conclu que la perméabilité intrinsèque (k) du sable contaminé augmente lorsqu'il y a une augmentation de la densité et une diminution de la viscosité du fluide remplissant les vides. Lorsque la perméabilité du sable a augmenté en raison de la diminution de la viscosité du pétrole brut, le pétrole brut s'est propagé plus rapidement et, par conséquent, une zone plus grande a été affectée. De plus, la possibilité que la contamination par le pétrole brut atteigne les eaux souterraines était plus élevée. Plusieurs études (Delin et al. 2012, Delin et al., 1998) ont indiqué que les eaux souterraines contaminées par le pétrole brut et d'autres liquides à base de pétrole sont un problème répandu. De plus, l'agrégation de particules fines et la fusion de minéraux due à la contamination par le pétrole peuvent réduire la stabilité de l'agrégat sable-matière organique. Rahman et al. (2010b) ont montré que non seulement l'écosystème est affecté par le déversement de pétrole brut, mais aussi la sécurité des ouvrages de génie civil. La contamination par l'huile dans le sable entraîne des changements importants dans la plasticité du sable, entraînant une perte de sa capacité portante et un tassement différentiel des fondations (Rehman et al, 2007, Ukpong et Umoh, 2015). De plus, la contamination par le pétrole peut nuire aux ressources en eau végétale et souterraine utilisées à des fins potables ou agricoles, comme le montre la figure 1.1, et par conséquent, la contamination par le pétrole est considérée comme une préoccupation mondiale importante



Figure 1.2 Site touché par le pétrole en Ogoni land au Nigeria, montrant une rivière contaminée et une perte de couverture végétale (Kadafa, 2012).

En Algérie, la Société nationale des hydrocarbures (Sonatrach) qui gère un réseau de transport des hydrocarbures de plus de 22 000 km de canalisations sur le territoire national, a

signalée le 3 septembre 2020 deux fuites de pétrole survenues, au niveau du pipeline OK1 dans la région d'El Baaj (El Oued), reliant le bassin rouge (Hassi Messaoud) et Skikda. La société a mobilisé tous les moyens requis à cette opération et les travaux de récupération de brut et de remise en état des lieux sont achevés. Il a été décidé ainsi de mobiliser, dans l'immédiat, l'ensemble des moyens et filiales du Groupe pour l'absorption des eaux polluées le long de l'oued, le traitement de toutes les flaques d'eau contaminées et le terrassement de certains tronçons qui feront l'objet de traitement par des unités spécialisées de l'entreprise. La figure 1.2 présente les fuites en Algérie qui ont eu lieu le 3 septembre 2020



Figure 1.3 Exemple les fuites en Algérie qui ont eu lieu le 3 septembre 2020.

Les déversements majeurs et la pollution causée par les déversements de pétrole brut nécessitent une restauration approfondie et / ou une remise en état du sable pour les rendre aptes à une utilisation future. Les études de recherche ont abouti à de nombreuses méthodes techniques qui peuvent résoudre ces problèmes. Cependant, le coût élevé des méthodes d'assainissement existantes est une préoccupation majeure. Par exemple, le coût des méthodes de remédiation alternatives suggérées par l'USEPA (1997) varie de 50 à 1 000 \$ US la tonne. Les méthodes les plus coûteuses sont l'incinération et la vitrification, qui coûtent entre 280 \$ et 1 000 \$ et entre 100 \$ et 1 000 \$ la tonne respectivement, tandis que les méthodes les moins chères sont le lavage des sols et l'extraction par solvant entre 60 \$ et 230 \$ la tonne USEPA (1997).

Dans tous les cas, un nettoyage nécessite une connaissance des propriétés mécaniques du sable contaminé et du niveau de contamination par le pétrole brut afin de sélectionner la meilleure méthode d'assainissement en termes de coût et d'efficacité. Plusieurs méthodes ont été discutées, comme mentionné ci-dessus, mais elles ne se sont pas avérées rentables Eagle et al. (1993) ont présenté le coût en capital de la méthode d'assainissement la moins chère, c'est-à-dire le lavage des sols, où la station de lavage des sols utilisait le drainage, le tamisage

humide et la classification et où le traitement a duré 23 mois. Ce coût sera gonflé dans les pays en développement où aucune des méthodes d'égout ci-dessus n'est disponible. Sur cette base, il est absolument nécessaire de trouver un moyen meilleur et plus rentable d'utiliser du sable contaminé par le pétrole. Une alternative possible consiste à utiliser du sol huilé dans la construction et du ciment pour se solidifier et se stabiliser. Le produit final peut ensuite être utilisé dans diverses applications d'ingénierie.

Certaines études ont été menées pour déterminer l'utilisation bénéfique du sable contaminé dans la construction. Mirza (1996) a étudié l'impact du pétrole brut lourd sur les propriétés géotechniques du sol et a indiqué que les essais de cisaillement direct montrent une relation linéaire entre la densité relative et l'angle de frottement du sable non contaminé à l'aide de 6% de pétrole brut lourd. Les essais de cisaillement direct donnent des angles de frottement supérieurs à ceux obtenus dans un essai à trois axes de même densité relative. Cependant, aucune information n'est fournie sur le stress de confinement vertical (grossesse normale) utilisé dans les essais de cisaillement, La faisabilité d'éliminer le mazout du sable pollué industriellement en frittant le charbon en utilisant le broyage à boulets comme mélangeur à cisaillement élevé par Shin & Shen, (2011). Ils ont conclu que 96%, 95% et 90% des cultures de nettoyage du sable peuvent être obtenues pour le sable contaminé par des huiles de 500, 160 et 90 μm , respectivement, grâce à ce processus simple en une étape, mais c'est une option de traitement coûteuse.

Ajagbe et al. (2012) ont mené une étude sur l'effet du pétrole brut sur la résistance à la pression du béton. Ils ont conclu que 18 à 90% de la résistance perte de charge due à 2,5 à 25% de la pollution par le pétrole brut. De plus, (Al-Mabruk et al, 2011) ont étudié la congélation d'huile en utilisant la méthode de la paralysie directe. Ils ont conclu que, bien que la résistance à la compression de la suspension de ciment ait diminué avec l'augmentation de la teneur en huile après 28 jours, les résultats ont montré que la technique de fixation / durcissement à base de ciment pouvait être une technique efficace. De plus, l'effet de l'huile brûlée usée sur le comportement structurel du béton armé (Hamad et Wertel, 2003) et l'effet de l'huile moteur usée sur les propriétés du béton frais et durci ont été étudiés. Il a été conclu que l'huile était un plastifiant chimique qui améliorait la liquidité et doublait la pente du mélange de béton tout en maintenant sa résistance à la pression (Hamad et al, 2003). En outre, Hamad et autres (2003) ont conclu que l'ajout d'huile moteur usée au mélange de béton frais pourrait être similaire à l'ajout d'un mélange d'air granulé chimiquement, ce qui améliore certaines des propriétés de durabilité du béton. De plus, lorsque des sables bitumineux sont utilisés dans la

construction de routes, la possibilité de les utiliser dans la construction de routes est appropriée (Hassan et al, 2005). Comme on peut le déduire des résultats des précédents chercheurs, ils ne peuvent s'entendre sur les effets du pétrole brut et de ses polluants sur les propriétés mécaniques du béton. Certains ont suggéré que la contamination par l'huile a des effets négatifs sur les propriétés mécaniques du béton produit, mais certaines études ont attiré l'attention sur certains effets positifs. Le désaccord est dû à plusieurs facteurs tels que le type de pétrole brut, la perméabilité du sable, les propriétés du sable, l'absorption, la composition chimique, la quantité de déversement et les sources de pollution par le pétrole (Nudelman et al., 2002, Vine et al., 1997, Tonkan et Pamuko, 1992). De plus, de nombreuses études se sont concentrées sur l'impact de la pollution par le pétrole brut sur l'environnement en termes de pollution de surface, comme les eaux souterraines, les plantes, les animaux, la pollution de l'air et les risques d'incendie (Manoli et Samara, 1999, Onwurah et al., 2007, Bustamante et al., 1991, Foster, 1998, Aghalino et Eyinla, 2009, Collins, 1971), mais peu de recherches ont été menées sur la réaction du sable-pétrole brut de sable et les effets du pétrole brut sur les propriétés géotechniques du sable, du mortier et du béton qu'il produit, afin de mieux comprendre les avantages potentiels. Pour une utilisation dans le bâtiment et la construction.

A titre d'exemple, Rajab Mohamed B. Abousnina (2016), à étudier les propriétés du mortier et du béton contenant du sable fin contaminé par de l'huile brute légère. En premier lieu à étudier l'effet de la contamination du sable fin par du pétrole brute sur les propriétés géotechniques à savoir les caractéristique physiques, la résistance au cisaillement et la perméabilité. Par la suite il a évalué les propriétés physiques et mécaniques du mortier et du béton contenant du sable fin contaminé par du pétrole brut léger. Il se concentre sur la compréhension des effets de paramètres critiques tels que les méthodes de mélange et de traitement, le rapport eau / ciment, le temps de traitement et les types de liaisons de ciment sur la résistance et la structure fine du mortier et du béton.

2-Objectifs de recherche

L'objectif global de cette recherche est d'étudier l'influence de la contamination par du pétrole brut léger et de huile de moteur usée sur les propriétés physiques, mécanique et hydrique du sable de dune, dont le but d'exploité ce sable contaminé dans la fabrication des bétons. Les objectifs spécifiques sont les suivants:

- 1) Évaluer les effets de différents niveaux de contamination par du pétrole brut léger et de huile de moteur usée sur les caractéristiques physiques du sable de dune à savoir: masse volumique apparente et absolue, la teneur en eau, équivalent de sable, absorption, analyses granulométrique, la densité relative
- 2) Etude du comportement mécanique à l'appareil du cisaillement directe, dont l'objectif d'évaluer l'effet du niveau de contamination sur les propriétés mécanique (cohésion et angle de frottement) de sable de dune contaminé.
- 3) Estimation du coefficient de perméabilité de sable de dune après contamination à différents niveaux par le pétrole brute et l'huile de mateur usée.
- 4) Etudier l'effet du rapport eau-ciment ($E/C = 0,4 - 0,6$) et du temps de durcissement sur les propriétés physiques, mécaniques du mortier de ciment contenant du sable contaminé par le pétrole brute et l'huile de mateur usée.

3-Structure de la mémoire

La structure de cette thèse Il se compose de quatre chapitres, qui contiennent des informations décrites ci-dessous:

- Le premier chapitre est une introduction et décrit les objectifs de cette étude.
- Le deuxième chapitre comporte un état actuel des connaissances sur le sable contaminé par le pétrole
- Dans le troisième chapitre, on a entamé la caractérisation physique, mécanique et hydrique du sable brut et contaminé, à différents degré ($0^{\circ}/^{\circ}, 2^{\circ}/^{\circ}, 4^{\circ}/^{\circ}, 6^{\circ}/^{\circ}, 8^{\circ}/^{\circ}, 10^{\circ}/^{\circ}, 15^{\circ}/^{\circ}, 20^{\circ}/^{\circ}$) par le pétrole brut et l'huile de mateur usée.
- Le corps principal de la thèse se termine par un quatrième chapitre, deux méthodes de mélange et deux conditions de durcissement couramment utilisées sont examinées et leurs effets sur les propriétés mécaniques du mortier de ciment avec du sable contaminé par l'huile de moteur usée et le pétrole brut 0, 2, 6 et 10, 15% en poids de sable sont étudiés. En plus des tests de compression, et la conclusion de la recherche et les recommandations pour les travaux future.

