

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

UNIVERSITE KASDI MERBAH DE OUARGLA

FACULTE DES SCIENCES APPLIQUEES
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL ET D'HYDRAULIQUE



Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master
Spécialité: Génie Civil
Option : E.C.B.R

Thème

*Caractérisation de la boue résiduelle de forages pétroliers
en vue d'une utilisation en construction routière
sahariennes.*

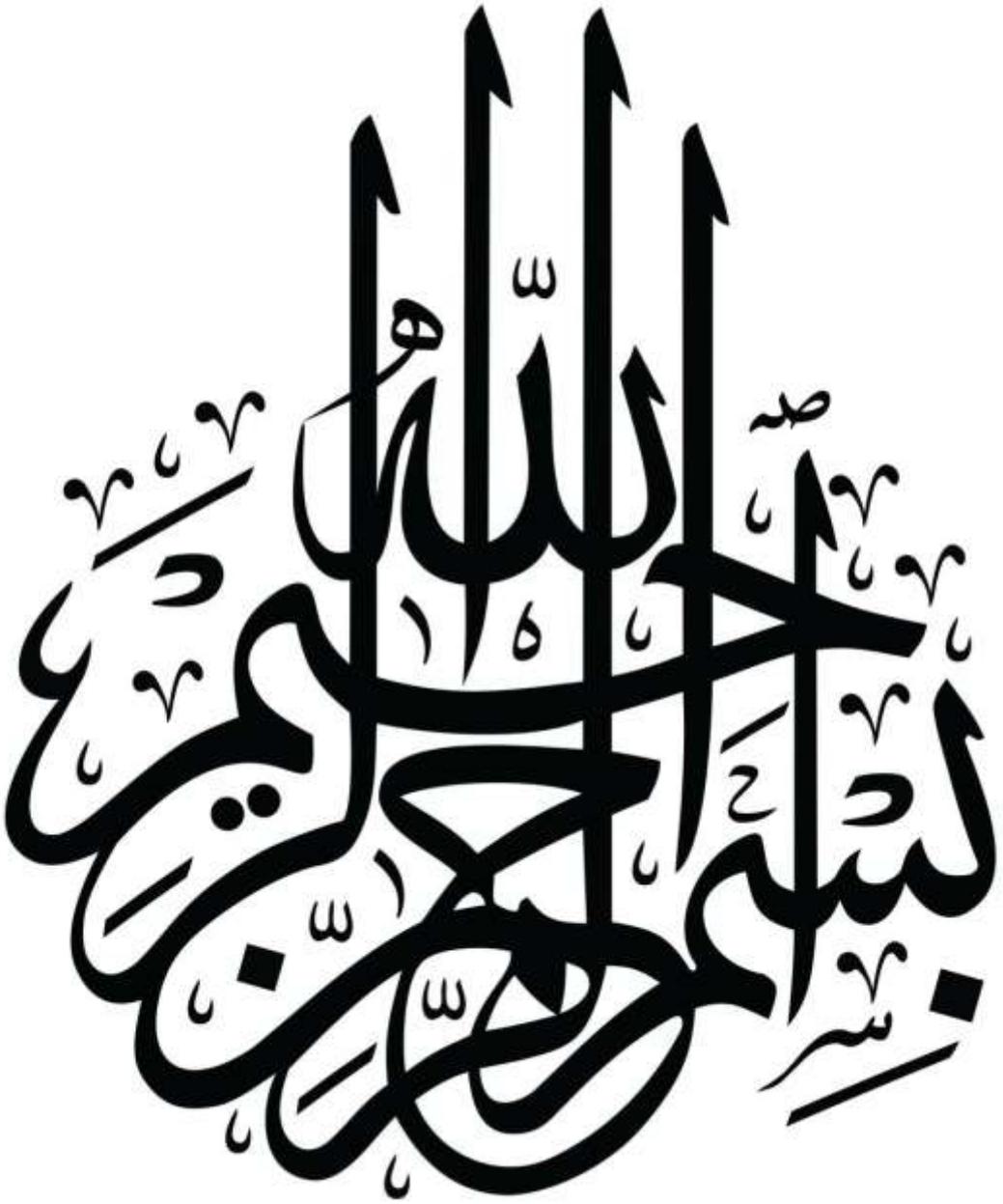
Présenté par :

- HADRI RABIE
- NADJMI MOHAMMED ABDELBARI

Soutenu publiquement devant le jury composé de :

Mr. BEN TATA AISSA	M.A « A »	Université d'Ouargla	Président
Mr. ZENKHRI ABDERREZAK	M.A « A »	Université d'Ouargla	Examineur
Mr. KHELLOU ABDERREZAK	M.C « B »	Université d'Ouargla	Encadreur
Mr. GHOULA BOUBEKEUR	Ing. Environnement	Sonatrach	Invité

Promotion 2019





Remerciements

*Avant tout,, nous tenons à remercier **Allah**, le clément et le miséricordieux de nous avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.*

Un très grand merci à :

*❁ Tout d'abord nous remercions chaleureusement **nos parents** respectives pour toute l'aide et soutien, moral et économique, qu'ils nous avons apporté tout au long de mes études .nous espérons être à la hauteur de leurs espérances et nous montrons dignes de leurs confiances et de leurs encouragements.*

*❁ Notre encadreur Monsieur **Khellou Abderrzak** pour son aide et ses encouragements pondant tout au long de cette recherche.*

*❁ Nous adressons mes remerciements chaleureusement **tous les professeurs** qui nous ont enseignés au cours des études primaires jusqu'aux années du cursus universitaire pour l'obtention du diplôme Master.*

*❁ Nous tenons à remercier plus particulièrement nos collègues du **groupe ECBR** et à tous **nos amis** avec qui nous avons gardé des souvenirs très agréables des bons moments vécus ensemble.*



Nous adressons nos remerciements toute personne ayant contribué de près ou de loin à achever ce travail.

*❁ Et bien sûr, merci à tous **les travailleurs de Universitaire Ouargla** et merci à toute l'équipe du laboratoire **LTPS Ouargla** .*

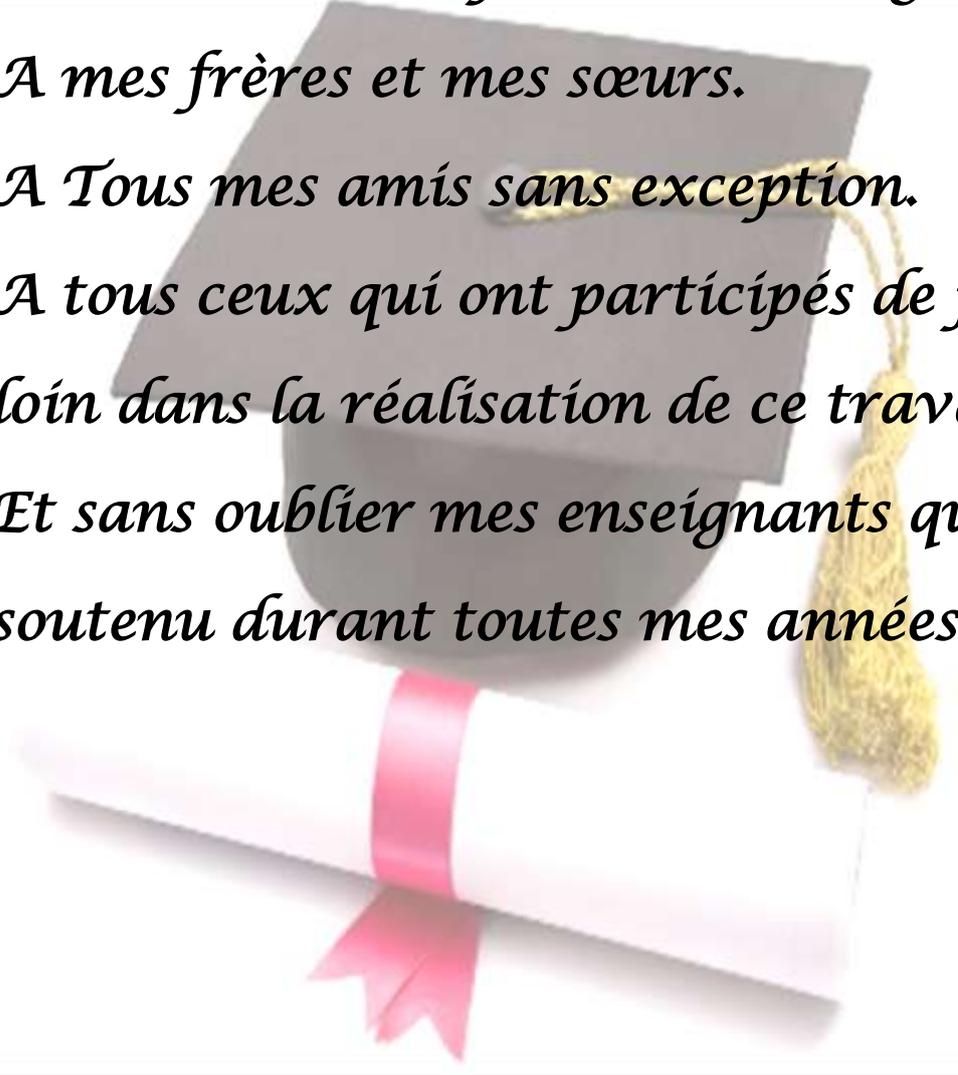
*❁ En fin, un dernier remerciement à toute la **promotion 2018-2019 de génie civil de l'université Kasdi Merbah. Ouargla**, tout en leurs souhaitons un avenir plein de réussite inch'Allah.*

MERCI



Dédicace

Je dédie ce mémoire à :

- ❁ A mes très chers parents et ma grand-mère.*
 - ❁ A mes frères et mes sœurs.*
 - ❁ A Tous mes amis sans exception.*
 - ❁ A tous ceux qui ont participés de près ou de loin dans la réalisation de ce travail.*
 - ❁ Et sans oublier mes enseignants qui m'ont soutenu durant toutes mes années d'études.*
- 

HADRI RABIE



الاهداء:

إلى من بلغ الرسالة وأدى الأمانة .. ونصح الأمة .. إلى نبي الرحمة ونور العالمين
(سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم)

إلى من كانا سبب في وجودي إلى من بفضلهما أبصرت نور الحياة وتنسمت عبير الأبوة
و عبق الحنان و إلى من علمني الخلق و الآداب ولم يبخل علي بشي ماديا كان
أو معنويا إلى أبي أطل الله في عمره.

إلى القلب الذي ينبض حبا.....حنانا.....وعطفا.

إلى من تحملت عبء الحياة.....واخفت الأم وراء الأمل.

إلى نور دربي..... وريحانة حياتي.

إلى أمي حفظها الله أطل في عمرها.

و إلى جميع اخوتي و أحبائي وكل من يعرف ناجمي محمد عبد البارئ دون استثناء.

والى كل من ساهم في توجيهي و ارشادي في مشاوري الدراسي من الابتدائي إلى الجامعة



ملخص :

هذا العمل هو جزء من سياق استرداد وإعادة تدوير النفايات الصناعية لاستخدامها في بناء الطرق. حيث يتمحور هذا العمل في إيجاد طريقة ناجعة للتخلص من كميات طين الحفر الناتج عن عمليات التنقيب عن النفط والتي عادة ما يتم الإلقاء بها في الطبيعة ، وهذا من خلال استخدامها كمواد بديلة في عمليات الردم ومختلف طبقات الأساس في الطرق الصحراوية. من خلال تجارب التوصيف الجيوتقني لطين الحفر لدينا يتضح أنه من المستحيل استخدامه مباشرة لضعف أدائه الميكانيكي. تكشف المعالجة بالروابط الهيدروليكية عن تحسن في مقاومة طين الحفر لقوى الضغط البسيط (R_c)، وقوة الشد غير المباشرة (R_{ti}) ، لكن حساسيته للماء تبقى العائق الرئيسي. الكلمات المفتاحية : النفايات الصناعية ، طين الحفر النفطي ، المعالجة ، إعادة التثمين ، بناء الطرق ، الضغط البسيط ، الشد.

Résumé :

Ce travail s'inscrit dans le contexte de la valorisation et du recyclage des déchets industriels en vue d'une utilisation en construction routière. Il consiste à contribuer à trouver une issue à la boue résiduelle de forges pétroliers , généralement déverser dans la nature, par son utilisation comme un matériau alternatif dans la réalisation des remblais et les différentes couches des chaussées sahariennes.

La caractérisation géotechnique de notre boue montre qu'il impossible d'utiliser seule vue la faiblesse de ses performances mécaniques. Son traitement aux liants hydrauliques dévoile une amélioration de sa résistance à la compression simple (R_c), et la résistance à la traction indirecte (R_{ti}) , mais sa sensibilité à l'eau reste l'inconvénient majeur.

Les mots clé : déchets industriels, boue de forages pétroliers, traitement, valorisation, construction, routière, compression simple, traction par fendage.

Abstract :

This work is part of the context of the recovery and recycling of industrial waste for use in road construction. It consists in helping to find a way out of the residual mud of oil-producing forges, generally pouring into nature, by its use as an alternative material in the realization of the embankments and the different layers of the Saharan roads.

The geotechnical characterization of our sludge shows that it is impossible to use alone the weakness of its mechanical performances. Its treatment with hydraulic binders reveals an improvement in its resistance to simple compression (R_c). and indirect tensile strength (R_{ti}), but its sensitivity to water remains the major drawback.