N.B : ce travail est achevé 85% comme suite :

- Le chapitre 1 est achevé à 100%
- Le chapitre 2 est achevé à 100%
- Le chapitre 3 est achevé à 90%
- Le chapitre 4 est achevé à 10%

Pour le 10% et le 90% des deux dernier chapitre 3 et 4, malheureusement on n'a pas pu les achevés à cause de la pandémie de corona virus covid-19 qui nous a troublé.

Chapitre 2

Aperçu générale sur les sables contaminés

1-Aperçu général

Plus de 95% de l'économie algérienne dépend de la production et de l'exportation de pétrole baissera à 816 000 barils/jour à compter du 1er mai 2020. De pétrole et le gaz. L'Algérie produit 1,2 million de barils de pétrole par jour, elle est le troisième pays africain de réserve de pétrole (figure 2.1). En outre, l'Algérie produit 135 milliards de mètres cubes de gaz par ans (Administration américaine de l'information sur l'énergie, 2011). Il existe sept grands bassins sédimentaires terrestres, à savoir le bassin de gaz de schiste et de schiste bitumineux: les bassins de Ghadamès (Berkine) et Illizi à l'est Algérie; les bassins de Timimoune, Ahnet et Mouydir dans le centre de l'Algérie; et le Reggan et Bassins de Tindouf dans le sud-ouest de l'Algérie (Figure 2.2).

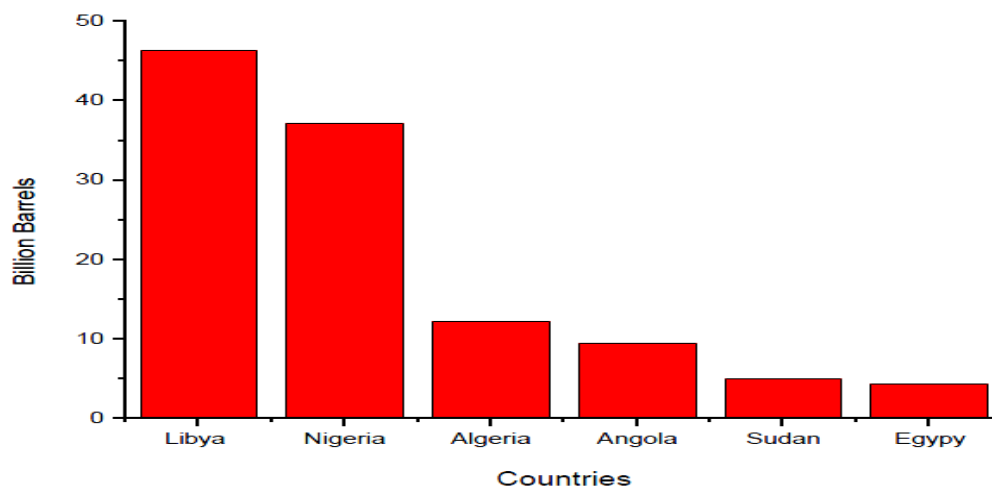


Figure 2.1 Détenteurs de réserves pétrolières éprouvées en Afrique, 2011 (Administration américaine de l'information sur l'énergie, 2011)

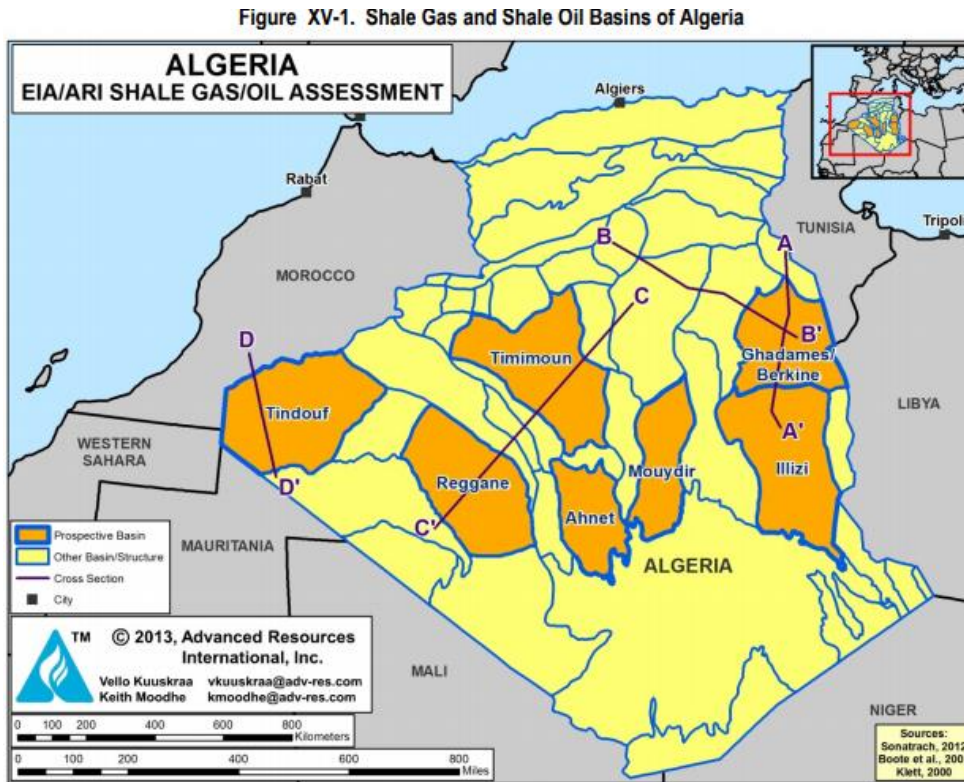


Figure 2.2 Localisation des principaux bassins sédimentaires algériens Administration américaine de l'information sur l'énergie, septembre 2015)

2-Hydrocarbures légers:

Les hydrocarbures pétroliers qui ont été utilisés durant les mesures en laboratoire sont le pétrole brut et l'huile de moteur usée qui sont un des hydrocarbures liquides légers en phase non aqueuse. Les densités des deux hydrocarbures utilisés sont $0,77\text{g/cm}^3$ pour l'huile de moteur usée et $0,825\text{g/cm}^3$ pour le pétrole brut, ils sont plus faibles que la densité de l'eau (1g/cm^3). Donc ces hydrocarbures légers flottent sur la nappe phréatique et se rencontrent à des profondeurs relativement faibles [2]. Lorsque que l'hydrocarbure se déplace à travers la zone non saturée, il se propage aussi latéralement, parce que les forces capillaires ainsi que sa gravité contrôlent sa migration. La pollution d'un aquifère par ces hydrocarbures peut augmenter en raison de leur dissolution lente (partie flottante immiscible) dans les eaux souterraines. La partie soluble de ce type hydrocarbures se déplace en aval de la zone source sous l'influence du gradient hydraulique des eaux souterraines [2]. Il y a aussi une phase vapeur des hydrocarbures qui se compose d'une fraction volatile (Voir figure 2.3).

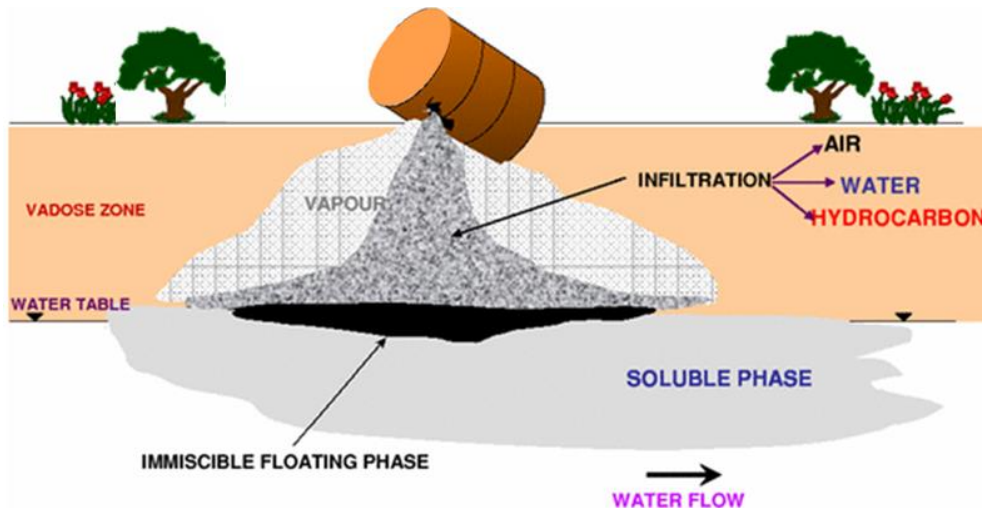


Figure 2.3 Infiltration et migration des hydrocarbures pétroliers

3- Sources de contamination par les hydrocarbures

3-1 Déversement du pétrole

Les fuites de pétrole se produisent accidentellement ou intentionnellement pendant l'exploration, la production, les processus d'exploitation et le transport du pétrole brut. Cependant, la plupart des déversements de pétrole brut ont été causés involontairement en raison des installations vieillissantes, du manque d'entretien enterreur humain. L'Algérie est l'un des principaux pays africains exportateurs de pétrole (Luciani, 1994), et en tant que telle, elle a été affectée par le problème du sable contaminé par le pétrole, comme l'exemple des deux fuites de pétrole survenues, au niveau du pipeline OK1 dans la région d'El Baaj (El Oued), où de grandes zones ont été contaminées.

3-2- Eaux usées pétrolier (eau de production) :

La deuxième source de sable contaminé est constituée par les eaux usées pétrolier (eau de production), qui est considéré comme le principal flux de déchets dans la production de pétrole l'industrie - environ trois barils d'eau pour chaque baril de pétrole (Halliburton, 2010).. L'estimation de l'eau produite par les plateformes offshore dans le monde entier est d'environ 107 millions de barils par jour, alors que la production totale de pétrole offshore est estimée à 120 millions de barils par jour. Le problème avec l'eau produite est qu'elle contient un taux élevé de pourcentage de pétrole brut ; le pétrole dispersé est constitué de petites gouttelettes d'huile en suspension dans le pétrole les eaux usées. Cette concentration d'hydrocarbures dispersés peut être affectée par plusieurs facteurs telles que sa densité, l'efficacité des étapes

de séparation, son traitement chimique, l'histoire du cisaillement de la goutte, et la tension inter faciale entre l'eau et l'huile (Ali et al., 1999).

L'eau produite par les séparateurs (un équipement de production utilisé pour séparer les composants liquides du flux du puits des éléments gazeux), généralement contient 40-1200 mg/L de gouttelettes d'huile de moins de 20 μm , et 1-50 mg/L de particules solides de moins de 10 μm . Comme les systèmes actuels ne peuvent pas éliminer les particules (huile gouttelettes) de moins de 10 μm , les petites gouttelettes d'huile peuvent interférer avec les déchets huileux l'eau (Bansal et Caudle, 1999). Sur la base des réglementations de l'Agence de Protection de l'Environnement **APE**, la limite maximum journalière pour le pétrole et le gaz est de 42 mg/L et la limite moyenne mensuelle est de 29 mg/L (Fakhru et al, 2009). Malgré le fait que de nombreux pays ont mis en place des réglementations pour le rejet des eaux de production afin de réduire l'effet de ces composants sur l'environnement, d'énormes quantités d'eau produite sont encore rejetées soit à terre ou en mer, qui est considéré comme une deuxième source importante de sable contaminé par le pétrole dans le monde.

4- Contaminants pétroliers

Au cours des dernières décennies, il y a eu une sensibilisation accrue des publics problèmes environnementaux, en particulier lorsque la contamination du sable, de l'eau et de l'air est impliqué. Partout dans le monde scientifiques et écologistes sont confrontés au défi de surmonter les effets néfastes de la contamination du sable, de l'air et de l'eau .Le déversement de pétrole brut sur le sable, les fuites d'oléoducs, souterrains et réservoirs de stockage de carburant en surface, déversements aveugles et élimination imprudentes la gestion des déchets et autres sous-produits des sociétés, constituent les principales sources contamination par le pétrole.

Dans ce travail nous nous intéressant seulement à la contamination du sable.

4-1 Sable contaminé par le pétrole

L'un des impacts environnementaux les plus critiques de l'industrie pétrolière est le déversement du pétrole brut, qui contamine gravement le sable. Assainissement du sable contaminé prend plus de temps et coûte beaucoup plus cher que pour l'eau contaminée par de l'huile. Par conséquent, il est très important d'étudier les propriétés du sable contaminé par l'huile (Jia et al. 2011) car ses propriétés physiques et chimiques changent dès que le sable

entre en contact avec du pétrole brut (Tuncan et Pamukcu, 1992). Le degré de ce changement dépend de nombreux facteurs tels que le type de sable et la composition et la quantité de pétrole brut déversé. Lorsque du pétrole brut est déversé, le liquide l'hydrocarbure migre vers les eaux souterraines provoquant une saturation partielle du sable et la voie des hydrocarbures. Comme le montre la figure 2.4, une fois que le pétrole brut atteint le sol La perméabilité du sable contaminé est basée sur la densité et l'eau table, les hydrocarbures légers commencent à se répandre horizontalement en migrant dans la zone capillaire, ce qui provoque une saturation supplémentaire du sable (Tuncan et Pamukcu, 1992). Ces écarts sont beaucoup plus importants avec le pétrole brut léger qu'avec le moyen et pétrole brut lourd, car le pétrole brut léger contient un pourcentage élevé de des hydrocarbures qui peuvent facilement pénétrer et migrer à travers les particules de sable. C'est pourquoi le sable contaminé par du pétrole brut léger est considéré comme l'un des plus problèmes environnementaux négatifs Un certain nombre d'études ont déjà été menées sur la géotechnique Propriétés des sables contaminés par les hydrocarbures pétroliers. (Cook et coll. (1992)) a étudié expérimentalement les propriétés de compactage, de compression et de résistance sables uniformément classés contaminés par du pétrole brut. Ils ont rapporté que bien que le pétrole la contamination n'a eu aucun effet significatif sur les caractéristiques de compactage, il diminue l'angle de frottement et Augmente considérablement la compressibilité du Le sable. Des résultats similaires ont été obtenus par Puri (2000) et Meegoda et Ratnaweera(1994) pour les sables sableux et argileux, respectivement. Etudes sur la géotechnique les caractéristiques des sables fins ont récemment pris de l'ampleur. Khosraviet coll. (2013) ont étudié les propriétés géotechniques de l'argile contaminée par le pétrole et sables sableux et a trouvé une réduction de la résistance, de la perméabilité, de la densité sèche maxima le, teneur en eau optimale et limites d'Atte berg de ces sables. Singh et coll. (2008) trouvé une augmentation de 35% à 50% du tassement de consolidation des sables fins contaminations par des hydrocarbures pétroliers. Des études précédentes en peut être a considéré que les sables uniformément classés, les sables argileux, les sables à grains fins résultats similaires cependant, lorsque des sables argileux et sableux ont été utilisés, la force, perméabilité, densité sèche maximale, teneur en eau optimale et limites d'Atte berg ont été diminués. Bien qu'aucune des études précédentes n'ait été étudiée, l'essai d'absorption du pétrole brut, on s'attend à ce que le type de sable puisse jouer un grand rôle propriétés du sable contaminé par l'huile. Ainsi, effectuer le test d'absorption doit être Pris en compte lors de l'utilisation de sable contaminé par l'huile.

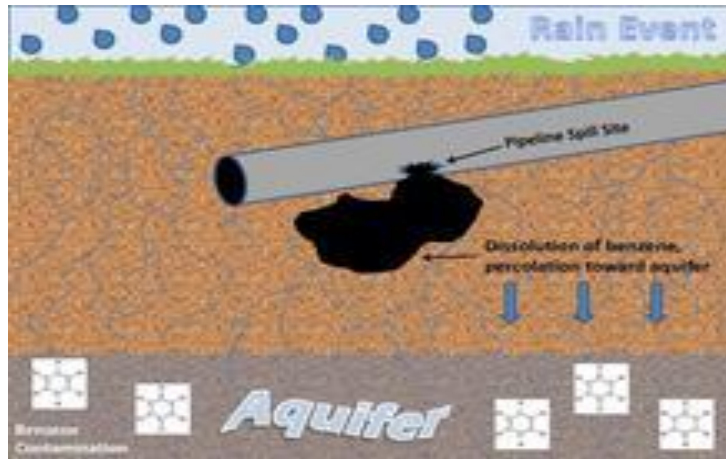


Figure2- 4 Déversement de pétrole brut et lixiviation d'hydrocarbures légers vers l'aquifère (NTSB, 2010)

Les principales sources de ce type de fuite proviennent des oléoducs, réservoirs de stockage souterrains dans les stations-service, les raffineries et les installations de production (Aikman et al., 2002). La contamination par les hydrocarbures a un effet direct sur l'érodabilité du sable et des infiltrations d'eau, et peut également provoquer un incendie au sol.

De plus, l'agrégation de fines particules et la fusion de minéraux peuvent entraîner une réduction de la stabilité de l'agrégat sable-matière organique. Alors que la résistance à l'eau des sables induite par le feu ou renforcée par le feu a souvent été citée comme cause du ruissellement et de l'érosion améliorés après un incendie (Shakesby et al., 2007), hydrocarbures la contamination peut également affecter les caractéristiques physico-chimiques du sable (Osuji et Ezebuoro, 2006).

La perméabilité du sable contaminé est basée sur la viscosité du fluide combler les vides, comme l'a conclu l'étude de Sharma et Reddy (2004), et il y a une augmentation de la perméabilité intrinsèque (k) lorsqu'il y a une augmentation de la densité et une diminution de la viscosité, ce qui indique que la densité et viscosité ont un effet significatif sur la perméabilité du sable. Il n'est pas sûr de construire des bâtiments sur sable contaminé car tout changement dans les propriétés et le comportement techniques des couches de sable peuvent affecter la capacité portante et le tassement différentiel du fondation (Rehman et al., 2007). Une étude précédente de (Rahman et al., 2010) a montré que ce n'est pas seulement l'écosystème qui peut être affecté par le déversement de pétrole brut, mais aussi la sécurité des ouvrages de génie civil. Nettoyage du sable contaminé est un travail compliqué en raison de la longue période de temps nécessaire et du coût élevé et les limites de l'élimination du sable excavé. En outre, les réglementations environnementales appropriées ne sont pas disponibles

en raison du manque de gestion appropriée dans de nombreux pays en développement tels que l'Algérie, ce qui conduit alors à du pétrole désaffecté et au déversement illégal d'autres composants d'hydrocarbures, ce qui aurait pu aider à résoudre le problème environnemental, ainsi que l'économie, sous la forme de matériaux de construction comme le sable. De plus, la contamination par l'huile peut nuire aux plantes ainsi que contaminer les ressources en eau souterraine à des fins potables ou agricoles (Rahman et al., 2010).

4-2- Propriétés mécaniques du sable contaminé par le pétrole

Le sable est un matériau naturel, considéré comme une ingénierie Matériel. Ainsi, ses caractéristiques physiques peuvent être déterminées par des expériences, qui peuvent alors permettre à ces propriétés d'être utilisées pour prédire leur comportement attendu sous Conditions de travail, ce qui augmente la possibilité de son utilisation bénéfique potentielle à déterminer (Head, 2006). Les avantages de l'examen de la mécanique propriété du sable est qu'il permet une plus grande précision des mesures, de sorte que tous les changements de conditions peuvent être simulés pour représenter les conditions pendant et après construction, et les paramètres du sable peuvent être calculés dans un délai raisonnable. Comprendre les propriétés mécaniques du sable est bénéfique pour un ingénieur en termes de réduction des incertitudes dans l'analyse des fondations et des travaux de terrassement et la création de structures et l'utilisation du sable comme matériau de construction. Dans cette application, les propriétés mécaniques telles que la cohésion, l'angle de frottement, le cisaillement la force et l'angle de contact sont importants. Aussi, la pertinence de propriétés physiques telles que la distribution de la taille des particules, la teneur en humidité, l'absorption d'eau, la perméabilité

4-2-1 Teneur en eau

La teneur en humidité est un facteur important lors du développement du bon rapport d'eau et le ciment. L'humidité des agrégats est basée sur la porosité des particules et l'état d'humidité de la zone de stockage. La teneur en humidité peut varier de moins de 1% et jusqu'à 40% dans le grès très poreux et le schiste expansé. Les agrégats peuvent être trouvés dans quatre états d'humidité différents qui incluent le séchage au four, séchage à l'air, surface saturée sèche et humide. De ces quatre états, seul le séchage au four et la surface saturée sèche correspondent à un état d'humidité spécifique et peuvent être utilisés comme états de référence pour calculer la teneur en humidité (Mindess et al., 2003; Kosmatka et al., 2002)

4-2-2-Absorption d'eau

L'absorption d'eau d'un granulat reflète sa porosité, souvent liée à des caractéristiques telles que la résistance, la durabilité et, dans certains cas, une rétractabilité potentielle. L'absorption d'eau est un indicateur d'absorption d'eau du mélange béton / mortier. Un agrégat très absorbant peut donner un mélange de faible durabilité. En béton de ciment portland, la densité spécifique du granulat est utilisée pour calculer le pourcentage de vides et le volume d'agrégat de sable dans les calculs de rendement. Cette absorption est importante pour déterminer le rapport eau-ciment net dans le mélange de béton.

4-2-3 Résistance au cisaillement

La résistance au cisaillement du sable est l'un des paramètres les plus importants en matière civile applications d'ingénierie. La sécurité de toute structure de génie mécanique est basée sur la résistance au cisaillement du sable sous-jacent (Budhu, 2008). Toutes les constructions, quand dans ou sur le terrain, imposent des charges sur le sable qui supporte les fondations construction ou bâtiment particulier. La charge imposée au sable peut provoquer la rupture par cisaillement du sable sous-jacent, qui se produit lorsque la contrainte de cisaillement imposée au sable dépasse la résistance maximale au cisaillement du sable (Smith, 2013). La résistance au cisaillement du sable est considérée comme un aspect dans de nombreuses fondations, comme dans la capacité portante des fondations peu profondes et pieux, la pression latérale du sol sur les murs de soutènement et la stabilité des pentes de barrages (Das, 2008). Par conséquent, la compréhension de la résistance au cisaillement peut jouer un grand rôle dans le terme de la classification d'entité du sable (Coduto, 2001), qui à son tour peut aider les ingénieurs pour dériver les aspects critiques de la mécanique globale du sable dans un environnement. Le cisaillement du sable se produit lorsque les particules glissent ou roulent les unes sur les autres. Dû à la nature particulière du sable, contrairement à celle d'un continuum, la résistance au cisaillement dépend de l'interaction des antiparticules (s'agit-il d'une particule de charge opposée), plutôt que la résistance interne des particules de sable elles-mêmes (Coduto, 2001). Le sable tire sa résistance au cisaillement de deux sources: la cohésion entre les particules qui est généralement considéré nulle et la résistance au frottement entre les particules.