Key words: industrial waste, oil drilling mud, treatment, recovery, construction, road, simple

TABLEAU DES MATIERES

Introduction générale

Chapitre I: Forages pétroliers

I.1 Introduction:	1
I.2 Forage pétrolier :.....	1
I.3 La boue de forage :	2
I.4 Principe du circuit boue:.....	2
I.5 Composition chimique de la boue de forage:	3
I.6 types des boues ou fluides de forage :	5
I.6.1 Les boues à base d'eau – WBM (Water based muds) :	5
I.6.2 Les boues à base d'huiles – OBM (Oil based muds) :.....	5
I.6.3 Les fluides à base d'huiles synthétiques – SBM (Synthetic based muds) :.....	6
I.6.4 Les fluides de forage gazeux:.....	6
I.6.5 Cas particulier : Les fluides de forage HTHP:.....	6
I.7. Fonctions des boues de forage:.....	7
I.8 Plannings du management environnemental des boues de forage:	8
I.8.1 Réduction:	8
I.8.2 Recyclage :.....	8
I.8.3 Réutilisation:	9
I.8.4 Traitement:	9
I.9 Déblai de forage :.....	11
I.10 Bourbier :	12
I.10 valorisations de la boue résiduelle:.....	13
I.11 Conclusion :	14

Chapitre II: Caractérisation de la boue utilisée

II.1. Introduction:	15
II.2. Origine de la boue:	15

II.3. Masse volumique apparente (NF P 94-053) :.....	15
II.4. Masse volumique absolue (NFP 94-054) :.....	16
II.5. Analyse granulométrique des sols :.....	16
II.6. Valeur de bleu méthylène (NF P94-068) :	17
II.7. Limites d’Atterberg (NF P94-051):.....	18
II.7.1. Limite de liquidité WL :	19
II.7.2. Limite de plasticité WP :	20
II.7.3. Domaine de plasticité IP :.....	21
II.8. Analyse chimique :.....	22
II.9. Essai de compactage Proctor (N F P 94-093):	22
II.9.1. Essai Proctor Normale :.....	23
II.9.2. Essai Proctor modifié :.....	23
II.9.2. Essai CBR ([NF P 94-78) :	24
II.10. Résistance à la compression simple Rc:.....	26
II.11. Classification des matériaux selon GTR 92:	27
II.12 Produits de traitement :.....	28
II.12.1 Chaux :.....	28
II.12.2 Ciment :	29
II.13. Conclusion:.....	31

Chapitre III: Résultat et discussions

III.1. Introduction :.....	32
III.2. Traitement aux liants :.....	32
III.3. Résistance à la compression (Rc) de la boue traitée :	32
III.3.1. Préparation des éprouvettes :.....	33
III.3.2. Traitement à la chaux :	35
III.3.2. Traitement à la chaux :	35
III.3.3. Traitement au ciment :.....	36
III.3.4. Traitement mixte :.....	37
III.3.5. Comparaison entre les différents traitements :	39
III.4. Résistance à la traction indirecte :.....	39

III.4.1. Evolution de la résistance à la traction :.....	41
III.5. Sensibilité à l'eau:	43
III.6.Conclusion :	45

Conclusion générale

Bibliographie

Annexes

LISTE DES FIGURES

Chapitre I

Figure I- 1: Description schématique d'un appareil de forage.	2
Figure I- 2: Schéma de principe du circuit boue.	3
Figure I- 3 Hiérarchie d'actions pour le management	8
Figure I- 4: circulation du la boue de forage.	12

Chapitre II

Figure II- 1 : Courbe analyse granulométrique ;	17
Figure II- 2: calssifiactin de la boue selon la VBS;	18
Figure II- 3 : Essai de limite de liquidité ;	19
Figure II- 4 : abaque de la limite de liquidité ;	20
Figure II- 5 : Essai de limite de plasticité ;	20
Figure II- 6 : Diagramme de plasticité de Casagrande ;	21
Figure II- 7: Courbe d'essai Proctor normal ;	23
Figure II- 8: Courbe d'essai Proctor modifié ;	23
Figure II- 9: Courbe d'essai CBR immédiat	25
Figure II- 10: Courbe d'essai CBR après immersion ;	26
Figure II- 11: Critère de l'IPI pour la différente couche de la chaussée [NF P 98 115] ;	26
Figure II- 12 : Tableau synoptique de classification des matériaux	28

Chapitre III

Figure III- 1: Evolution de la Rc en fonction de l'âge pour les différents	35
Figure III-2: Evolution de la Rc en fonction du pourcentage de la chaux ajouté dans le mélange (bous+chaux) pour différents âges.	35
Figure III- 3: Evolution de la Rc en fonction de l'âge pour les différents	36

Figure III- 4: Evolution de la Rc en fonction du pourcentage du ciment ajouté dans le mélange (bous+ciment) pour différents âges.....	37
Figure III- 5: Evolution de Rc en fonction de l'âge pour les différents mélanges(boue+ciment+chaux)	38
Figure III- 6: Evolution de la Rc en fonction de différents pourcentage des liants ajoutée.....	38
Figure III- 7: Comparaison entre les Rc pour mélanges MBC6,MBCT6,MBM6.	39
Figure III-8 : Modes de chargement permettant de soumettre une éprouvette à une contrainte de traction.	40
Figure III- 9: Schéma du mode d'application de l'effort de compression.	40
Figure III- 10: Comparaison de la valeur Rt de deux mélanges (MBCT6 et MBM6).....	42
Figure III- 11: La résistance à la compression du MBC6 après 04 et 24 heures d'immersion dans l'eau comparé avec celle du MBC6 sans immersion.	44

LISTE DES PHOTOS

Chapitre I

Photo I- 1: bourbier conventionnel. 13

Chapitre II

Photo II- 1: la boue résiduelle de forage 15

Photo II-2 : moule d'essai la masse volumique apparente ; 15

Photo II- 3: Teste valeur de bleu méthylène ; 18

Photo II-4: Coupelle de Casagrande ; 19

Photo II- 5: appareille d'essai CBR; 24

Photo II- 6 Etat des éprouvettes sans traitement après 28 jours de conservation 24

Chapitre III

Photo III- 1: Les éprouvettes préparées pour l'essai de compression simple. 33

Photo III- 2: Moule et pistons des éprouvettes des essai de compression simple. 34

Photo III- 3: Les échantillons préparés pour l'essai de traction par fendage..... 41

Photo III- 4: Les échantillons préparés pour l'essai de compression.. 41

LISTE DES TABLEAU

Chapitre I

Tableau I- 1: Types des fluides de forage HTHP.....	7
---	---

Chapitre II

Tableau II-1: les résultats de la masse volumique apparente et absolue.....	16
Tableau II- 2: Résultats des limites d'Atterberg	21
Tableau II- 3: Analyse chimique.....	22
Tableau II-4: paramètres de Proctor.....	25
Tableau II- 5: les paramètres.....	27
Tableau II- 6: Fiche technique des Propriétés physiques et chimiques	29
Tableau II- 7: Composition chimique du ciment CPJ CEM II/A 42.5 R.....	30
Tableau II- 8: Composition minéralogique de ciment CPJ CEM II/A 42.5 R.....	31

Chapitre III

Tableau III- 1: Different mélanges adoptés.	33
Tableau III- 2: Different mélanges adoptés.	42
Tableau III- 3: Résultats d'essai de compression après immersion.....	44

Introduction Générale

La construction des routes souvent consomme des quantités faramineuses des matériaux. La disponibilité de ces derniers, en qualité et en quantité, à proximité des projets n'est pas toujours assurée et l'apport des matériaux de qualité à partir des lieux lointains n'est pas rentable de point de vue économique. Donc, le recours au recyclage ou au traitement aux liants hydrauliques certains déchets et matériaux non conventionnels semble la solution unique pour surmonter ce problème à condition que ceci satisfasse les exigences mécaniques et environnementales décrétées par les normes.

La région de Hassi Messouad est considérée comme le pôle de l'industrie pétrolière le plus important de l'Algérie. Pendant, les opérations de forage, d'exploitation des unités de production et de raffinage, une quantité importante de déchets industriels solides et liquides sont générée. Parmi ces déchets, nous trouvons **la boue de forages au terme de son cycle de vie**.

La boue résiduelle, en fin du cycle de vie, de forges pétroliers, qui renferme des déblais, arrachés par l'outil lors d'un forage et entachés d'hydrocarbures et des métaux lourds est transférée vers des bourbiers en attendant son traitement afin de réduire son impacts désastreux sur l'environnement.

Dans le contexte de recyclage et de valorisation des déchets industriels en vue de les utiliser en technique routière saharienne, cette étude vient à contribuer à trouver une issue à cette boue, généralement déverser dans la nature, par son utilisation comme un matériau alternatif dans la réalisation des remblais et les différentes couches des assises des chaussées sahariennes.

Notre travail consiste, dans premier temps, de faire une caractérisation géotechnique sur la base des essais adoptés par les laboratoires de travaux publics Algériens, suivi par un traitement aux liants hydrauliques dans but d'améliorer les performances mécaniques de la boue.

Ce manuscrit comporte trois chapitres :

- le premier chapitre donne un aperçu général sur les forages pétrolier ainsi que les boues de forages et leurs rôles
- le deuxième chapitre est focalisé sur tout ce qui est caractérisation géotechnique, à

- savoir : la granulométrie, limites d'Attreberg. portance...
- le dernier chapitre aborde le traitement de la boue aux liants hydrauliques (chaux et ciment .

Enfin, sur la base des résultats obtenus, une conclusion générale est dressée et des perspectives sont données.

Chapitre I :

Forages pétroliers

I.1 Introduction:

Durant l'opération du forage d'un puits pétrolier, les techniciens injectent en permanence des boues (ou fluides) de forages pour des raisons multiples. La réussite de l'opération est liée étroitement au choix de la bonne composition de ces boues. L'établissement d'une composition est dépend essentiellement de la nature de la formation traversée, de l'architecture du puits, des objectifs de sondage et des contraintes environnementales et économiques.

Boues de forage en fin de cycle de vie (boues résiduelles) sont évacuées vers des bourbiers creusés sous forme de cuvette dans le sol. Cette action est l'origine de multiples conséquences néfastes sur l'environnement et la population.

Dans ce chapitre, nous allons donner quelques notions élémentaires sur les forages pétroliers et les types de boues de forages ainsi que leur composition.

I.2 Forage pétrolier :

On appelle forage pétrolier, l'ensemble des opérations permettant d'atteindre les roches poreuses et perméables du sous-sol (Figure I.1), susceptibles de contenir des hydrocarbures liquides ou gazeux. L'implantation d'un forage pétrolier est décidée à la suite des études géologiques et géophysiques effectuées sur un bassin sédimentaire.

Celles-ci nous permettent de nous faire une idée de la constitution du sous-sol et des possibilités de gisements, sans pour autant préciser la présence d'hydrocarbures. Celle de l'opération de forage proprement dite confirme alors les hypothèses faites et met en évidence la nature des fluides contenus dans les roches. [1]

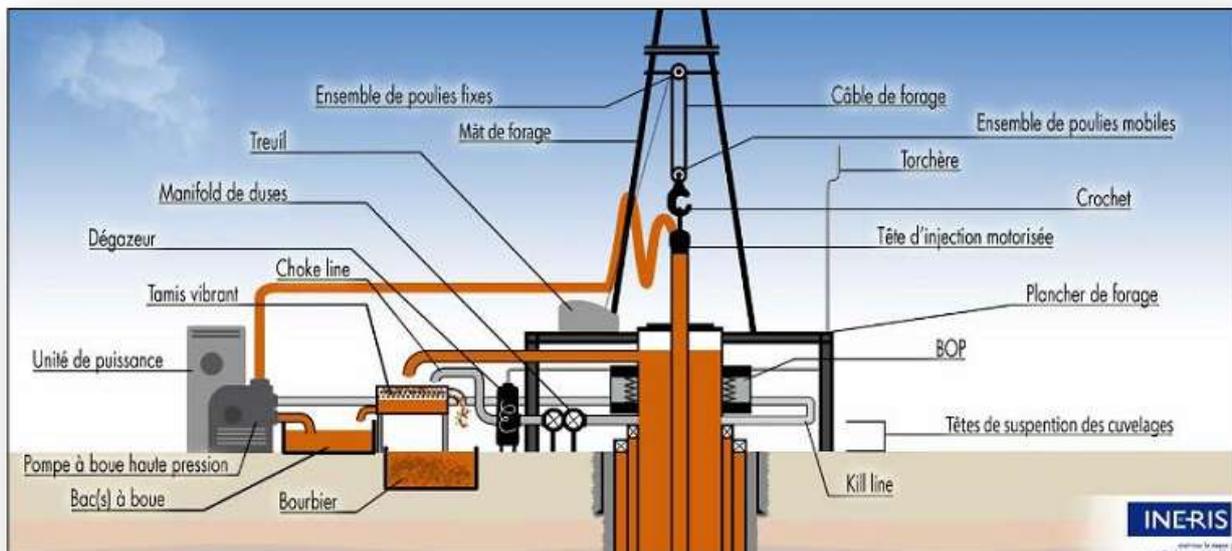


Figure I- 1: Description schématique d'un appareil de forage.