4-2-4 Perméabilité

Le sable est considéré comme perméable car il se compose de particules solides et d'un réseau de pores interconnectés. Le degré de perméabilité est basé sur un certain nombre de facteurs tels que le type de sable, la teneur en eau, la distribution granulométrique et le degré de compactage. La capacité du sable à transmettre l'eau est caractérisée par coefficient de perméabilité (k). La perméabilité du sable, généralement au alentour de 10^{-5} m/s, est une mesure de sa capacité à laisser passer un fluide à travers lui (Head et Epps, 2010), et c'est la propriété de porosité qui permet la transmission du fluide à travers le sable. La perméabilité est considéré comme un paramètre majeur dans la conception et la mise en décharge, et donc par exemple dans les sols contaminés et dans la conception des barrages en terre, etc. De plus, la perméabilité l'un des paramètres jouant un rôle majeur dans le béton durci (Givi et al., 2010), où l'ouvrabilité du béton peut être affectée par la perméabilité. Pour ces raisons, la compréhension des caractéristiques de la perméabilité du sable est nécessaire pour de nombreux projets de construction où le drainage est considéré comme une caractéristique importante. De plus, en termes de sable contaminé, le test de perméabilité est important car la compréhension des propriétés de perméabilité du sable est nécessaire pour estimer la quantité d'infiltrations souterraines. De plus, le test de perméabilité est important dans les conditions de résolution des problèmes qui impliquent le pompage des eaux d'infiltration de la construction excavations, ainsi que dans les analyses de stabilité des structures en terre et de soutènement de terre murs soumis à des forces d'infiltration. Un test de perméabilité sur sable contaminé avec du pétrole brut est également nécessaire pour déterminer le taux auquel l'eau souterraine est contaminés, ainsi que pour l'assainissement des eaux souterraines.

4-3 Effet de la contamination par l'huile sur les propriétés du sable

Les propriétés techniques du sable sont sujettes à changement dès qu'elles deviennent contaminé par du pétrole brut (Rehman et al., 2007). La stabilité et la perméabilité de le sable dans les sites d'enfouissement peut être affecté par la contamination par le pétrole brut et le sable les suintements peuvent entraîner l'expansion et la contraction du sable sur lequel les pipelines sont posés (Rehman et al., 2007). La plupart des déchets industriels sont désormais rejetés, après traitement, dans confinements terrestres, et ce depuis la mise au rebut des déchets techniques établi. Néanmoins, la contamination du sable, causée par l'élimination intentionnelle, ou les fuites accidentelles de substances chimiques peuvent modifier les propriétés mécaniques de sable, entraînant leur mise en valeur ou leur dégradation, et parfois

défaillance fonctionnelle ou structurelle des structures. Toute modification des propriétés mécaniques ou du comportement du sable peut affecter portante et peut entraîner une augmentation du tassement différentiel total de systèmes de fondation d'une structure (Rehman et al., 2007). De plus, l'eau polluée peut affecter la maniabilité et la durabilité du béton lorsqu'il est utilisé pour mélanger le béton (Klein et Sarsby, 2000). Il a été signalé que les dommages structurels actuels aux les industries et les bâtiments résidentiels ont été causés par la contamination chimique du sable, ce qui souligne ainsi l'importance de la modification de la mécanique propriétés du sable par les produits chimiques (Rao et al., 2008). La présence de produits chimiques peut affectent les propriétés mécaniques du sable et son comportement, donc comprendre les différentes phases de sable sont essentielles lors de l'examen de toute réutilisation de sable contaminé (Sharma et Reddy, 2004).

Enquêtes complémentaires sur l'effet des fuites de pétrole brut sur le environnement en termes de pollution des surfaces telles que les eaux souterraines, la flore, la faune, l'air la pollution et les risques d'incendie ont été entrepris, mais très peu de recherches ont été effectuées sur l'interaction entre le sable et le pétrole brut, les effets du pétrole brut sur les propriétés mécaniques du sable et sa capacité à être utilisé comme matériau de construction.

5- Méthodes d'assainissement actuelles pour le sable contaminé par l'huile

La menace posée par le sable contaminé pour les humains et l'environnement a fait l'évaluation et l'assainissement des sites contaminés deviennent très importants. Au-dessus de dernière décennie, la sensibilisation aux sites contaminés s'est accrue, en particulier là où l'approvisionnement public en eau dépend des eaux souterraines. La contamination par le sable est également devenue un problème pour la société en raison de problèmes sanitaires et environnementaux néfastes. Le vaste l'infiltration et la contamination causées par le déversement de pétrole brut sont basées sur propriétés du sable (Fine et al., 1997). Sable contaminé par les besoins en pétrole brut remédiation et / ou remise en état majeure afin de devenir apte à toute utilisation future. La recherche et les études ont abouti à plusieurs méthodes techniques qui pourraient remédier à ces problèmes, mais ils présentent à la fois des avantages et des inconvénients (Grande et Barbosa, 2003; Silva et Fiuza, 2005). Le coût des méthodes de remédiation alternatives, tel que décrit par l'EPA (1997) varie de 50 à 1000 (dollars EU la tonne). La figure 2.5 indique que le coût et dépend de la technique d'assainissement et de la concentration des contaminants.

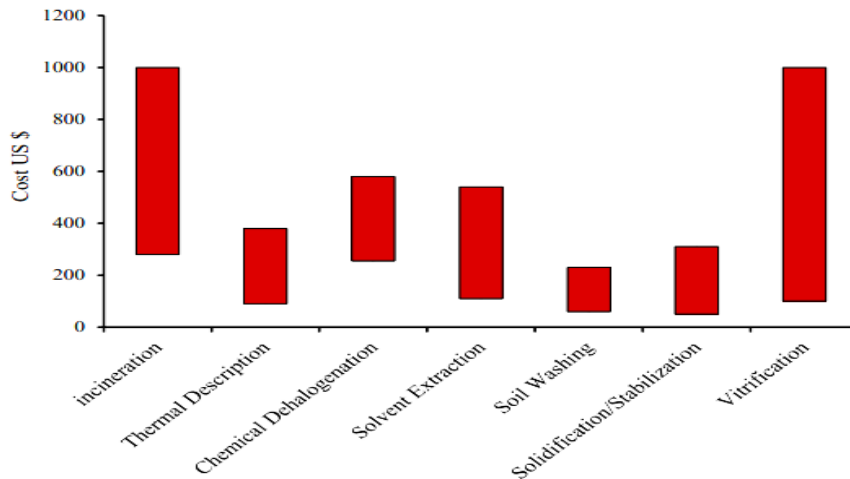


Figure 2.5 Coût des méthodes d'assainissement des hydrocarbures (Adapté de USEPA (1997))

Dans tous les cas, le nettoyage nécessite la connaissance des propriétés mécaniques du sable, mais il existe très peu d'études portant sur les propriétés mécaniques du sable contaminé. Plusieurs méthodes, telles que les méthodes mentionnées ci-dessus, ont été considérées, mais tous ne sont pas considérés comme rentables (Riser, 1998). Ainsi, il est un grand besoin de trouver une meilleure alternative et un moyen plus rentable d'utiliser le sable contaminé par l'huile. Une approche possible consiste à le mélanger avec du ciment et à l'utiliser en construction.

5-1-Stabilisation du sable contaminé par l'huile par mélange avec du ciment

Plusieurs études ont étudié les propriétés mécaniques du béton utilisant de l'huile sable contaminé et ont évalué leur utilisation potentielle dans la construction. Celles-ci les études sont présentées dans cette section, ainsi que l'utilisation actuelle du pétrole contaminé sable dans la construction.

5-2-Effets de la contamination par l'huile sur les propriétés du mortier et du béton

Hamad et Rteil (2003) ont révélé que l'huile agissait comme un plastifiant chimique, amélioré la fluidité, et a doublé l'affaissement du mélange de béton, tout en maintenant sa résistance à la compression. Une étude similaire a été menée par Hamad et al. (2003) qui a ajouté de l'huile moteur à un mélange de béton frais et a constaté que son effet était similaire à l'ajout d'un adjuvant chimique entraînant l'air, ce qui a amélioré une partie de la durabilité propriétés du béton. De plus, l'utilisation potentielle de sable contaminé par le pétrole dans la

construction de routes a été étudiée par Hassan et al. (2005), et ils ont conclu qu'il pouvait être utilisé à cette fin. Dans une étude récente d'Agbe et al. (2012) l'effet du pétrole brut sur la résistance à la compression du béton a été étudiée, et ils ont conclu que 18 à 90% de sa résistance à la compression a été perdue en raison d'une contamination de 2,5 à 25% avec du brut pétrole. Ahad et Ramzi (2000) ont indiqué qu'il y avait une réduction significative de la résistance à la compression et réduction d'environ 11% de la résistance à la rupture béton imbibé de pétrole brut. Le tableau 2.1 résume l'effet de la contamination par l'huile sur les propriétés mécaniques du béton. Néanmoins, il y a encore des désaccords sur l'effet du pétrole brut et de son contenu produit sur les propriétés du pétrole produit béton.

Tableau 2.1 Effet de la contamination par l'huile sur les propriétés des propriétés du béton

Test	pétrole hydrocarbure	D'effet	Auteur
Compressif force	Huile de moteur	Maintenue	Hamad and Rteil, 2003; Hamad et al.,2003
	Huile, phénol	diminution	Cullinane and Bricka, 1987
	Hydrocarbure (phénol)	Maintenu	Hebatpuria et al., 1999 Hamad and Rteil, 2003
	Faible% de minéral Huiles	Maintenu	Ajagbe et al., 2012
	du pétrole brut	Diminution (18 à 90%)	Ahad, 2000
Ouvrabilité	Trempé dans du pétrole brut	Diminué (11%)	Hamad and Rteil, 2003; Hamad et al.,2003
	Huile moteur	Augmentation	

Le tableau 2.1 montre que la plupart de ces chercheurs ne sont pas d'accord sur l'effet du brut huile sur le comportement du béton. L'incohérence de certains des facteurs tels que type de pétrole brut, perméabilité du sable, propriétés du sable, absorption, produit chimique composition et quantité de déversement (Nudelman et al., 2002; Fine et al., 1997; Tuncan et Pamukcu, 1992) ont été considérés comme la principale raison au-delà de ce manque de

accord. Ainsi, il est nécessaire d'étudier plus en détail les propriétés de l'huile le sable contaminé et ses effets sur le mortier et le béton produits.

Chapitre 3

Caractérisation du sable contaminé

1-Introduction

Ce chapitre est consacré à la caractérisation physique et mécanique du sable après contamination par les hydrocarbures à savoir le pétrole et l'huile des moteurs usée. Après la préparation du sable contaminé, à différents degrés, par le pétrole et l'huile des moteurs usée, on a entamé la caractérisation physique et mécanique des différents mélange du sable contaminé, dont l'objectif d'étudier l'effet du type et du degré de contaminant sur les propriétés physique et mécanique.

2- Matériaux de base

2.1. Localisation des matériaux

Les matériaux intervenant dans cette étude sont :

Sable: le sable de dune de la région de Laghouat.

Ciment : le ciment utilisé est un ciment portland CPJ- CEM II 42.5.

Hydrocarbures : dans ce travail on a utilisé deux types des hydrocarbures :

- **Pétrole brut** algérien, provient de la raffinerie de Hassi Messaoud
- **Huile des moteurs suées**, provient des stations de vidange des moteurs des véhicules

3- Préparation des échantillons contaminés

Les échantillons contaminés ont été préparés en mélangeant le sable sec avec différents degrés de contaminant (pétrole brut et huile des moteurs usée) de 0 à 10%, avec le pat de 2, 15 % et 20 % en fonction du poids du sable sec. En outre, le sable brut non contaminé (0%) a été préparé comme échantillon de contrôle (figure 3.1). Un pourcentage maximum de 20 % et considéré comme dosage de saturation et que tout hydrocarbure supplémentaire se draine à travers les grains du sable (Rajab Mohamed B. Abousnina 2016). Après séchage total du sable sec on a ajouté la quantité d'hydrocarbure désiré, puis on a mélangé le tous soigneusement jusqu'à avoir un mélange de couleur homogène. Par la suite, les échantillons du sable contaminé ont été placés dans des sacs en plastique pendant 72 heures dans une salle à température ambiante afin d'éviter toute évaporation de l'huile et pour permettre au mélange d'atteindre un état homogène.



Figure 3.1 Sable contaminé avec différents pourcentages d'hydrocarbure (0%-20%)

4- Caractérisation du sable contaminé

La majorité des essais de caractérisation des matériaux de base ont été réalisés selon la norme française dans le laboratoire de génie civil de l'université de Laghouat.

4.1. Caractéristiques physiques

4.1.1. Analyse granulométrique

L'essai de l'analyse granulométrique est effectué par tamisage à sec selon la norme **NF P 18-560**. L'essai est réalisé seulement pour le sable brut témoin. On n'a pas pu effectuer cet essai pour le sable contaminé car les échantillons ont présentés certaine cohésion entre les grains de sable et une adhérence au niveau des tamis.

La figure 3-2, présente la courbe granulométrique sable brut non contaminé.

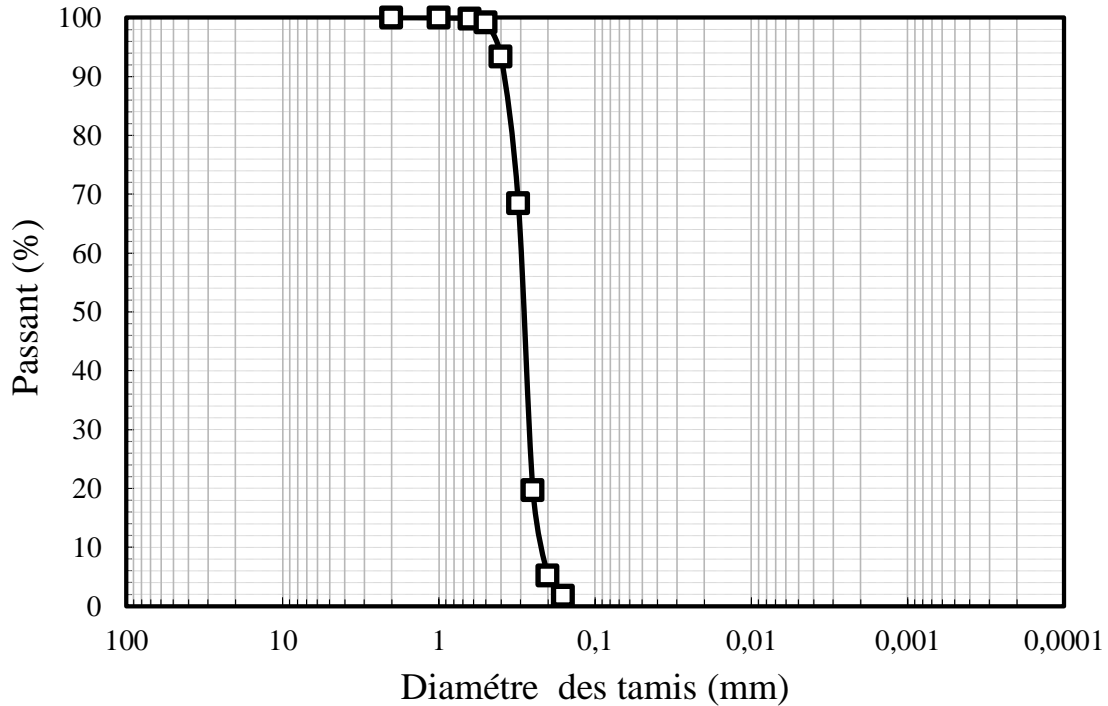


Figure 3. 2 Courbe granulométrique de sable brut

4.1.2. Masse volumique

Les masses volumiques des matériaux utilisés sont mesurées selon normes françaises.

a) Masse volumique absolue NF P 18-555 :

La masse volumique absolue, c'est la masse par unité de volume absolue du corps, c'est-à-dire de la matière qui constitue le corps, sans tenir compte du volume des vides. Généralement

Pour les sables on utilise le pycnomètre pour mesuré les masse volumiques absolue.

$$\gamma_s = \frac{M_s}{V_s} \quad \begin{array}{l} M_s: \text{masse sec des grains solides} \\ V_s: \text{le volume des grains solides.} \end{array}$$

Dans cet essai on a remarqué pour le sable contaminé la présence de bulle d'air en fonction du degré de contaminant, cela s'explique que la présence de l'huile crée une cohésion entre les grains qui emprisonne l'air qui empêche son échappement rapide. Les mesures ont pris un temps élevé par rapport à celle du sable brut.



Sable brut



Sable contaminé

Figure 3-3 Présent la masse absolue pour les deux états

b) Masse volumique apparente NF P 18-554 ;

C'est la masse par unité de volume apparente utilisée le tasse de volume 1L.

$$\gamma_{app} = \frac{M_s}{V}$$

M_s: masse sec des grains solide

V: volume du tasse



Sable brut



Sable contaminé

Figure 3-4 Présenté la masse apparente pour les deux états

A partir de ces deux propriétés, nous avons déduit les résultats des autres caractéristiques physiques comme la porosité, compacité et l'indice des vides. Les variations de différentes

propriétés physiques en fonction de la teneur en contaminant sont présentées dans les courbes 3-5 et 3-6 et 3-7

D'après ces résultats, nous remarquons que le degré de contamination a un effet bénéfique sur les propriétés physiques du sable contaminé. Une légère différence est enregistrée entre les deux contaminants l'huile et le pétrole.

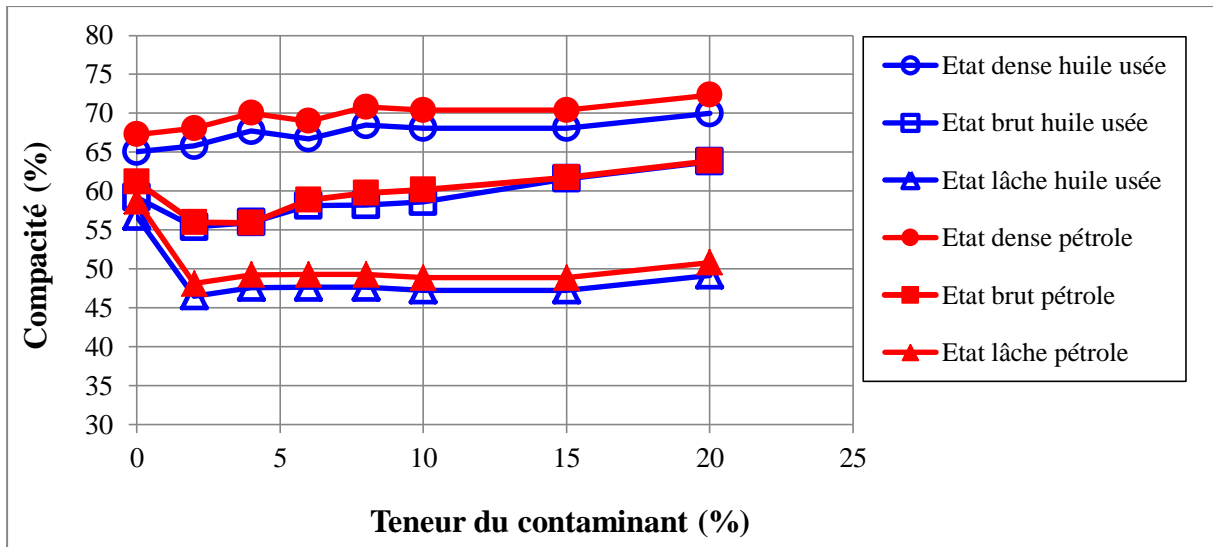


Figure 3-5 Courbes la compacité avec des différente etet et pourcentage d'hydrocarbures

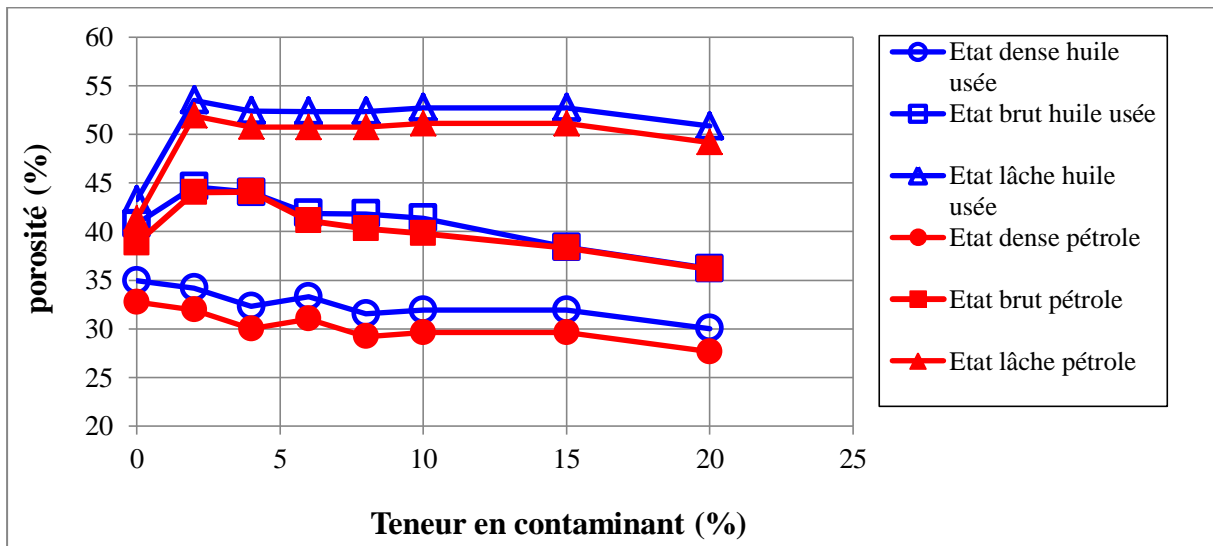


Figure 3-6 Courbes la porosité avec des différente etet et pourcentage d'hydrocarbures