I.3 La boue de forage :

Un fluide de forage appelé aussi boue de forage est un mélange de matières, constitué d'une phase liquide (eau, huile) ou gazeuse (air), en plus de divers additifs chimiques (liquides, suspensions), dont les proportions sont ajustées selon la géologie du sous-sol, et qui peuvent varier selon les performances de l'opération de forage. [2]

Le fluide de forage utilisé dans les opérations de forages pétroliers ou gaziers doit répondre à plusieurs fonctions tel qu'il assure le bon déroulement du forage, ou ne compromettent pas le potentiel de production du gisement.

I.4 Principe du circuit boue:

Le principe de forage utilisé est le forage rotary qui consiste à entrainer un outil en rotation de manière à broyer ou à découper les terrains situés devant de lui, tout en injectant en continu un fluide de forage de façon à évacuer les déblais de roche hors du trou .

L'outil de forage ou trépan, est relié à la surface par un ensemble d'éléments tubulaires vissés les uns aux autres appelé garniture de forages. Le fluide de forage est pompé en surface à l'intérieur de la garniture, circule jusqu'à l'outil puis remonte à l'extérieur des tiges, par l'annulaire, en évacuant ainsi les déblais de roche (cuttings) vers la surface.

Lorsque le fluide de forage remonte en surface, celui-ci est débarrassé de ses déblais par des équipements en série (tamis vibrants, des sableurs, centrifugeuse) visant à éliminer les particules solides de plus en plus fines. La boue est ensuite circulée dans des bacs puis réinjectée dans la garniture par l'intermédiaire de pompes haute pression (Figure I.2). Les déblais sont quant à eux récupérés dans des bourbiers et analysés en continu par le géologue, constituant des éléments essentiels du suivi technique de l'avancement du forage. Les déblais de forage sont ensuite envoyés vers un centre de traitement adapté. [3]

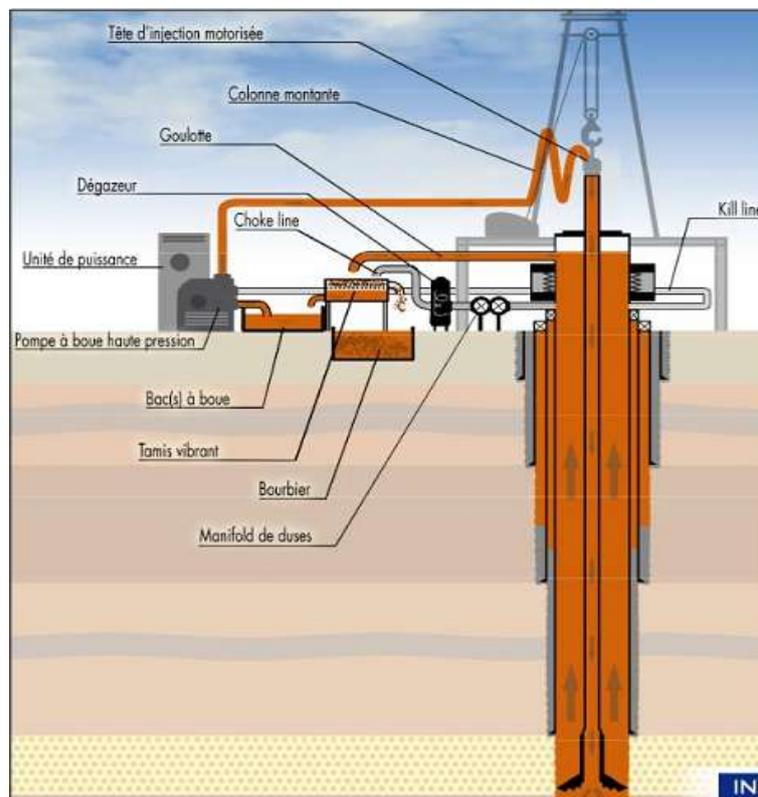


Figure I- 2:Schéma de principe du circuit boue.

I.5 Composition chimique de la boue de forage:

Dans leur composition, les boues utilisées pour le forage de différents types à savoir exploration, développement, work over etc. contiennent plusieurs substances chimiques qui sont connus pour le risque qu'elles présentent pour la pollution et l'endommagement des sols et les sous-sols. L'impact de ces fluides de forage est appréhendé par l'étude des processus d'endommagement des sols et les sous-sols par la filtration et le rejet de ces derniers.

Pour la boue à base d'eau, la phase continue n'est que cette eau justement, éventuellement chargée en NaCl. Elles sont généralement utilisées pour forer les sections supérieures d'un puits.

Pendant le forage, les matériaux des formations traversés s'incorporent dans la boue et peuvent ainsi changer sa composition et ses propriétés.

Elles se présentent essentiellement comme des boues douces dont la teneur en Na Cl ne dépasse pas quelques g/l. Ces boues douces dites « bentonitiques » sont principalement constituées par une suspension colloïdale d'argiles, plus précisément de la bentonite sodique dans l'eau. La concentration en bentonite varie généralement de 30 à 70 g/l selon le rendement de la bentonite et les caractéristiques de la boue désirées. Cependant, occasionnellement, des traitements supplémentaires pourront être faits avec des phosphates. Les boues salées dont la teneur en Na Cl peut être comprise entre quelques dizaines de g/l et la saturation. Ces boues sont utilisées pour la traversée des zones salifères pour éviter le cavage et elles sont constituées d'eau, de sel (généralement Na Cl), de colloïdes minéraux (attapulgite ou sépiolite), de colloïdes organiques (amidon), d'un fluidifiant minéral ou organique (chaux, soude).

La boue à l'huile quant à elle est utilisée pour la phase de complétion ou de reprise des puits producteurs et est composée principalement continue d'huile et une autre dispersée aqueuse, représentant quelques pour cent en volume seulement. Cela par opposition aux boues à émulsion inverse qui elles, peuvent avoir une phase aqueuse dispersée dépassant 50 % en volume. L'huile de base constitue la phase liquide continue dans laquelle les autres constituants sont émulsionnés ou mis en suspension. Selon les contraintes de sécurité et environnementales, on utilise des huiles de différentes compositions allant de l'huile diesel à l'huile minérale dés aromatisée.

A ces phases principales sont ajoutés des additifs chimiques en fonction des objectifs visés :

- Les stabilisateurs d'émulsion pour stabiliser l'émulsion eau-huile. Ils entrent dans la composition de la plupart des boues à l'huile. Leur mode de fonctionnement a été décrit plus haut précédent. Ils diffèrent selon le type de boue mis en œuvre et le pourcentage d'eau.
- Les réducteurs de filtrat, principalement des asphaltes ou lorsque les dérivés asphaltiques sont interdits, de la gilsonite, agissant comme support de cake.
- Les fluidifiants dont le but est de réduire la viscosité de la boue. Le premier et le plus simple est l'huile.
- L'alourdisant utilisé comme pour les boues à base d'eau, carbonate de calcium pour les faibles alourdissements, le sulfate de baryum pour les densités élevées, l'hématite pour les densités très élevées.

- Les Produits spécifiques comme la chaux, des viscosifiants pour faibles taux de cisaillement, etc. . [4]

Chaque type de boue fait appel à des additifs différents, il est difficile de définir clairement un mode général de fabrication, d'entretien, et de traitement . [5]

I.6 types des boues ou fluides de forage :

La composition des fluides de forage est passée d'un simple mélange d'eau et d'argile vers des combinaisons de plusieurs éléments, ayant une formulation adaptée pour chaque forage. [2]

Ces combinaisons associent l'eau, les huiles, et une multitude d'additifs avec à chacun une fonction bien précise .

En général, les boues de forage sont identifiés par les classes suivantes :

WBM, OBM, SBM , boues de forage gazeux, fluides de forage HTHP.

I.6.1 Les boues à base d'eau – WBM (Water based muds) :

Ces fluides sont composés d'un mélange d'eau (eau douce, eau de mer, eau saumâtre) et d'argile (bentonite), en plus d'autres additifs. Ils sont généralement employés pendant les premières étapes du forage.

Exemple d'une formulation de WBM :

76% d'eau, 14% de barite (alourdissant), 6% d'argile, 4% d'additifs.

I.6.2 Les boues à base d'huiles – OBM (Oil based muds) :

Ces fluides sont constitués d'une phase continue qui peut être une huile minérale ou organique (gazole), et d'une phase dispersée qui est l'eau. Si l'eau se trouve avec une concentration de moins de 5%, le système (le fluide de forage) est dit fluide à base d'huile, sinon le système est dit fluide émulsionné inverse.

Les OBM sont utilisés lorsque le forage atteint certaines profondeurs où les WBM n'affichent pas d'excellentes performances.

Exemple d'une formulation d'OBM :

46% d'huile, 33% de barite, 18% d'eau saumâtre, 2% d'émulsifiant, 1% de gélifiant.

I.6.3 Les fluides à base d'huiles synthétiques – SBM (Synthetic based muds) :

A cause de la présence de substances toxiques (tel que les hydrocarbures aromatiques polycycliques ‘‘HAP’’) dans les OBM, et en raison de certaines restrictions visant à garantir la protection de l'environnement, une nouvelle gamme de fluide à base d'huiles synthétiques «SBM» a été conçue.

La formulation des SBM est presque la même que celle des OBM. Ils sont caractérisés par une phase continue composée des matières synthétiques (esters, éthers, paraffines et oléfines) ou d'huiles végétales, en plus d'autres additifs (émulsifiant, mouillant, viscosifiant, etc.).

Les SBM sont largement employés dans les forages, en raison de leur excellente biodégradabilité, et de leur faible toxicité.

I.6.4 Les fluides de forage gazeux:

Ces fluides sont constitués d'une phase continue (air, mousse, boue aérée) mélangée avec de l'eau . Leurs utilisations est indispensable dans le cas où différents problèmes aient lieu pendant le forage, par exemple :

- **Les fluides à base d'air :** Utilisés pour éviter des problèmes de perte de boues lors de leur circulation, ou dans le forage de formations sous pression, ainsi que du fait qu'ils soient légers.
- **Les fluides à base de mousse :** Dans le cas où les formations à forées sont fracturées, ou quand le forage à l'air est impossible du fait des faibles pressions développées par ce dernier.

I.6.5 Cas particulier : Les fluides de forage HTHP:

Cette gamme de fluides est employée lorsque les puits à forées se trouvent dans des profondeurs caractérisées par des conditions extrêmes en pression et en température, d'où l'appellation fluides de forage HTHP. Dans ce contexte si particulier, les gisements d'hydrocarbures sont localisés dans des formations géologiques identifiées par une pression et une température qui dépassent les 1034 bars et 177°C . [6]

Jusqu'à présent, trois gammes de fluides HTHP sont recensées, ils sont représentés dans le tableau suivant en fonction de la température et de la pression du gisement [7]

Tableau I- 1: Types des fluides de forage HTHP.

Fluides HTHP	Température (°C)	Pression (bars)
HTHP standard	177 - 204	1034 – 1378
Ultra HTHP	204 - 260	1378 – 2068
Extreme HTHP	> 260	> 2068

I.7. Fonctions des boues de forage:

L'utilisation des boues de forage assure le bon fonctionnement d'une opération de forage, en vue de l'extraction du pétrole ou du gaz. Leurs fonctions sont multiples et répondent à des besoins précis. Leur utilisation a pour objectifs d'assurer plusieurs fonctions lesquels :

- Le refroidissement et la lubrification de l'ensemble des outils employés dans le forage (le train de tiges, le trépan), jusqu'à réduire efficacement leur échauffement . [8]
- Le nettoyage du puits par l'évacuation de la fraction solide (cuttings), depuis le fond vers la surface, ainsi que le maintien de la fraction solide en suspension dans le cas où le processus est momentanément suspendu, par exemple pendant l'ajout ou le remplacement d'une tige . [9]
- La consolidation des parois du puits, en exerçant une contre-pression, celle-ci ne doit pas dépasser la pression du gisement, afin d'éviter la fissuration des formations rocheuses. [10]
- La réduction de la perméabilité des parois par la formation d'un gâteau (cake), afin d'empêcher toute possibilité de fuite du fluide de forage, ou de pénétration d'autres substances venant des formations rocheuses. [9]
- L'apport d'informations sur la géologie des couches souterraines par l'analyse des particules solides (cuttings) remontées par le fluide de forage, ainsi que par l'évolution de ses caractéristiques physico-chimiques durant le forage. [8]

I.8 Plannings du management environnemental des boues de forage:

Les modèles de management qui ont été développés par les compagnies pétrolières suivent généralement la procédure suivante, où les actions mises en œuvre pour le management des boues, sont organisées en hiérarchie comme le montre la figure suivante [11]:

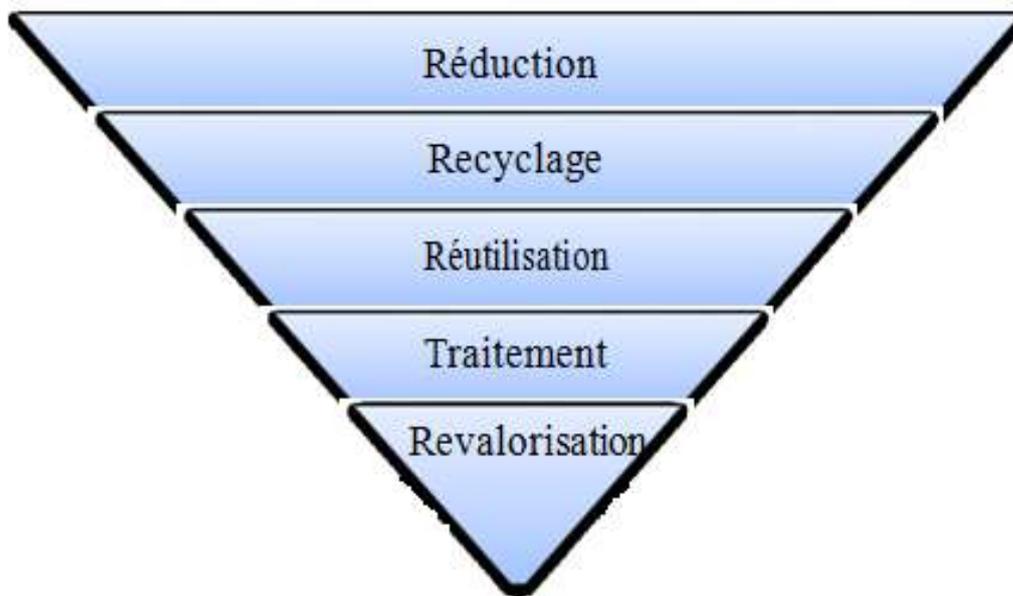


Figure I- 3 Hiérarchie d'actions pour le management environnemental des boues de forage.