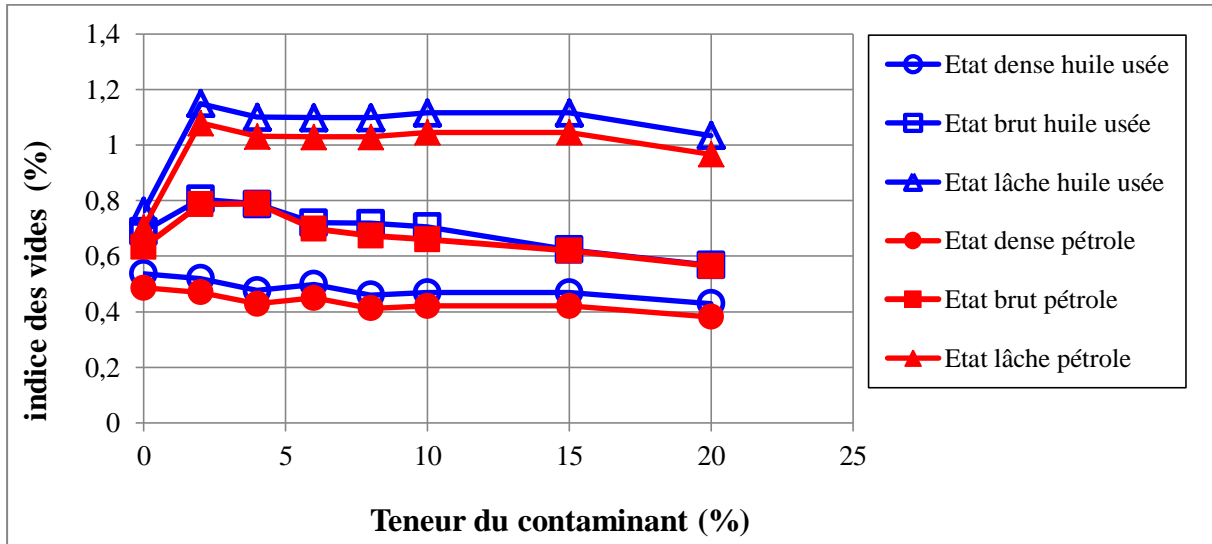


Figure 3-7 Courbes la densité apparente avec des différente etet et pourcentage d'hydrocarbures

4-1-3-Teneur en eau

Les teneurs en eau du sable à différents degré de contamination ont été mesurées selon la norme française **NF P94-050**. Les essais sont réalisés sur les échantillons préparés comme indiqué à la section 3 au moyen de trois essais pour chaque échantillon de sable. La teneur en eau (W) est calculée comme suit:

$$W(\%) = \frac{M_T - M_s}{M_s} \times 100$$

M_T : Masse initiale de l'échantillon ;

M_s : Masse de l'échantillon après séchage à l'étuve à 105°C pendant 24h

Les résultats ont montré que la teneur en humidité de l'échantillon de sable non contaminé est quasiment nulle. Cela indiquait que l'échantillon était totalement sec, qu'il répondait à la spécification et qu'il représentait le l'état réel du sable dans le désert algérien.

Pour le cas des échantillons du sable contaminé avec l'huile usée ou le pétrole, on a constaté que le poids des échantillons, pour différents degrés, ne vari plus après passage à l'étuve. Cela, est peut être expliqué par le fait que les deux contaminants (huile usée et le pétrole) demandant une température très élevée pour être évaporés.

4-1-4-Absorption d'eau

Le coefficient d'absorption est défini comme le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon après imbibition par l'eau, à la masse sèche de l'échantillon. Cette imbibition est obtenue par immersion de l'échantillon dans l'eau pendant 24 heures à 20 °C. L'essai est réalisé conformément à la norme NF P 18-555.

Le coefficient d'absorption (Ab) est défini par la relation :

$$Ab(\%) = \frac{M_a - M_s}{M_s} \times 100$$

M_s = masse de l'échantillon sec après passage à l'étuve à 105 °C.

M_a = masse de l'échantillon imbibé, surface sèche déterminée comme suit.

Le coefficient d'absorption est mesuré comme suite :

Après imbibition dans l'eau pendant 24 heures, on étale l'échantillon sur une surface plane non absorbante et le soumettre à un flux d'air chaud, tout en le remuant afin que la surface externe des grains sèche. Ce séchage est effectué de manière douce afin de ne pas éliminer l'eau qui pourrait être piégée à l'intérieur du granulat. Il faut veiller également à ne pas perdre de grains de sable au cours de l'opération. Les grains sont alors libres de toutes forces d'attraction capillaire. On peut vérifier que cet état a été atteint en plaçant le matériau dans un moule tronconique, posé sur une surface plane non absorbante, et en le compactant légèrement. On vérifie que celui-ci s'écoule en démoulant (figure 3-8)

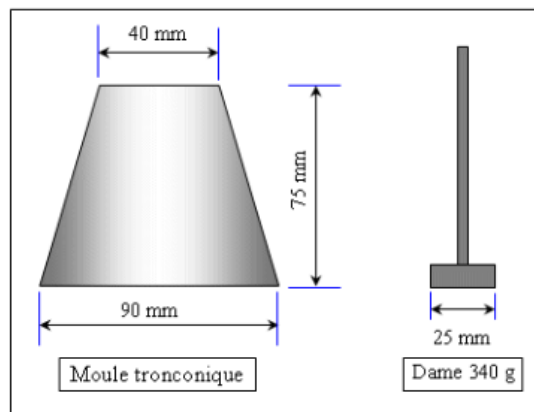


Figure 3-8 Moule et dame pour coefficient d'absorption des graviers.

Les résultats de l'essai d'absorption sont présentés sur la figure 3-10.

D'après cette figure nous remarquons que le coefficient d'absorption d'eau diminue en fonction du degré du contaminant. Pour un degré de contamination de 2% du sable on a constaté une diminution de plus de 94% pour l'huile usée et de 64 pour le pétrole brut.

Pour les échantillons du sable contaminé par l'huile on a remarqué au-delà de 4% de contamination les échantillons présentent des coefficients d'absorption nulle. Ce qui est expliqué qu'au-delà de 4% d'huile, le sable est totalement lubrifié et l'huile empêche l'adsorption de l'eau. Cette constatation est remarquée en cours de l'essai ou on a remarqué le cône de sable contaminé se stabilise et prend de forme même sans addition d'eau, comme le montrent les figures 3-9.

Concernant les échantillons de sable contaminé par le pétrole, au-delà de 4% de contamination le coefficient d'absorption d'eau a diminué progressivement jusqu'à atteindre des valeurs nulle pour un degré de contamination de 20%. Nous signalons que de même que le cône de sable contaminé se stabilise et prend de forme même sans addition d'eau.

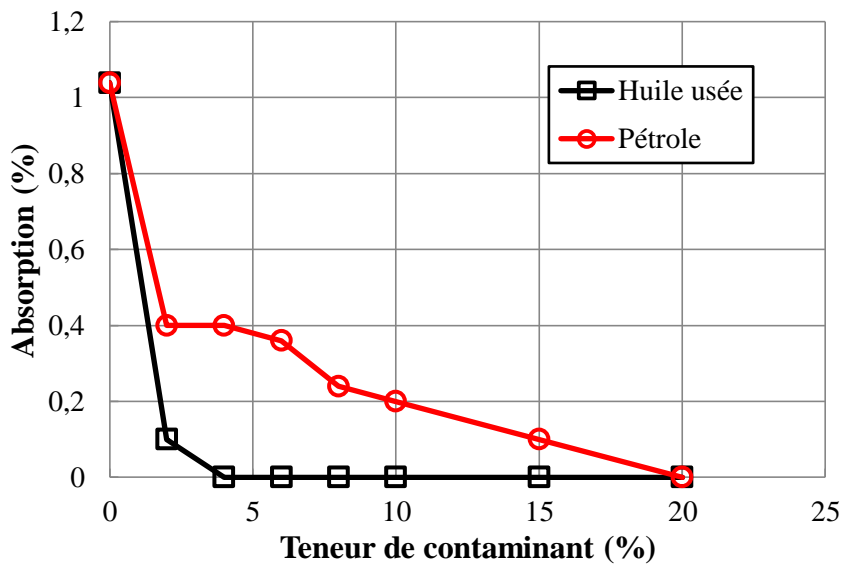


Figure 3-9 Variations de l'absorption avec le degré de contaminant



0°°



2°°



4°°



6°°



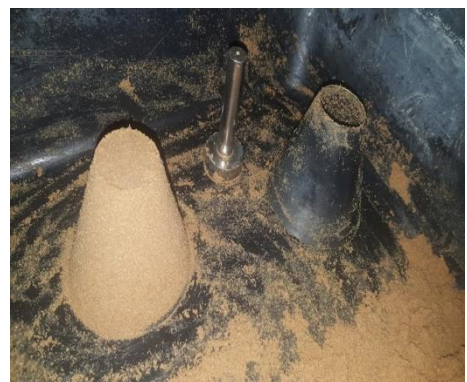
8°°



10°°



15°°



20°°

Figure 3-10 Test d'absorption d'eau pour 0°° à 20% de sable contaminé.

4-1-5-Equivalent de sable

La propreté des granulats peut s'apprécier de différentes façons telles que l'essai au bleu de méthylène, d'équivalent de sable à 10 % de fines etc., mais dans ce travail, on va présenter seulement l'essai d'équivalent de sable.

Cet essai a pour but de mesurer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons. L'essai consiste à séparer les floccules fins contenues dans le sable. L'essai est effectué selon la norme **NF P18-598**.

L'essai est effectué sur la fraction 0/2 mm du sable à étudier. On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout. Au bout de 20 minutes, on mesure les éléments suivants :

- hauteur h1 : sable propre + éléments fins,
- hauteur h2 : sable propre seulement.

On en déduit l'équivalent de sable comme suite :

$$ES(\%) = \frac{h_2}{h_1} \times 100$$

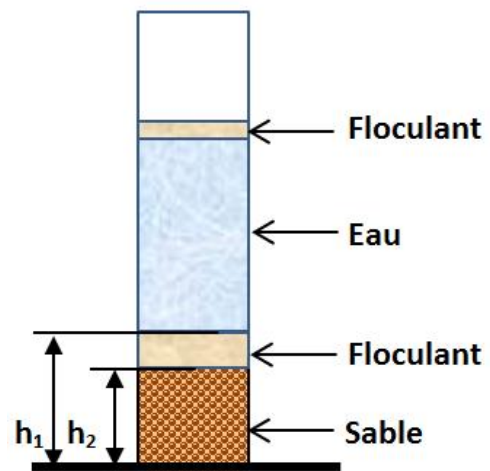


Figure 3-11 Définition de l'équivalent de sable

Il y a 2 façons de mesurer h2, soit visuellement pour déterminer ESV (équivalent de sable à vue), soit avec un piston pour déterminer Esp.

Les figures 3-12 et 3-13-présentent les états des éprouvettes des essais de l'équivalent de sable réalisé sur les échantillons de sable contaminé par l'huile et le pétrole (0°/° à 20°/°).

En cours de l'essai, on a remarqué qu'au-delà de 4% de contamination la présence de couche des impuretés flottante à la surface de l'eau. Cela est expliqué par le fait qu'au-delà de ce degré une partie des particules fines, présents dans le sable, sont enveloppés par le contaminant (huile ou pétrole) est vue que la densité de ce dernier est faible par rapport celle de l'eau, ces impuretés flottent automatiquement à la surface. Cette couche des impuretés flottante augment en fonction du degré et du type du contaminant. Elle est bien remarquée pour le cas de l'huile. Les résultats des essais de l'équivalent de sable sont récapitulés au tableau 3.1

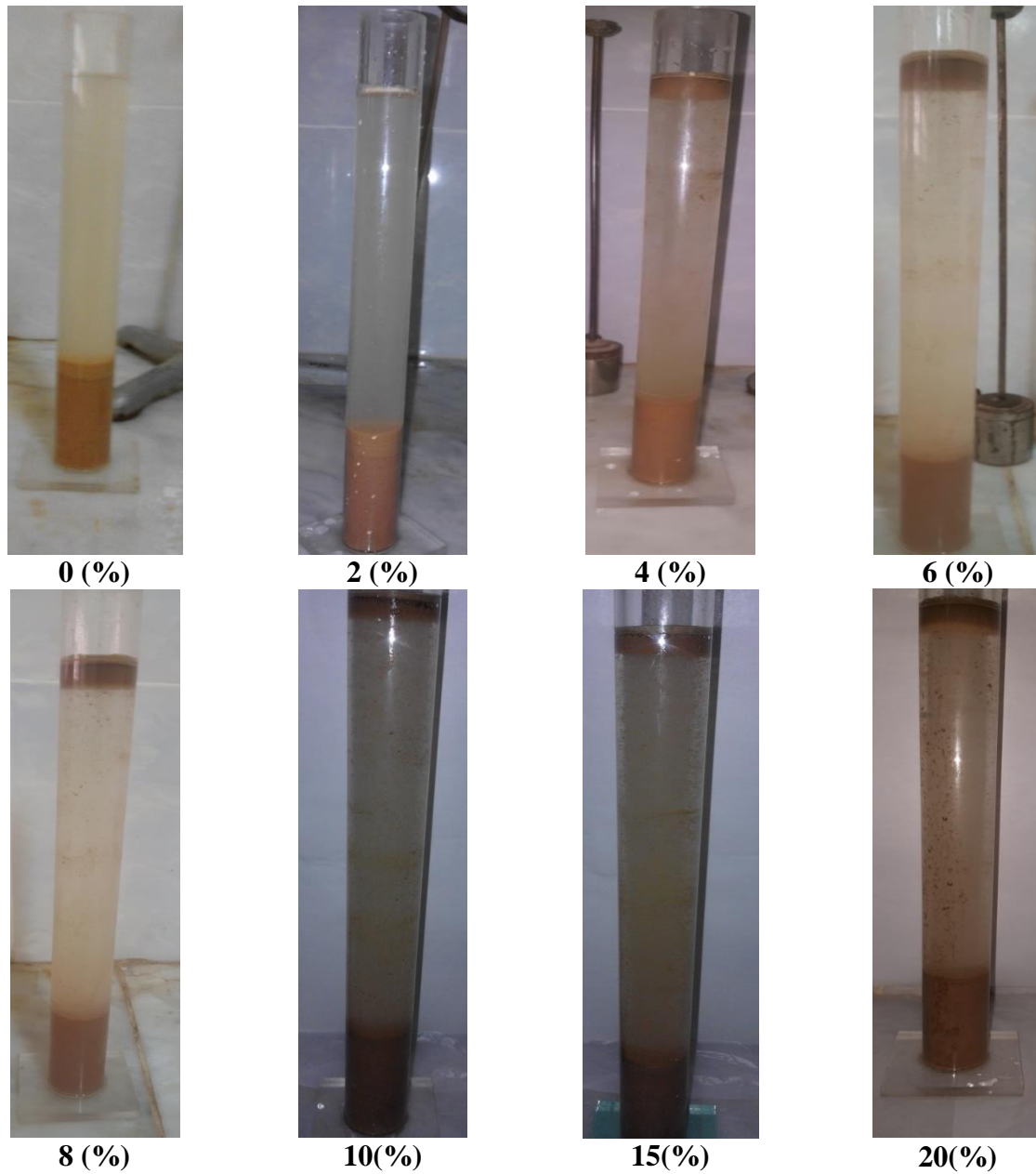


Figure 3-12 Essai d'équivalent de sable pour l'huile

Tableau 3-1 Résultats des essais de l'équivalent de sable

Teneur en de contaminant	Huile		Pétrole	
	ES visuel (%)	ES piston (%)	ES visuel (%)	ES piston (%)
0	80,00	78,41	80,00	78,40
2	74,20	70,58	81,00	72,50
4	82,70	70,30	82,60	72,00
6	71,70	75,30	79,60	66,70
8	83,50	74,80	71,00	64,70
10	77,20	70,70	74,60	65,00
15	76,70	70,00	78,00	62,90
20	82,50	66,00	75,70	63,80

4-1-6 Indice de densité

Pour ce type de sol, les grandeurs repères choisies sont l'indice des vides maximum e_{\max} et l'indice des vides minimum e_{\min} , Chacune de ces deux valeurs est déterminée expérimentalement,

Pour le cas des sable contaminé, vu quant peut pas obtenir la masse volumique sèche, on a opté à déterminer les valeurs des indices des vides comme suite :

- La masse du sable contaminé déversé permet de déterminer $\gamma_{\text{app}} : \gamma_{\text{app}} = \frac{P}{V}$
- la masse des grains solides γ_s étant connue ;
- on détermine la porosité $n : n = 1 - C = 1 - \frac{\gamma_{ab}}{\gamma_{\text{app}}}$

Cela permet de déterminer la valeur de l'indice des vides $e : e = \frac{n}{1-n}$

Pour e_{\max} (état le plus lâche du sol), on déverse le sable soigneusement avec la hauteur de chute la plus faible possible et sans provoquer de vibrations dans un récipient de volume connu,

Concernant e_{\min} (état le plus compact du sol), on soumet une masse de sol connu à des vibrations élevées jusqu'à remplir dans un récipient de volume connu,

On peut calculer l'indice de densité ID, appelé également la compacité relative Cr au moyen de la formule suivante :

$$I_D(\%) = \frac{e_{\max} - e_0}{e_{\max} - e_{\min}} \times 100$$

Le tableau 3,2 ci-dessous donne les ordres de grandeur et la dénomination de l'état de compacité d'un sol sableux.

Tableau 3-2 les ordres de grandeur et la dénomination de l'état de compacité d'un sol sableux

Classification	ID=Cr (°/°)
très lâche	0-15
Lâche	15-35
Moyennement dense	35-65
Dense	65-85
Très dense	85-100

Les résultats de la variation de l'indice de densité relative en fonction du type et de degré de contaminant sont présentés dans la figure 3-14. D'après cette figure nous remarquons que l'indice de densité augmente en fonction du degré de contamination. La contamination par l'huile usée permet une densification du sable légèrement meilleure par rapport à celle du pétrole. Dans la plage des degrés de contaminants testés, nous constatons qu'au-delà de 15% de contamination le sable n'a aucune aptitude de densification.

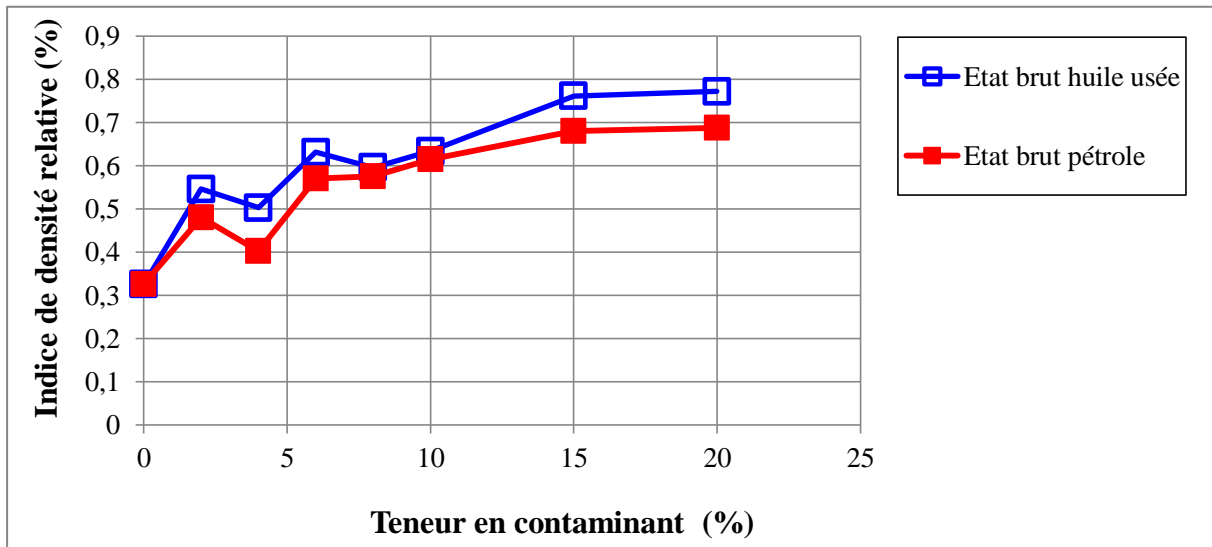


Figure 3-13 La densité relative en fonction du degré et de type de contaminant,

4-1-7 Perméabilité à charge constante

L'essai de perméabilité à charge constante montré sur la figure 3-18, convient aux sols très perméables comme les sables, Cet essai doit satisfaire aux conditions suivantes :

- L'échantillon doit contenir des particules < 80 mm au plus égal à 10% des particules > 20 mm = 0 %
- L'écoulement d'eau à travers l'échantillon de sol est laminaire et permanent, de telle sorte que la vitesse d'écoulement de l'eau reste proportionnelle au gradient hydraulique;
- L'échantillon de sol est saturé et ne subit pas de changement de volume durant l'essai
- la perte de charge (Δh) demeure constante.

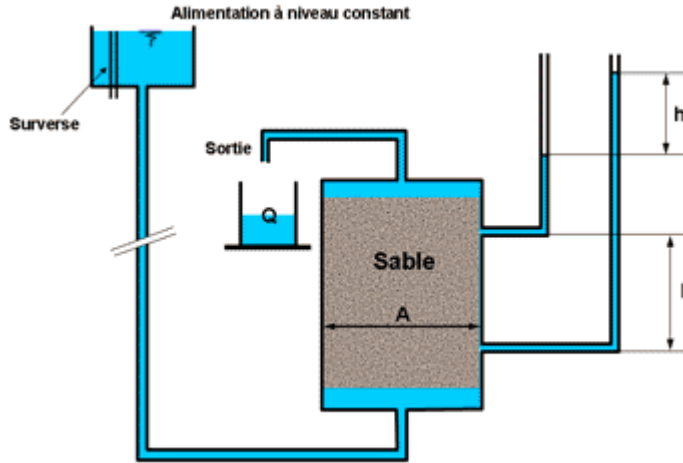


Figure 3-14 Perméamétrie à charge constante

L'appareil de perméabilité se composait de un corps de cellule cylindrique (75 mm de diamètre sur 250 mm de hauteur), une plaque de base perforée avec des tiges de tension et des écrous à oreilles qui soutiennent le corps de la cellule, et un capuchon supérieur avec un entrée pour un tube et une soupape de purge d'air Dans le test de perméabilité, le coefficient de perméabilité (k) est déterminé, qui est la quantité d'eau écoulement à travers le sol, et il est exprimé en mètres par seconde (m / sec),

4-1-8 Essai de cisaillement direct

L'essai a pour objet de mesurer les caractéristiques de rupture d'un échantillon de sol fin saturé soumis à un cisaillement direct selon un plan imposé, à une vitesse constante. L'échantillon de test était de 24 mm d'épaisseur et 63,5 mm de diamètre En vitesse lente et conditions drainées peuvent être déduites les valeurs de l'angle de frottement effectif ϕ et la cohésion effective c' , paramètres utilisés pour le dimensionnement de fondations, les calculs de vérification des coefficients de sécurité à la rupture de talus et pour la détermination des actions de poussée et de butée sur les ouvrages de soutènement.