I.8.1 Réduction:

Cette mesure signifie la minimisation, voir la réduction des quantités de boues produites en aval du process de forage, par le recours à certains type de forage tels que les forages directionnels, ainsi que la diminution de leurs impacts sur l'environnement par la formulation de nouveaux systèmes de fluides de forage plus respectueux de l'environnement.

I.8.2 Recyclage :

Dans la majeure partie des cas, le recyclage des fluides de forage, ainsi que la réutilisation de la fraction solide des boues de forage demeurent souhaitables pour des raisons économiques.

Le recyclage des fluides de forage s'effectue par la récupération des quantités de fluides recueillies à travers différents systèmes disponibles sur les plateformes de forage, de manière à les réinjecter dans le processus de forage.

I.8.3 Réutilisation:

En ce qui concerne la réutilisation des fractions solides, diverses expérimentations ont été menées en Grande Bretagne, pour l'emploi de ses fractions comme combustible dans les centrales à charbon.

I.8.4 Traitement:

Si le cadre légal en matière de gestion d'effluents exige le traitement des boues de forage, diverses séries de traitements peuvent être appliqués, comme les traitements physico- chimiques, biologiques ou thermiques.

a- Traitement physico- chimique (stabilisation/solidification) :

La stabilisation/solidification est couramment appliquée au traitement des rejets avec une bonne efficacité. Ce processus de stabilisation (ou d'inertage) des résidus pétroliers est défini comme la fixation des contaminants par un liant hydraulique, tout en respectant les critères physico-chimiques, hydrauliques et mécaniques du milieu. La solidification des déchets consiste en l'élaboration d'une masse solide ayant une intégrité structurale suffisante pour permettre le transport ou le stockage sans recourir à un contenant. On peut par exemple utiliser de l'argile, du béton ou des cendres.

Cette technique transforme un produit liquide ou semi-liquide, susceptible de se répandre, en un solide plus sûr et plus pratique pour le transport et le stockage. La nature et le type de composés utilisés dépendent des contraintes techniques, environnementales et économiques.

Les systèmes industriels les plus utilisés sont basés sur l'utilisation de la chaux, du ciment, de silicates, d'argiles, de pouzzolane ou de matériaux thermoplastiques qui isolent et immobilisent les contaminants dans le matériau.

Le but est d'améliorer les caractéristiques physiques pour la manipulation des déchets, de réduire la surface effective pour le transfert des substances polluantes hors du déchet, de restreindre le déplacement des fluides à travers le volume de déchets et de réduire la solubilité des contaminants fixés dans la matrice. Toutefois, il est à noter que l'utilisation de la solidification consiste en un transfert et une réduction de la pollution et non en son élimination.

Sur les chantiers algériens, il existe des procédés durant le forage, "on line", et après

forage, "off line", mais le principe reste le même. Le procédé de stabilisation commence par la réduction et la récupération de l'huile libre dans les boues pour diminuer le temps de traitement, réduire le volume à traiter et par là même la consommation de produits et les coûts.

On utilise pour cela une centrifugeuse. On mélange la boue restante pour l'homogénéiser et on ajoute les agents de stabilisation. Les matériaux ainsi inertés sont acheminés vers leur lieu de dépôt après un contrôle de qualité vérifiant la bonne homogénéité des agents de stabilisation dans la matrice. [2].

b- Traitement thermique

Afin de répondre aux normes environnementales, ce type de traitement a été introduit en Algérie malgré son coût trois fois plus élevé que celui de l'inertage. Il s'agit d'un processus utilisant une source de chaleur qui sépare les hydrocarbures de l'eau contenue dans les déblais de forage et le sol contaminé.

Ce type de traitement présente l'avantage de fournir une huile résiduelle dont la teneur dans le solide est inférieure à 1mg/kg de déblais. De plus, l'huile ainsi récupérée peut être réutilisée.

Cependant, plusieurs travaux ont montré la possibilité de diffusion dans l'air et d'accumulation des métaux lourds après combustion. Ces métaux lourds peuvent être initialement présents dans les solides des formations forées [12]. Les métaux lourds représentent un danger pour la santé humaine lorsqu'ils se trouvent dans l'atmosphère ou à l'état d'éléments traces dans la croûte terrestre. Ils s'accumulent dans les milieux, entrent dans la chaîne alimentaire par l'eau ou les sols et atteignent l'homme par ingestion. Le Centre International de la Recherche sur le Cancer répertorie l'arsenic, le cadmium et le nickel comme composés à propriétés cancérigènes, et le plomb parmi les composés à propriétés potentiellement cancérigènes.

c- Traitement biologique:

Dans un environnement favorable, tous les composés organiques sont dégradables [13].

Le traitement biologique repose sur le principe de la dégradation d'un hydrocarbure brut par des micro-organismes. Ceux-ci sont capables de dégrader certains constituants des pétroles, mais les taux de décomposition dans les écosystèmes naturels sont encore très mal connus.

Ces dernières années, la recherche de micro-organismes utilisant des hydrocarbures s'est considérablement amplifiée avec plus ou moins de succès.

Le traitement biologique offre une bonne combinaison entre les aspects économiques et la protection de l'environnement. Ce traitement aide à la réduction du coût global du forage. Il englobe le traitement par les micro-organismes in situ ou ex situ, la phytoremédiation et le traitement en bioréacteur. La phytoremédiation consiste en l'emploi de plantes pour le traitement des sols contaminés par les métaux lourds et les hydrocarbures. Cette technique présente beaucoup d'avantages, à savoir le faible coût de traitement et la faible production de déchets et d'effluents, mais a l'inconvénient du risque de contamination de la chaîne alimentaire en plus de la longue durée du traitement (plusieurs mois, voire, dans certain cas, plusieurs années) [14].

La bioremédiation des sols pollués par les hydrocarbures reste un moyen très efficace.

C'est un procédé destructif qui évite donc le transfert de pollution et se situe parmi les traitements les plus rentables. Il n'est applicable que pour les composés biodégradables, non inhibiteurs et non toxiques, car certains métabolites peuvent être plus dangereux (pour l'homme et les microorganismes) et parfois plus stables que le contaminant de départ.

Le traitement biologique par les micro-organismes s'attache à favoriser et à stimuler les processus de biodégradation qui interviennent déjà naturellement dans les sols et aquifères, sans intervention humaine (atténuation naturelle) pour réduire les teneurs en contaminants ainsi que leurs toxicités. Cette stimulation va consister à fournir au milieu, et plus spécifiquement aux micro-organismes présents, les éléments facilitant la biodégradation, l'oxygène essentiellement puisque, dans la majeure partie des cas, la biodégradation est aérobie, et les nutriments minéraux, azote et phosphore, apportés sous forme de sels en solution lorsque ceux-ci sont en trop faibles quantités. [15]

I.9 Déblai de forage :

Les déblais de forage sont les débris de roches arrachés par l'outil lors d'un forage. La nature géologique de ces débris, leur taille, leur forme, leur couleur, leur porosité, leur contenu en fluides (eau, hydrocarbures, autres gaz) fournissent des informations précieuses sur les roches forées. A l'aide d'une boue (fluide) de forage spéciale, ils sont remontés en surface au fur et à mesure de leur production et de la manière la plus fluide possible. La vitesse de la boue doit être adaptée à la nature de la roche forée et des déchets à remonter en surface. [16]

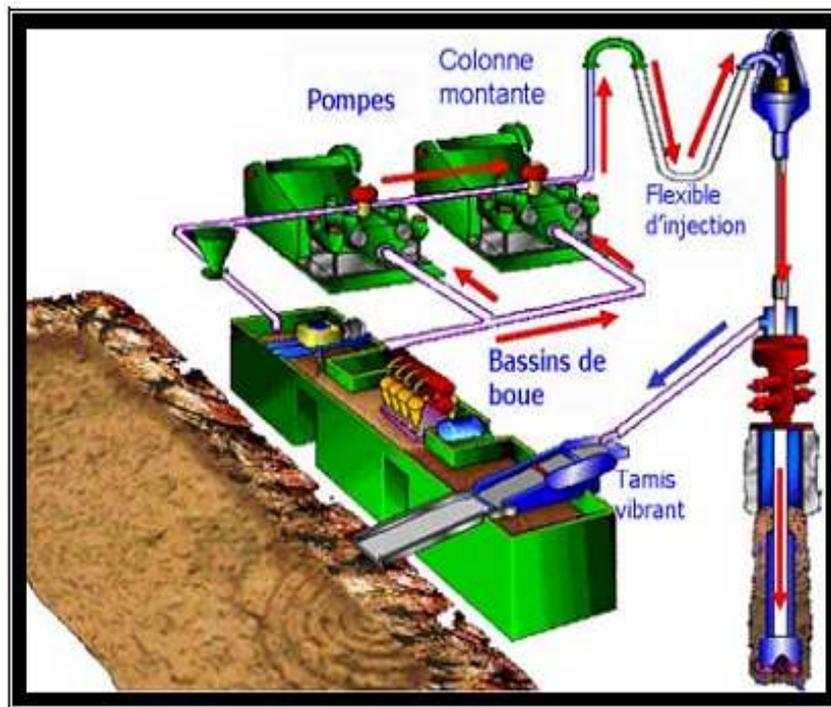


Figure I- 4: circulation du la boue de forage.

I.10 Bourbier :

Le bourbier est une fosse septique sans toit qui est étanché par un plastique (liner) imperméable qui joue le rôle d'une plateforme pour le bourbier, cette architecture qui est inadéquate à cause de la possibilité de pénétration des métaux lourds au sol d'une part et avoir des vapeurs des hydrocarbures voisinage du sol d'autre part. [17]

Dans le domaine de l'exploitation pétrolière, une panoplie des produits chimiques est employée dans la formulation des boues de forage. Ces composés de natures différentes et dont la toxicité et la biodégradabilité sont des paramètres mal définis, sont cependant déversés dans la nature. En plus des hydrocarbures (HC, tels que le gazole) constituant majeure des boues à base d'huile, on note les déversements accidentels du pétrole, ainsi que d'une variété d'autres produits et additifs spéciaux (tensioactifs, polymères, ..) qui peuvent exister sur les sites de forage. Ces rejets sont généralement stockés dans les bourbiers . [18]



Photo I- 1: borbier conventionnel.

I.10 valorisations de la boue résiduelle:

Plusieurs voies de valorisation peuvent être envisagées en ce qui la boue résiduelle contenant les déblais de forage déblai, à titre d'exemple :

- les résidus solides peuvent être exploités comme des matières premières dans le secteur de la construction, ou pour le terrassement des routes, ou comme substrats pour la réhabilitation des sols.
- L'incorporation de la boue dans la composition du clinker étant considérée comme efficace et n'affectant pas la qualité du ciment, dont plusieurs travaux de recherche allant dans ce sens ont été entamés.
- l'utilisation pour l'assèchement des marais ou même leur utilisation comme combustible.

I.11 Conclusion :

La boue de forage est un mélange de matières, constitué d'une phase liquide ou gazeuse, en plus de divers additifs chimiques. Elle à plusieurs fonctions dont les principales sont le refroidissement outils de forage et l'évacuation des déblais de forge depuis le fond vers la surface.

Boue de forage en fin de cycle de vie (boues résiduelles) est transférée vers des bourbiers. Elle génère des conséquences néfastes sur l'environnement lorsqu' elle reste sans traitement. Donc ,son valorisation et inertage de ses substances toxique s'avère nécessaire afin de réduire sar dangerosité .

L'utilisation de cette boue résiduelle en construction routière semble une voie intéressante et mérite d'être étudiier.

Chapitre II :

Caractérisation de la boue utilisée

II.1. Introduction:

Avant toute étude expérimentale, il est impérativement d'effectuer une identification des matériaux utilisés. De ce fait, ce chapitre a comme principal objectif la détermination certaines propriétés physiques et mécaniques de la boue résiduelle des forages pétroliers l'objet d'étude sur la base des essais pratiqués dans les laboratoires des travaux publics Algériens en essayant à la fin de la classifiez selon le GTR.

II.2. Origine de la boue:

La boue utilisée dans cette étude (photo II- 1) extrait d'un bourbier situé dans la région de Hassi Massoud, Sud Est da L'Algérie.



Photo II- 1: la boue résiduelle de forage

II.3. Masse volumique apparente (NF P 94-053) :

C'est la masse d'un corps par unité de volume apparent en état naturel (Photo II.2), après passage à l'étuve à 105 ± 5 °C, notée γ_{ap} et exprimée en (g/cm³, kg/m³ ou T/m³).

L'essai de détermination de la masse volumique apparente permet d'obtenir une $\gamma_{ap} = 1.31 \text{ g/cm}^3$.



Photo II- 2: Essai la masse volumique apparente. 15

II.4. Masse volumique absolue (NFP 94-054) :

C'est la masse d'un corps par unité de volume absolu de matière pleine (volume de matière seule, pores à l'intérieur des grains exclus), après passage à l'étuve à 105°C, notée γ_s et exprimée en (g/cm³, kg/m³ ou T/m³).

$$\gamma_s = \frac{M}{V_s}$$

- γ_s : La masse volumique absolue (g/cm³)
- M : La masse de l'échantillon (g)
- V_s : Le volume absolu de l'échantillon (cm³)

Pour notre boue, nous avons obtenu une Masse volumique absolue $\gamma_s = 1.75 \text{ g/cm}^3$

Les résultats de la masse volumique se résument dans le tableau suivant :

Tableau II-1: les résultats de la masse volumique apparente et absolue

matériau	γ_{ap} (g/cm ³)	γ_s (g/cm ³)
La boue de forage	1.31	1.75

Si on fait une comparaison, à titre indicatif, des masses volumiques de la boue avec celles de sable de dunes, qui souvent entoure de 2.5 pour γ_{ap} et 1.6 pour γ_s . Donc, Nous pouvons dire que la boue est relativement légère par rapport au sable de dunes.

II.5. Analyse granulométrique des sols :

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon. C'est un essai très utile pour la classification des sols.

Deux types d'essai sont envisagés selon le type de sol :

- **Méthodes d'analyse granulométrique par tamisage à sec après lavage** (NF P94-056). pour les éléments de grains aux diamètres supérieurs à 80µm.
- **Méthodes d'analyse sédimentométrique** (NF P94-057). pour les éléments de diamètres inférieurs au 80µm .



Photo II- 3: Teste valeur de bleu méthylène ;

Pour notre boue, nous avons obtenus une VBS de **0,92**.

Si on classe la boue selon la valeur VBS seule , le matériau est placé dans la catégorie des sols limoneux (figure II-2)



Figure II- 2: Classification de la boue selon la VBS;

II.7. Limites d'Atterberg (NF P94-051):

La consistance d'un sol fin varie avec sa teneur en eau, la limite de liquidité W_L est la teneur en eau pondérale qui sépare l'état liquide de l'état plastique. La limite de plasticité W_P est la teneur en eau pondérale qui sépare l'état plastique de l'état solide.



Photo II-4: Coupelle de Casagrande ;

II.7.1. Limite de liquidité WL :

La limite de liquidité W_L est la teneur en eau (exprimée en %) qui correspond à une fermeture de 10 mm en 25 coups appliqués à une vitesse normalisée.

La limite de liquidité est déterminée, en étendant une couche d'argile sur une coupelle normalisée (Figure II.3.a). On trace dans cette couche d'argile une rainure de 12 mm au moyen d'un outil en V (normalisé) (Figure II.3.b). Des chocs répétitifs sont imprimés à la coupelle et on compte le nombre de chocs nécessaires pour refermer la rainure sur 1 cm (Figure II.3.c).

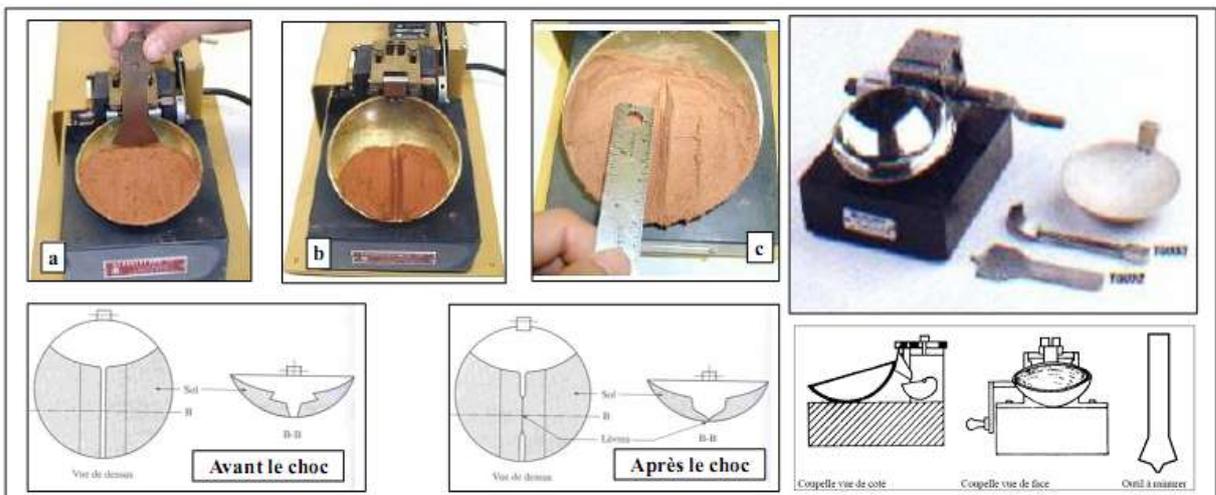


Figure II- 3 : Essai de limite de liquidité ;

Les résultats sont représentés dans un abaque ou une échelle semi-logarithmique, afin de déterminer la limite de liquidité qui correspond à 25 coups.

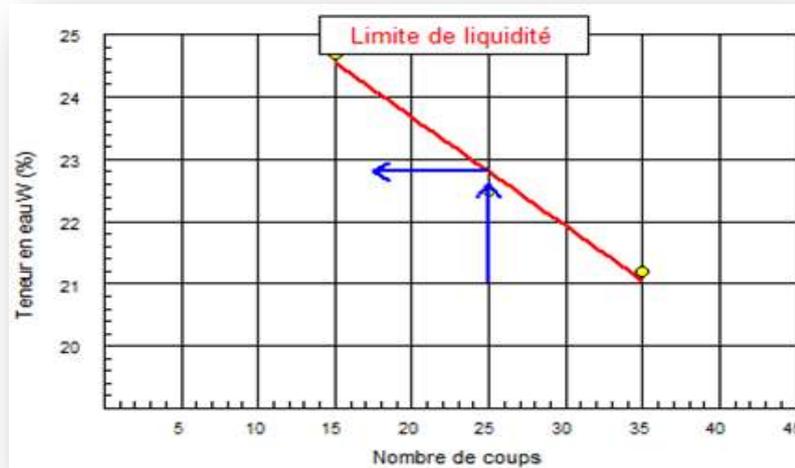


Figure II- 4 : abaque de la limite de liquidité ;

D'après l'abaque de la limite de liquidité (Figure II.4), la limite de liquidité prend une valeur $W_L = 22.8$

II.7.2. Limite de plasticité W_p :

La limite de plasticité W_p (NF P 94-051), est par convention la teneur en eau pondérale du sol pour laquelle un rouleau de sol de 3mm de diamètre et de 100mm de longueur se fissure ou s'émiette. La figure(II.5) représente un exemple pratique de essai de plasticité au laboratoire.



Figure II- 5 : Essai de limite de plasticité ;

L'essai de détermination de la limite de plasticité a révélé que la boue a une $W_p = 17.95 \%$

II.7.3. Domaine de plasticité IP :

Le domaine de plasticité de l'argile est défini par l'indice de plasticité (Ip). Cet indice est la différence entre la limite de liquidité et la limite de plasticité.

Les résultats des limites d'Atterberg sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau II- 2: Résultats des limites d'Atterberg

WL (%)	WP (%)	IP
22.80	17.95	4.85

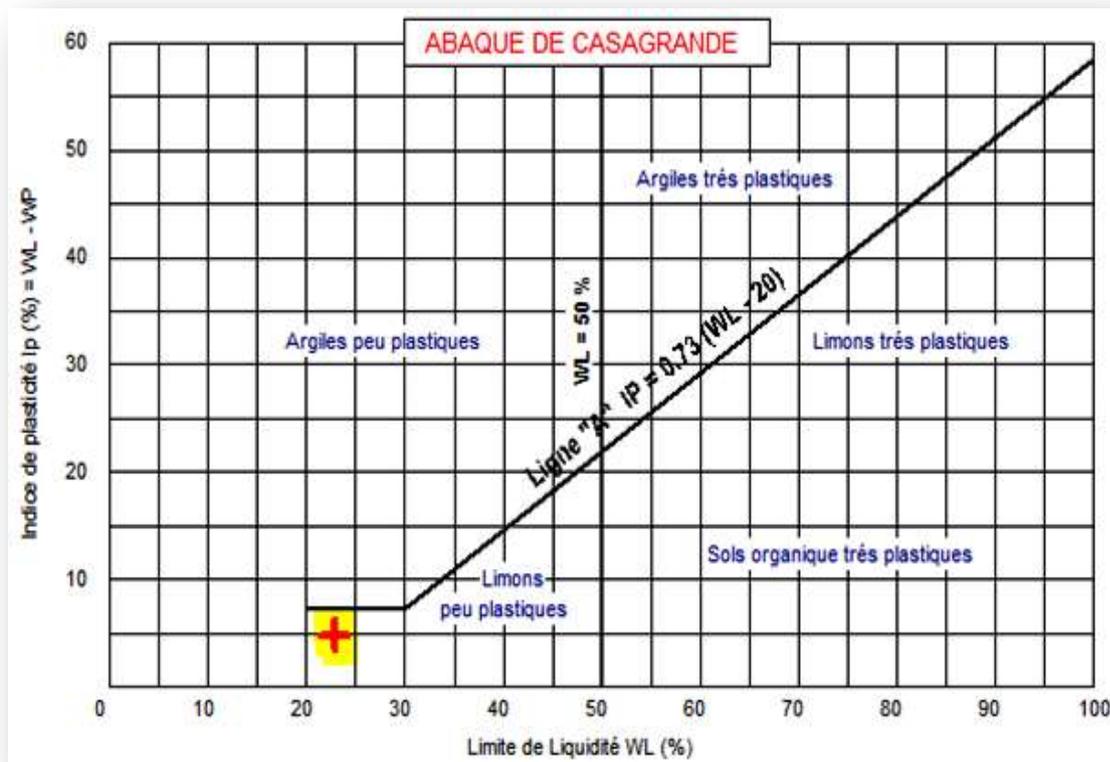


Figure II- 6 : Diagramme de plasticité de Casagrande ;

En basant sur le diagramme de plasticité de Casagrande (Figure II.6) ,la boue est considérée comme **un limons peu plastiques**.

II.8. Analyse chimique :

L'analyse sommaire consiste à déterminer le taux des composants suivants :

- Les insolubles
- Les sulfates CaSO_4
- Les carbonates CaCO_3
- Chlore Cl
- Chlorures NaCl
- PH

D'après cette analyse chimique (Tableau II.3) sommaire réalisée au niveaux de LTPS d'Ouargla sur notre boue, nous constatons la dominance des insolubles avec un faible pourcentage de carbonates de calcium qui est autour de 05% .

Tableau II- 3: Analyse chimique

Echantillon		La boue de forage
% Insolubles		69.5
sulfates	%SO3	1.13
	%SO4	1.36
Les carbonates CaCO_3 (%)		5
Chlore %Cl		1.67
Chlorures %NaCl		2.75
PH		8.63

II.9. Essai de compactage Proctor (N F P 94-093):

L'essai de Proctor (Normale ou modifié) consiste à humidifier un sol à plusieurs teneur en eau et à le compacter selon un procédé et une énergie conventionnelle .Pour chacune des valeurs de teneur en eau considérées, on détermine la densité sèche du sol et on établit la courbe des variations de cette masse en fonction de la teneur en eau dite courbe de Proctor (Figure II.7) (FigureII.8). Cette courbe présente une valeur maximale de la densité sèche du sol qui correspond à une valeur particulière de la teneur en eau .C'est ces deux valeurs qui sont appelées caractéristiques décompactage de Proctor .

II.9.1. Essai Proctor Normale :

Résistance souhaitée relativement faible, du type remblai non ou peu chargé.

Le Proctor normal est utilisé généralement pour les études de remblais en terre (barrage- digues ou le compactage est moyennement poussé).

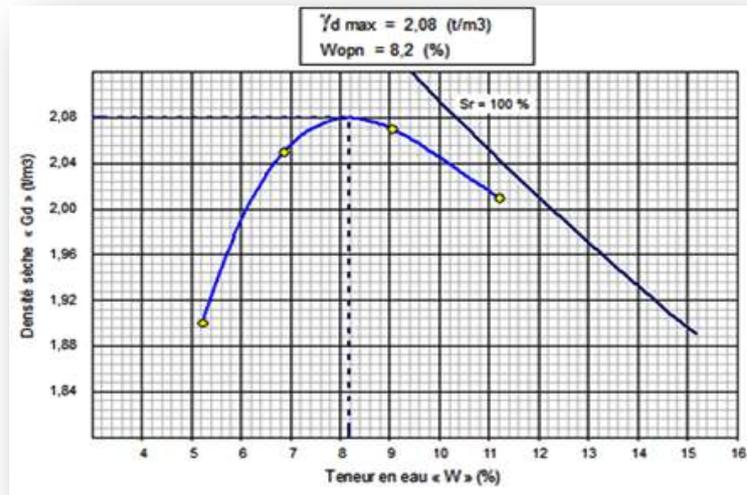


Figure II- 7: Courbe d'essai Proctor normal .