Un ensemble d'essai à la machine de cisaillement direct conforme à la norme **NF P94-071-1** se compose de :

- Un bâti de chargement : la machine elle-même et son dispositif de chargement vertical, La machine de cisaillement est constituée d'un bâti support comportant un moteur pas à pas permettent de pousser la demi-boîte inférieure montée dans un chariot mobile guidé tandis que la demi-boîte supérieure est reliée au dispositif de mesure de la force horizontale, cette partie restant fixe. Ce test a donc été réalisé pour s'assurer que la contamination par l'huile ne s'écoulerait pas du sable de dune.



Figure 3-15 Machines de cisaillement direct

5- Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté les résultats des essais de caractérisation du sable contaminé par du pétrole et d'huile usée. Les résultats ont montré que la contamination du sable de dune par les hydrocarbures, à savoir le pétrole et l'huile usée, permet d'améliorer certaines propriétés physiques du sable de dune comme le poids volumique, la compacité et l'indice de densité relative. La contamination confère au sable de dune une forte aptitude à la compactibilité.

Ces résultats sont adéquates pour une utilisation de notre sable contaminé dans le domaine de la fabrication de béton qui est l'objectif principal de cette étude. Dans le chapitre 4, on a entamé la formulation et le confectionnement de mortier à base de sable de dune contaminé. Malheureusement, à cause des conditions sanitaires du coronavirus covid-19, on n'a pas pu terminer ce chapitre et les objectifs de cette étude ne sont pas complètement achevés.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Les sables contaminés par du pétrole brut et d'autres hydrocarbures sont devenus une préoccupation environnementale dans le monde entier. Pour réduire les effets nocifs, une gamme de méthodes correctives ont été mises en œuvre, notamment le lavage du sable, la biorestauration, le contrôle de la contamination par électrophorèse du sable et l'absorption thermique, mais elles ne sont pas rentables. Ce coût peut être amplifié dans les pays en développement. Sur cette base, il est absolument essentiel de trouver un moyen meilleur et plus rentable d'utiliser du sable contaminé par l'huile. L'alternative d'utiliser le mélangeur du sable contaminé par l'huile avec du ciment comme matériaux de construction est un moyen intelligent et rentable de réduire son impact environnemental.

Cette étude entre dans ce contexte, elle s'agit d'étudier les propriétés physique, mécanique et hydrique d'un sable contaminé par le pétrole et l'huile usée, dont l'objectif d'une utilisation dans la fabrication de béton.

Une évaluation des propriétés physiques d'un sable à grains fins contenant différentes proportions de pétrole brut léger (0, 2, 4, 6, 8, 10, 15 et 20%) a été réalisée dans la première étape de cette étude. Des propriétés importantes liées aux applications de construction telles que la teneur en eau, l'absorption d'eau, indice de densité, équivalent de sable, la perméabilité, et la résistance au cisaillement ont été soigneusement évaluées et analysées. Sur la base des résultats de cette étude, les conclusions suivantes ont été tirées:

- Tous les échantillons ont été analysés pour la granularité, mais l'expérience avec du sable contaminé n'a pas réussi parce que les échantillons ont montré une certaine cohésion entre les grains de sable.
- Dans l'essai la masse volumique absolue, les mesures pour les échantillons de sable contaminé ont pris un temps élevé, en fonction du degré de contamination, par rapport à celle du sable brut. Cela, est causé par la présence de l'huile qui engendre une cohésion entre les grains qui emprisonne l'air et empêche son échappement rapide.

- La contamination par le pétrole et l'huile usée à un effet bénéfique sur les propriétés physiques du sable à savoir la porosité, la compacité et l'indice des vides.
- En fonction du degré de contamination, le coefficient d'absorption d'eau diminue. La contamination par l'huile usée permet une forte réduction de l'absorption par rapport à la contamination par du pétrole. Les échantillons de sable contaminé par l'huile usée on a constaté, qu'au-delà de 2% de contamination, l'absorption est quasiment nulle.

Pour les autres objectifs, malheureusement on n'a pas pu les achevés à cause de la pandémie de corona virus covid-19 qui nous a troublé et par conséquent, nous recommandons la continuité de ce travail, comme suite :

- ✓ Mesure du coefficient de Perméabilité du sable contaminé ;
- ✓ Détermination des caractéristiques mécanique au cisaillement (à l'appareil de cisaillement directe ou triaxial);
- ✓ Etude du comportement mécanique de mortier et de béton à base de sable contaminé ;
- ✓ Etude de la durabilité de béton à base de sable contaminé.

Référence bibliographique

Références bibliographique

Administration américaine de l'information sur l'énergie, septembre 2015)

Ahad, RA & Ramzi, B 2000, 'Compressive And Tensile Strength Of Concrete Loaded And Soaked In Crude Oil'.

Aikman, M, Kantzas, A & Mirotchnik, K 2002, 'Experimental Work on the Behaviour of Synthetic Soils Contaminated with Light Hydrocarbon, and Subsequent Remediation Thereof', *Journal of Canadian Petroleum Technology*, vol. 41, no. 9.

Ajagbe, WO, Omokehinde, OS, Alade, GA & Agbede, OA 2012, 'Effect of crude oil impacted sand on compressive strength of concrete', *Construction and Building Materials*, vol. 26, no. 1, pp. 9-12

Ali, S, D, LH, JW, JD & Occapinti, J 1999, 'Novel filtration process removes dissolved organics from produced water and meets Federal oil and Grease guidelines', in *Produced Water Seminar: proceedings of the Produced Water Seminar* pp. 21-2.

Bansal, K & Caudle, D 1999, 'Interferences with Processing Production Water for Disposal', in *9th Produced Water Seminar, Houston, TX: proceedings of the 9th Produced Water Seminar, Houston, TX*.

Cook, E, Puri, V & Shin, E 1992, 'Geotechnical characteristics of crude oil contaminated sands', in *The Second International Offshore and Polar Engineering Conference: proceedings of the The Second International Offshore and Polar Engineering Conference International Society of Offshore and Polar Engineers*

Coduto, DP 2001, *Foundation design*, Prentice Hall.

Das, BM 2008, *Advanced soil mechanics*, Psychology Press.

Fakhrul-Razi, A, Pendashteh, A, Abdullah, LC, Biak, DRA, Madaeni, SS & Abidin, ZZ 2009, 'Review of technologies for oil and gas produced water treatment', *Journal of Hazardous Materials*, vol. 170, no. 2-3, pp. 530-51.

Fine, P, Graber, E & Yaron, B 1997, 'Soil interactions with petroleum hydrocarbons: abiotic processes', *Soil Technology*, vol. 10, no. 2, pp. 133-53.

Givi, AN, Rashid, SA, Aziz, FNA & Salleh, MAM 2010, 'Assessment of the effects of rice husk ash particle size on strength, water permeability and workability of binary blended concrete', *Construction and Building Materials*, vol. 24, no. 11, pp. 2145-50.

Grande, T & Barbosa, D 2003, 'Soil Decontamination by Supercritical Extraction', *Environmental, Agriculture and Food Chemistry Journal*, vol. 2, pp. 331-6.

Halliburton 2010a, Halliburton, Water management [online]. Available from, viewed 19/09, < <http://www.halliburton.com/ps/default.aspx?navid=1787&pageid=4051> >.

Hamad, BS & Rteil, AA 2003, 'Effect of used engine oil on structural behavior of reinforced concrete elements', *Construction and Building Materials*, vol. 17, no. 3, pp. 203-11.

Hamad, BS, Rteil, AA & El-Fadel, M 2003, 'Effect of used engine oil on properties of fresh and hardened concrete', *Construction and Building Materials*, vol. 17, no. 5, pp. 311-8.

Hassan, HF, Taha, R, Al Rawas, A, Al Shandoudi, B, Al Gheithi, K & Al Barami, AM 2005, 'Potential uses of petroleum-contaminated soil in highway construction', *Construction and Building Materials*, vol. 19, no. 8, pp. 646-52.

Head, KH & Epps, R 2010, *Manual of soil laboratory testing*, vol. 2, Pentech Press London.

Jia, Y, Wu, Q, Shang, H, Yang, ZN & Shan, H 2011, 'The influence of oil contamination on the geotechnical properties of coastal sediments in the Yellow River Delta, China', *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, vol. 70, no. 3, pp. 517-25.

Khosravi, E, Ghasemzadeh, H, Sabour, MR & Yazdani, H 2013, 'Geotechnical Properties of Gas Oil-Contaminated Kaolinite', *Engineering Geology*, vol. 166, pp. 11-6.

Klein, A & Sarsby, RW 2000, 'Problems in defining the geotechnical behaviour of wastewater sludges', *ASTM SPEC TECH PUBL*, no. 1374, pp. 74-87.

Luciani, G 1994, 'The oil rent, the fiscal crisis of the state and democratization', *Democracy without democrats*, pp. 130-55.

Mindess, S, Young, JF & Darwin, D 2003, *Concrete*.

Nudelman, N, Ríos, S & Katusich, O 2002, 'Organic co-solvent effect on the estimation of the equilibrium aqueous concentrations of oil residuals in Patagonian soil', *Environ Technol*, vol. 23, no. 9, pp. 961-70.

Osuji, L & Ezebuoro, P 2006, 'Hydrocarbon contamination of a typical mangrove floor in Niger Delta, Nigeria', *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 3, no. 3, pp. 313-20.

Puri, VK 2000, 'Geotechnical aspects of oil-contaminated sands', *Soil and Sediment Contamination*, vol. 9, no. 4, pp. 359-74.

Rahman, Z, Umar, H & Ahmed, N 2010, 'Geotechnical characteristics of oil contaminated granitic and metasedimentary soils', *Asian Journal, Applied Science*, vol. 3, pp. 273-49.

Rao, KM, Rao, VT & Babu, GR 2008, 'Interaction of clay soil with textile dye waste', *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*.

Riser, R 1998, *Remediation of petroleum contaminated soils: biological, physical & chemical processes*, United States: Lewis Publisher, Boca Raton, Florida.

Shakesby, R, Wallbrink, P, Doerr, S, English, P, Chafer, C, Humphreys, G, Blake, W & Tomkins, K 2007, 'Distinctiveness of wildfire effects on soil erosion in south-east Australian eucalypt forests assessed in a global context', *Forest Ecology and Management*, vol. 238, no. 1, pp. 347-64.

Sharma, HD & Reddy, KR 2004, *Geoenvironmental engineering: site remediation, waste containment, and emerging waste management technologies*, John Wiley & Sons, Inc.

Smith, I 2013, *Smith's elements of soil mechanics*, Wiley. com

Tuncan, A & Pamukcu, S 1992, 'Predicted mechanism of crude oil and marine clay interactions', *Proceedings of the Environmental Geotechnology*, May, pp. 25-7.

[2] C.J. Newell, S.D. Acree, R.R. Ross, S.G. Huling, "Light Nonaqueous Phase Liquids", *Ground Water Issue*, 1995.