II.9.2. Essai Proctor modifié :

Le Proctor modifié correspond au compactage maximum que l'on peut obtenir sur chantier avec les rouleaux à pied de mouton.

Il est utilisé pour le compactage des matériaux destinés à constituer la fondation ou le corps de chaussées des routes et des pistes d'aérodromes.

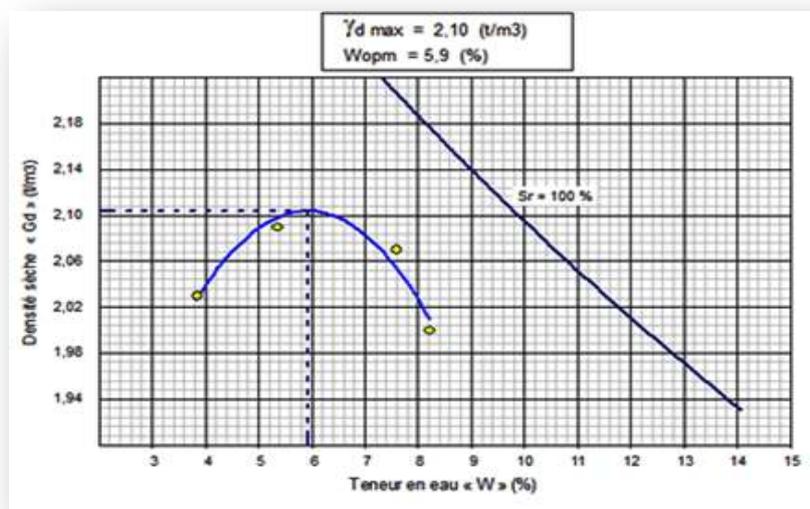


Figure II- 8: Courbe d'essai Proctor modifié

II.9.2. Essai CBR ([NF P 94-78) :

La portance d'un matériau est évaluée par le biais de l'essai CBR .Ce dernier consiste à mesurer les forces à appliquer sur un poinçon cylindrique de 19,35m² de section pour faire pénétrer à vitesse constante (1,27mm/min) dans une éprouvette de matériau compacté (Photo II.5).

Les valeur particulière des deux forces, ayant provoqué les enfoncements de 2,5 et 5mm, sont alors rapportées respectivement aux valeurs de 13,35 et 20 KN .



Photo II- 5: appareille d'essai CBR;

L'indice de CBR est par convention la plus grande des deux valeurs $F_{2.5}$ et F_5 d'où

$$F_{2.5} = \frac{\text{Effort de pénétration à 2,5 mm (kN)}}{13,35 \text{ kN}} \times 100$$

$$F_5 = \frac{\text{Effort de pénétration à 5 mm (kN)}}{19,93 \text{ kN}} \times 100$$

- **L'Indice Portant Immédiat:** Mesure la résistance au poinçonnement d'un sol compacté à sa teneur en eau naturelle ou dans la plage de teneur en eau dans lequel il est susceptible d'évoluer. Il caractérise l'aptitude du sol à permettre la circulation des engins en phase chantier.
- **L'essai C.B.R immédiat:** Mesure la résistance au poinçonnement d'un sol compacté généralement à l'énergie Proctor Modifiée à sa teneur en eau à l'optimum Proctor. En sus, dans la mesure où le matériau est support ou constituant d'une structure de chaussée, l'éprouvette de sol testé sera surcharge en tête par des disques annulaires représentant l'équivalent de la contrainte imposée par la chaussée sur la plate-forme.

- **L'essai C.B.R après immersion** : Mesure de la résistance au poinçonnement d'un sol compacté à différentes teneurs en eau puis immergé pendant 4 jours. Il caractérise l'évolution de la portance d'un sol compacté et/ou soumis à des variations de régime hydrique.

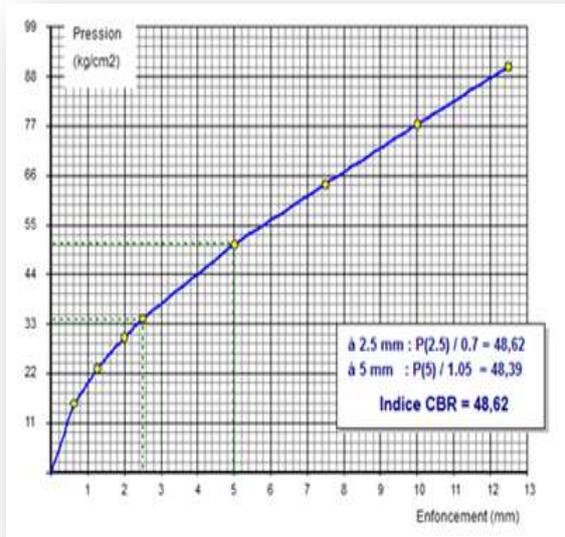


Figure II- 9: Courbe d'essai CBR immédiat .

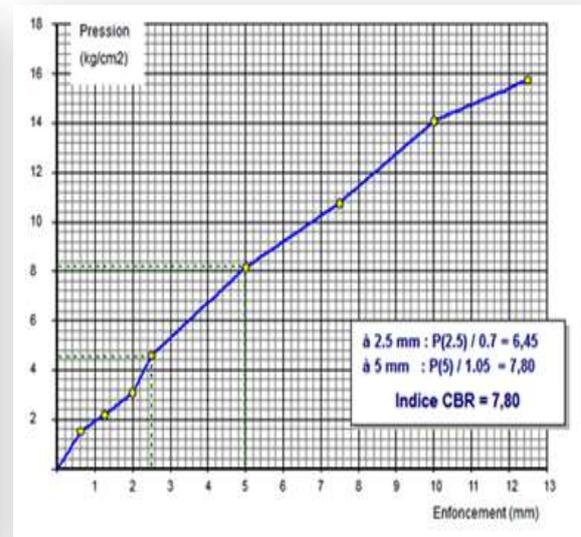


Figure II- 10: Courbe d'essai CBR après immersion .

A partir de ces courbes (Figure II.9) (Figure II.10), on peut avoir les paramètres fondamentaux de cet essai (paramètres de Proctor), qui sont la teneur en eau optimale, la densité sèche maximale, indice CBR immédiat, indice CBR après immersion .

Les résultats sont regroupés dans le tableau (II.4)

Tableau II-4: Paramètres de Proctor, IPI et Indice CBR après 04 h immersion.

Matériau	Proctor modifié		Proctor normale		Indice IPI	Indice CBR après immersion
	W% opt	γd (t/m ³)	W% opt	γd (t/m ³)		
La boue de forage	5.9	2.10	8.2	2.08	48.62	7.80

Si on adopte la norme française [NF P 98 115] qui considère l'IPI comme un critère satisfaisant pour assurer la circulation normale des engins sur le chantier, les valeurs

souhaitables de l'IPI (Figure II.11) ne doivent pas être inférieures à 35 pour la couche de fondation et 45 pour la couche de base, Préliminairement, Cette boue peut être intégrer en corps de chaussée. Mais ,la chute de la portance à l'immersion laisse penser à d' autres solution telle que le traitement aux liants hydrauliques.

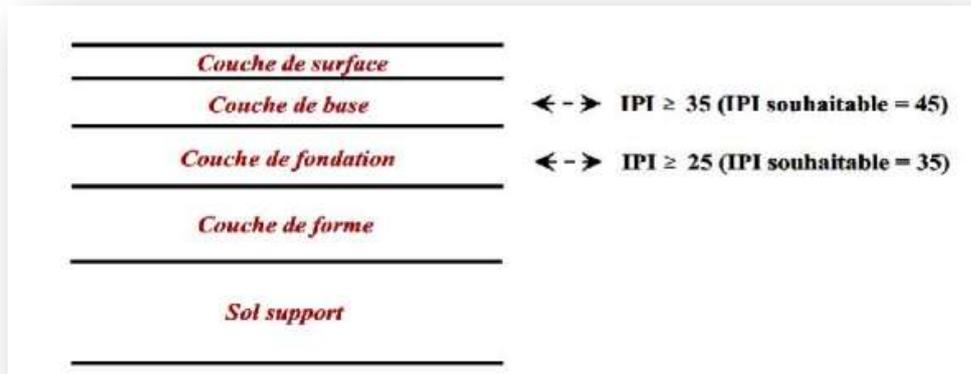


Figure II- 9: Critère de l'IPI pour la différente couche de la chaussée [NF P 98 115]

II.10. Résistance à la compression simple Rc:

La résistance à la compression simple est considérée comme un indice pour évaluer l'intégrité physique d'un matériau .Pour cette raison des éprouvette cylindrique (D= 5cm et h =10 cm) ont été confectionnées à partir de la boue résiduelle des forges pétroliers seule et conservées à l'air libre pendant 28 jours. .

Après cette durée, nous avons remarqué la fissuration des éprouvettes (photo II-7) avant même l'opération de l'écrasement, ce qui signifie qu'il impossible d'utiliser cette boue seule comme un remblais ou couche en technique routière. Donc , il s'avère un traitement aux liants hydraulique est nécessaire.



Photo II- 6 Etat des éprouvettes sans traitement après 28 jours de conservation.

II.11. Classification des matériaux selon GTR 92:

L'utilisation des terres en remblai est d'abord directement liée à leur classification et à leur comportement lors de leur mise en place.

Le **GTR 92** (Guide des Terrassements Routiers, Réalisation des remblais et des couches de forme, LCPC, SETRA, 1992) et la norme qui en découle **NF- P 11-300** (septembre 1992) proposent une classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières.

Cette classification est la seule présentant un réel intérêt pratique et utilisée dans les travaux de terrassement. Son utilisation est détaillée dans le Guide Technique pour la réalisation des Remblais et couches de forme. [19]

les résultats obtenus lors de la caractérisation physico-mécanique effectuée sur notre matériau sont synthétisés dans le tableau (Tableau II.5).

Tableau II- 5: synthèse des résultats de caractérisation.

Les paramètre	Valeurs
Diamètre maximal D_{max}	10 mm
Eléments < 2mm	96%
Eléments < 0,8mm	45%
Densité sèche maximale	2,1 (t/ m ³)
Teneur en eau optimale (Wopm)	5,9
Valeur de bleu de méthylène VBS	0,92
Limite de liquidité	22,8
Limite de plasticité	17,75
Indice portant immédiat (IPI)	4,85
Indice CBR après immersion	7,8
Résistance à la compression simple à 28 jours	

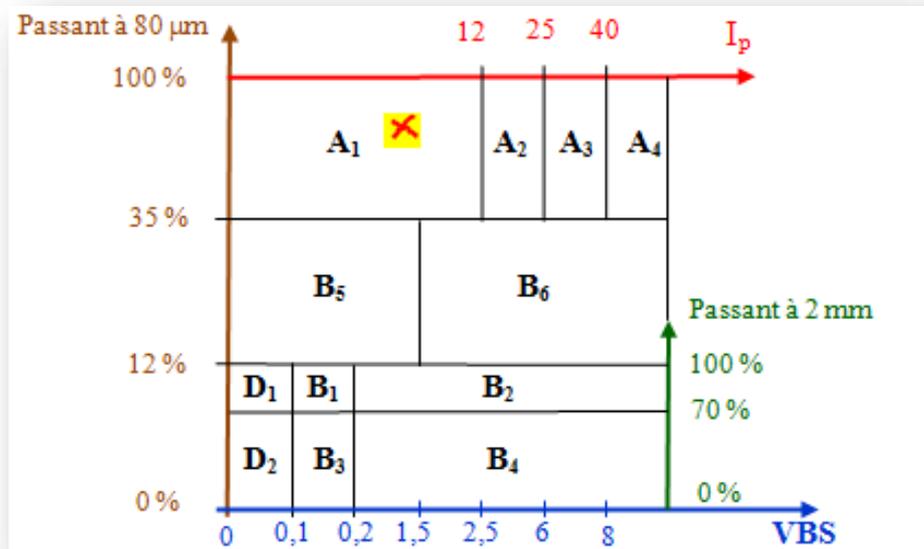


Figure II- 10 : Tableau synoptique de classification des matériaux [19]

D'après les résultats de caractérisation, la boue de forges pétroliers est rangée dans la classe A_1 figure (II.12) qui considère comme **Limons peu plastiques**.

II.12 Produits de traitement :

II.12.1 Chaux :

La chaux est l'un des liants les plus anciennement utilisés. Les Romains l'additionnaient de pouzzolane pour donner un mortier qui, dans des constructions remarquables. [20]

La chaux désigne toutes les formes physiques et chimiques dans lesquelles peuvent apparaître l'oxyde de calcium et de magnésium (CaO et MgO) et/ou l'hydroxyde de calcium et/ou de magnésium (Ca(OH)_2 et Mg(OH)_2). Elle se présente sous deux formes : aérienne et hydraulique. [21]

La chaux utilisée durant notre étude est celle de la région de Saida; c'est une chaux éteinte présentant une faible concentration en éléments oxydes comme les silicates SiO_2 , et aluminates Al_2O_3 et une forte concentration en éléments basiques comme la chaux libre CaO , ce qui donne à notre liant son aspect aérien. d'où sa fiche technique des propriétés chimiques et physiques sont résumée dans le tableau (II.6).

Tableau II- 6: Fiche technique des Propriétés physiques et chimiques de la chaux de Saida.

Caractéristique	Valeur
Apparence physique	Poudre blanche sèche
Masse volumique absolue (g/cm ³)	2.2_ 2.4
Masse volumique apparente (g/cm ³)	0.5_0.65
Surface spécifique (cm ² /g)	8000_12000
<i>CaO</i> (%)	> 73,3
<i>MgO</i> (%)	<0,5
<i>Fe₂O₃</i> (%)	< 2
<i>Al₂O₃</i> (%)	< 1,5
<i>SiO₂</i> (%)	< 2,5
<i>SO₃</i> (%)	< 0,5
<i>Na₂O</i> (%)	0,4 – 0,5
<i>CO₂</i> (%)	< 5
<i>CaCO₃</i> (%)	< 10
Densité spécifique	2
Plus de 90µm (%)	< 5
Plus de 630µm (%)	0
Matériau insoluble (%)	< 1
Densité apparente (g/l)	600-900

II.12.2 Ciment :

C'est un liant minéral obtenu par décarbonatation d'un calcaire et décomposition d'une argile à une température avoisinant, les 1450 °C .Broyés sous forme d'une poudre fine souvent d'une couleur grise, en contact avec l'eau forment des minéraux hydratés très stables.

Les principaux composés du ciment portland sont : [22]

- Le Silicate Tricalcique (Alite) : $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C3S).
- Le Silicate Bicalcique (Belite) : $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C2S).
- L'Aluminate Tricalcique : $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (C3A).
- L'Alumino-Ferrite Tétracalcique : $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (C4AF).

Le ciment utilisé dans notre étude est un ciment portland composé, dont les caractéristiques physico mécaniques et chimiques satisfont aux exigences des ciments CPJ CEM II/A 42.5 R selon la norme français [NF P 15-301].

Le tableau (II.7) résumées Les compositions chimiques du ciment utilisé.

Tableau II- 7: Composition chimique du ciment CPJ CEM II/A 42.5 R. [22]

Composition chimique	Teneur %
SiO_2	17,50
Al_2O_3	5,17
Fe_2O_3	2,92
CaO	60,21
MgO	1,87
K_2O	0,57
Na_2O	0,18
SO_3	2,59
CaO libre	1,434
Cl	0,020
Ins.	0,70
P.F	8,630

Les caractéristiques minéralogiques du ciment utilisé sont résumées dans le tableau (II.8).

Tableau II- 8: Composition minéralogique de ciment CPJ CEM II/A 42.5 R. [22]

Phase	Constituants minéraux du Clinker	Teneur rapporté au Clinker (%)
Clinker	C ₃ S	56
	C ₂ S	20
	C ₃ A	06
	C ₄ AF	12
	CaO ₁	01
Régulateur de prise	Gypse	05

II.13. Conclusion:

Les résultats de caractérisation révèlent la légèreté de la boue résiduelle de forges. Elle a une faible valeur de l'indice de portance immédiat (IPI) après immersion et une résistance à la compression qui est négligeable, ce qui met en évidence l'impossibilité d'utiliser cette boue seule en construction routière. Donc, elle nécessite un traitement liant hydraulique pour surmonter cette difficulté est nécessaire.

Chapitre III :

Résultats et discussions

III.1. Introduction :

L'étude de la valorisation de la boue résiduelle des forages pétroliers en vue de l'utiliser en construction routière passe inévitablement par certains tests de performances mécaniques.

Les essais de caractérisation de cette boue , particulièrement l'essai de compression simple , montre qu'il impossible de l'utiliser seule sans traitement.

A cet effet, ce chapitre vient pour examiner l'évolution de la résistance à la compression simple **R_c** et à la traction indirecte (par fendage) **R_t** après différentes durées de conservation à l'air libre de la boue traitée a fin de voir la possibilité de son utilisation comme un remblais ou une couche de forme.

Pour atteindre cet objectif trois types de traitement aux liants ont été employé à savoir : le traitement à la chaux , au ciment et le traitement mixte (chaux+ ciment).

III.2. Traitement aux liants :

Certains sols, limoneux ou argileux, en raison de leur propriétés géotechniques intrinsèques et (ou) de leur teneur en eau sont considérés comme des matériaux mauvaises ou médiocres, créant un handicap économique et technique pour le maître d'œuvre et pour l'entreprise. Le plus souvent, ces sols sont mis en dépôt et remplacés par d'autres de meilleure qualité. [23]

Le traitement aux liants peut apporter une solution aux problèmes posés par ces sols, à la fois en modifiant leur nature et en améliorant leur état. Il permet d'utiliser des sols impropres au réemploi ou de qualité médiocre dans leur état naturel, et d'exécuter les terrassements dans des conditions normales de travail tout en diminuant la susceptibilité du chantier aux intempéries. [24]

III.3. Résistance à la compression (**R_c**) de la boue traitée :

La méthode la plus courante pour reproduire en laboratoire l'intégration physique ou la solidification de la boue traitée est de mesurer l'évolution de sa résistance en compression (**R_c**) dans le temps.

Dans notre étude, nous avons suivi l'évolution de cette résistance à 7, 14, 28 et 60 jours sur des séries d'éprouvettes cylindriques de dimensions ($\varnothing = 5\text{cm}, H = 10\text{cm}$), confectionnées à la teneur en eau du Proctor normal et à une compacité théorique égale à 100%, conservées à l'air libre et à l'eau pendant 04 et 24 heures .

III.3.1. Préparation des éprouvettes :

Des séries d'éprouvettes (photo III.1) sont confectionnées à partir des mélanges (boue+ liant), indiqués dans le tableau (II.1) à raison de 03 éprouvettes/âge pour chaque mélange.

Tableau III- 1: Different mélanges adoptés.

Liant	Chaux			Ciment			Mixte (2 % chaux+ x% Ciment)		
	2%	4 %	6 %	2%	4 %	6 %	x= 2%	x=4 %	x=6 %
Mélange boue+liant	MBC2	MBC4	MBC6	MBCT2	MBCT4	MBCT6	MBM2	MBM4	MBM6



Photo III- 1: Les éprouvettes préparées pour l'essai de compression simple.

NB: Les mélange sont compactés statiquement dans un moule cylindrique à double piston (photo III.2), de 50 mm de diamètre et 100 mm de hauteur, selon la norme (NF P 98-230-2).



Photo III- 2: Moule et pistons des éprouvettes des essais de compression simple.

Après chaque durée de conservation, les éprouvettes sont soumises à un effort de compression appliqué parallèlement à l'axe du cylindre à l'aide d'une presse hydraulique (photo III.3) à une vitesse de 1,6 mm/min jusqu'à la rupture.

La valeur de la résistance à la compression simple représentée, est la valeur moyenne de trois éprouvettes pour chaque période.



Photo III-3: Presse hydraulique.

III.3.2. Traitement à la chaux :

Les figures (III.1, III.2) montrent l'évolution de la résistance à la compression simple de la boue traitée en fonction de l'âge des éprouvettes pour les différents mélanges (boue+ chaux).

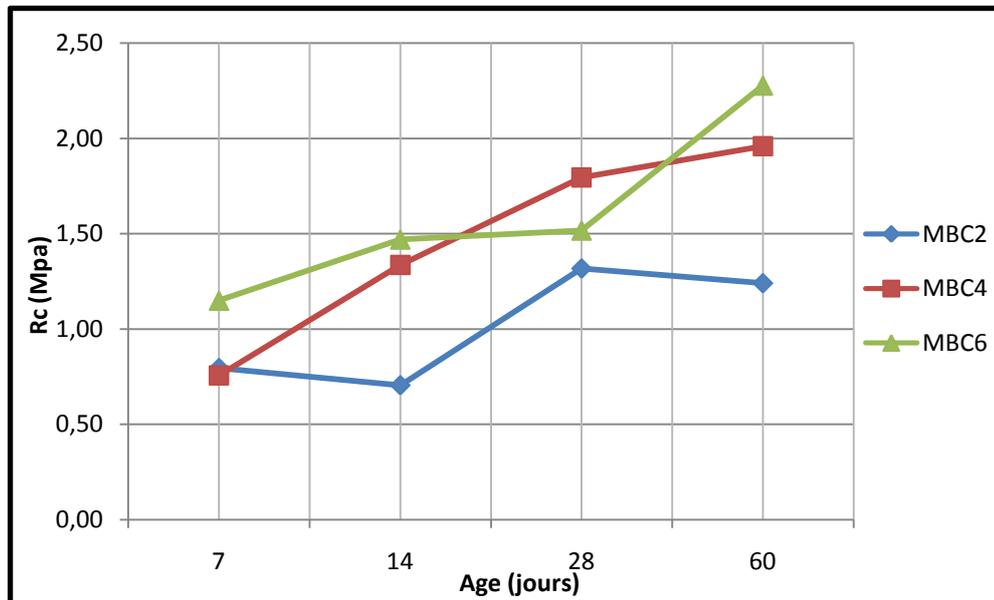


Figure III- 1: Evolution de la Rc en fonction de l'âge pour les différents mélanges (boue+ chaux).

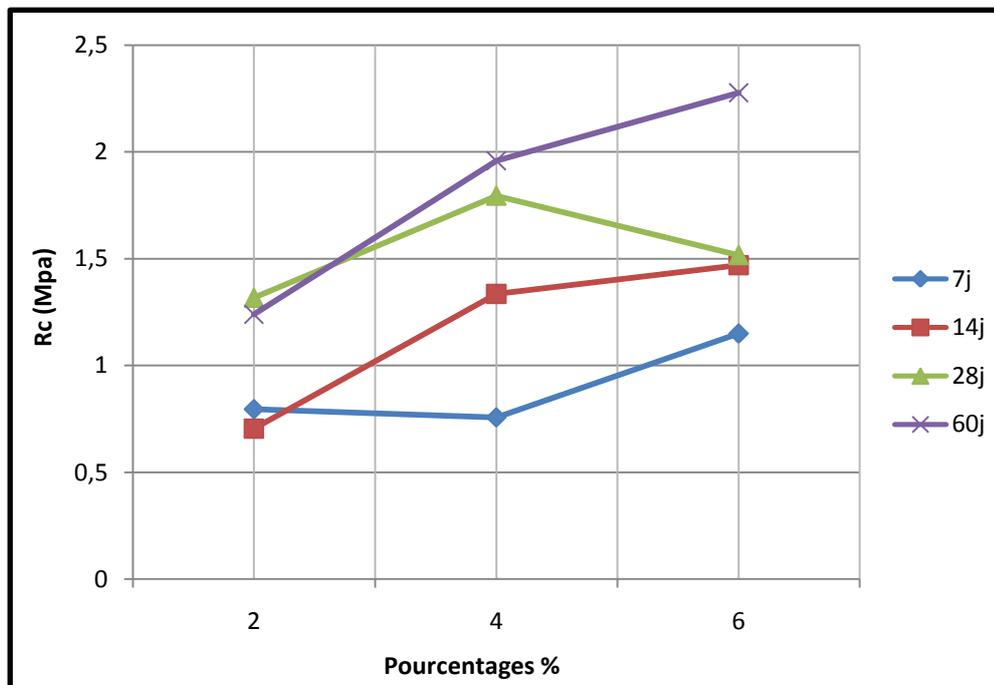


Figure III-2: Evolution de la Rc en fonction du pourcentage de la chaux ajouté dans le mélange (bous+chaux) pour différents âges.

Les courbes de la figure (III.1, III.2) montre globalement que la Rc de la boue traitée à la chaux progresse positivement avec l'âge quel que soit le pourcentage ajouté, ce qui est conforme avec la littérature étudiant les sols traités à la chaux.

A l'ajout de 6% de chaux et pour tous les âges considérés, toutes les résistances à la compression dépassent 1 MPa (figure III.2), d'où la Rc atteint 1.5 MPa à 28 jour et sa valeur maximale à 60 jour, qui environ 2.2MPa. Donc préliminairement, on peut dire qu'il y'a une possibilité d'utiliser notre boue en construction routière.

On note que le critère de traficabilité autorisant la circulation sur les couches traitée exige que Rc soit supérieure de 1MPa à 07 et 28 jours selon LCPC-SETRA 2007.

III.3.3. Traitement au ciment :

Les figures (III.3, III.4) montrent l'évolution de la résistance à compression simple de boue en fonction à l'âge des éprouvettes pour les différents pourcentages du ciment ajouté.

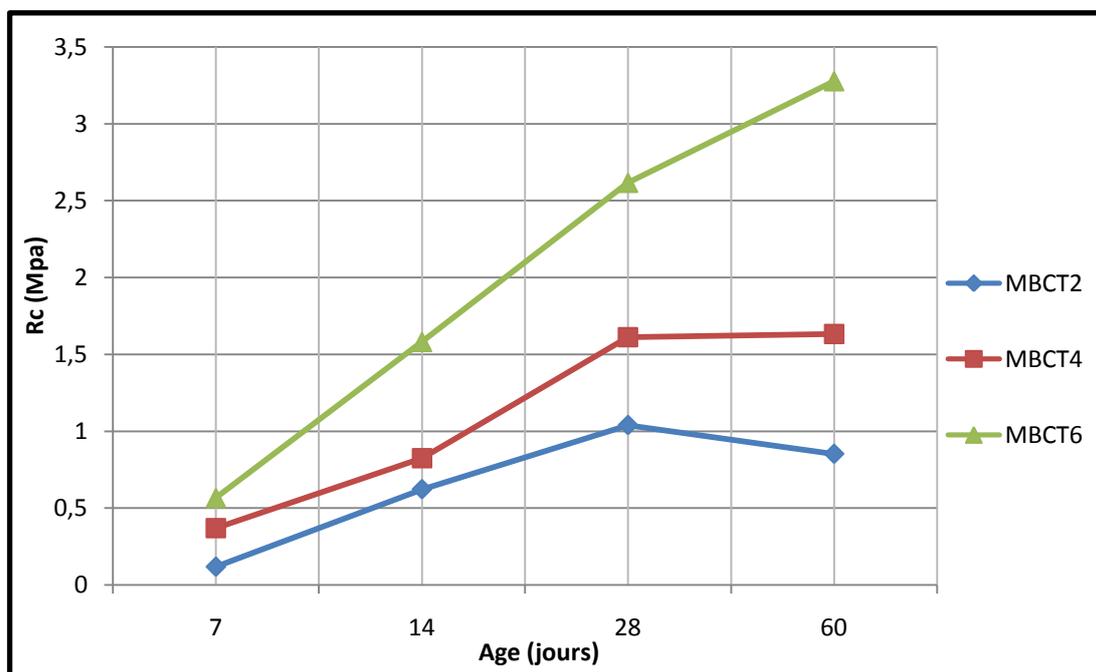


Figure III- 3: Evolution de la Rc en fonction de l'âge pour les différents mélanges (boue+ ciment).

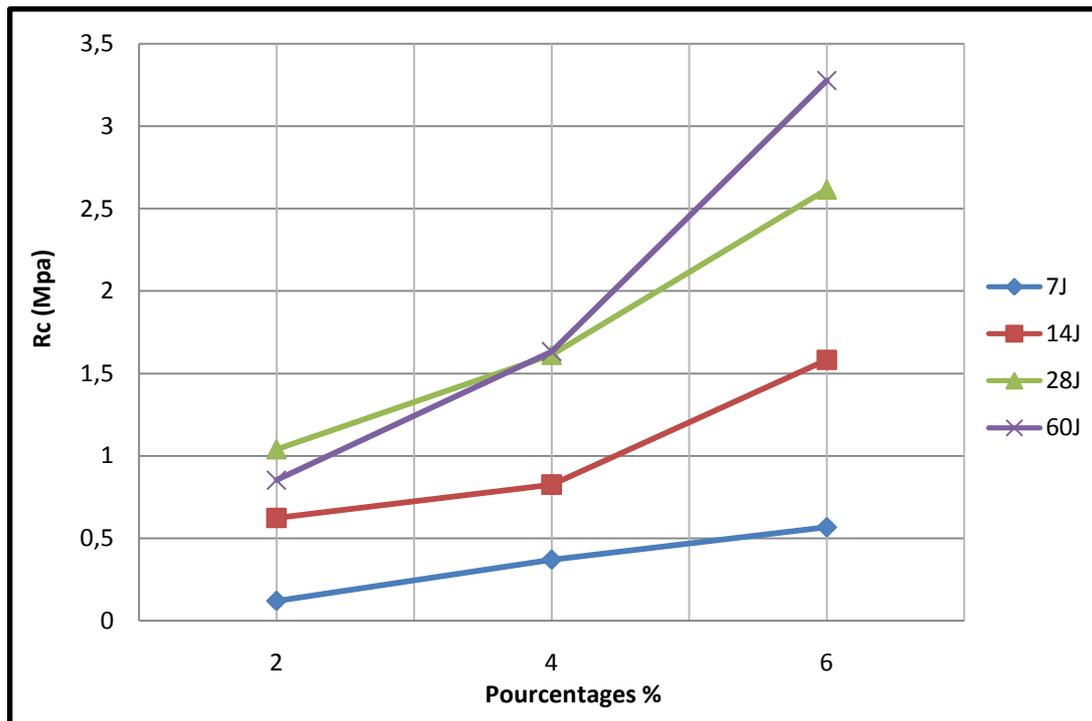


Figure III- 4: Evolution de la Rc en fonction du pourcentage du ciment ajouté dans le mélange (bous+ciment) pour différents âges.

Les résultats du traitement au ciment de la boue résiduelle des forges pétroliers montrent que la Rc évolue positivement avec l'âge. Les meilleures résistances, qui dépassent 01 MPa apparaissent à l'ajout de 4 % après l'âge de 28 jours et à l'ajout de 6 % après 14 jours. La valeur maximale de la Rc, qui environ 3.3MPa, est atteinte lors de l'addition de 6% de ciment à 60 jours, c'est-à-dire pour le mélange MBCT6.

D'après le critère de traficabilité (LCPC-SETRA 2007) la boue solidifiée par le ciment est envisageable pour une éventuelle utilisation en assises de chaussées.

II.3.4. Traitement mixte :

Après le traitement à la chaux et au ciment et dans le but de rechercher une meilleure solidification de notre boue, un traitement mixte (chaux + ciment) et à été testé. Les résultats de cette procédure sont traduits par les courbes de la figure (III.5 et III.6) qui représente l'évolution de la résistance en fonction de l'âge pour des mélanges MBM2, MBM4 et MBM6, c'est-à-dire les mélanges contenant 2% de chaux et respectivement 2%, 4% et 6% de ciment.

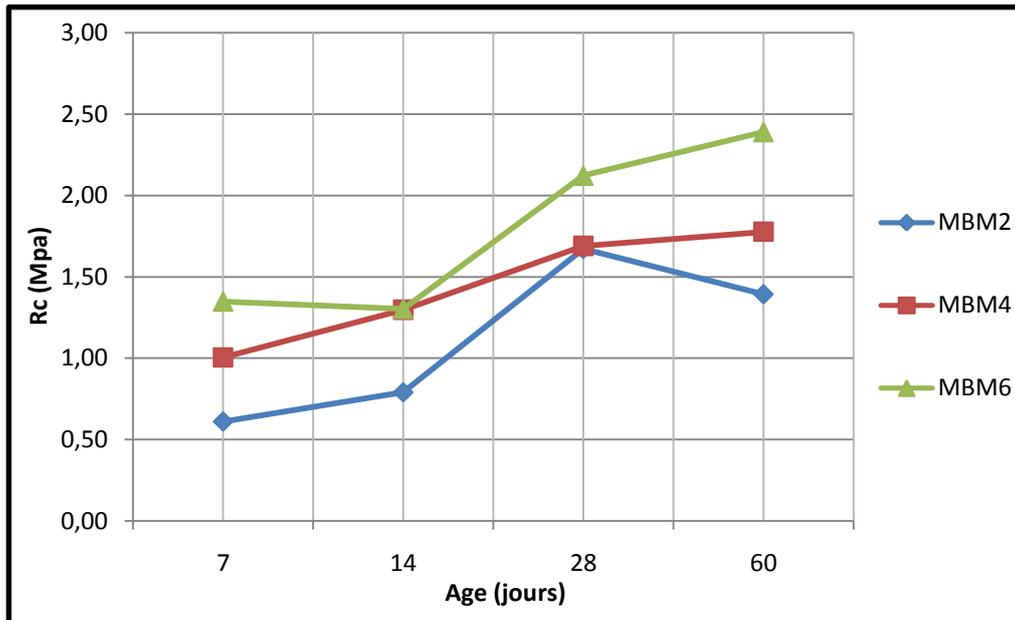


Figure III- 5: Evolution de Rc en fonction de l'âge pour les différents mélanges(boue+ciment+chaux) .

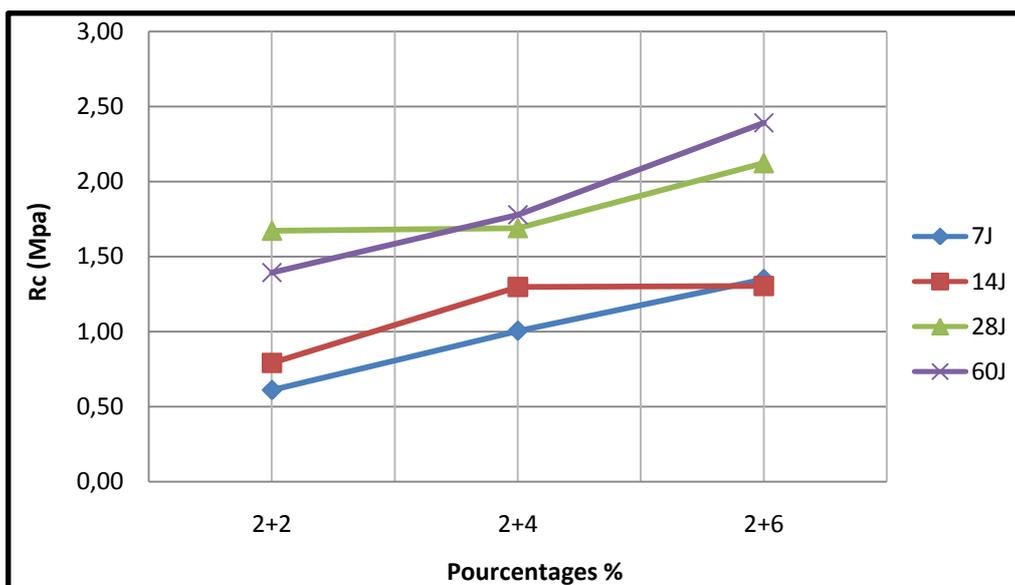


Figure III- 6: Evolution de la Rc en fonction de différents pourcentage des liants ajoutée.

D'après les figures (III.5, III.6) nous constatons qu'il y a une augmentation de la Rc avec l'âge pour tous les mélanges ce qui est évident lorsque nous traitons la boue aux liants hydraulique d'une façon générale. Pour les MBM4 et MBM6 et pour tous les âges, La résistance dépasse le seuil 1MPa, seuil considéré pour l'utilisation d'un sol traité en couches d'assises. Tandis que , Pour le MBM2 , ce seuil est franchi que après 28 jours ,ce qui montre que le traitement mixte avec 2% chaux + 2% ciment n'est pas efficace et ne permet pas de stabilisation convenablement notre boue.

III.3.5. Comparaison entre les différents traitements :

Pour examiner l'efficacité des différents traitements, une comparaison illustrée par le histogramme de la figure (III.7) , a été faite entre les résistances à la compression de la boue traitée à 6% de chaux (MBC6), 06% ciment (MBCT6) et 2% chaux+6ciment (MBM6).

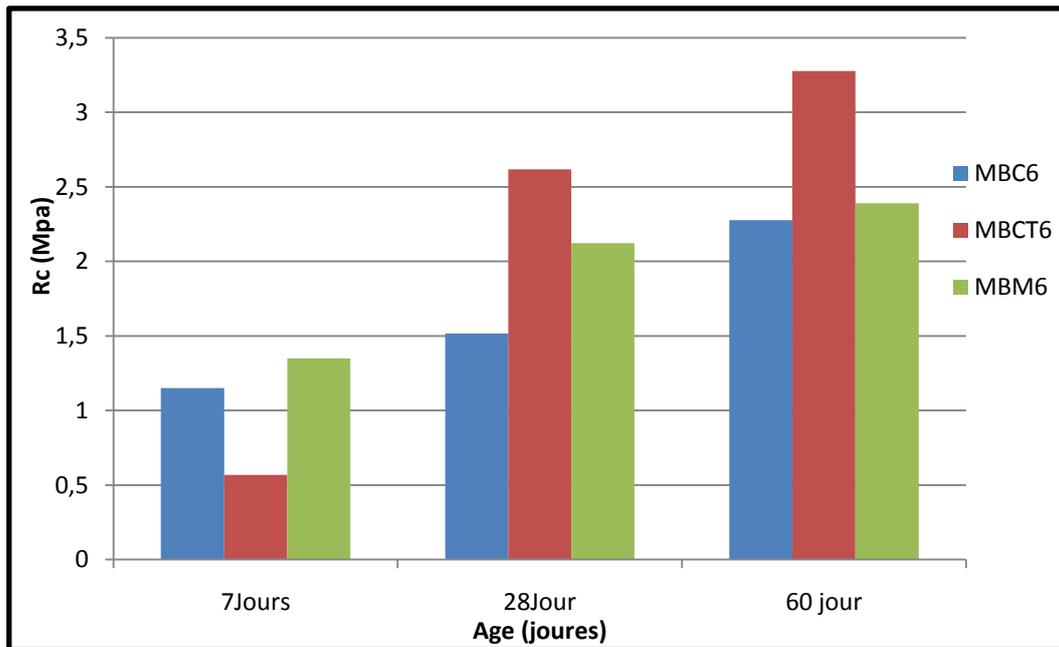


Figure III- 7: Comparaison entre les Rc pour mélanges MBC6,MBCT6,MBM6.

Les résultats obtenus montrent que, à 07 jours , la Rc de la boue de dépasse 1 MPa lors du traitement de la boue à la chaux (MBC6) et au traitement mixte (MBM6) .Tandis que le traitement au ciment (MBCT6) reste inférieure à 01 MPa.

A 28 et 60 jours , les résistances du MBCT6 enregistre des valeurs supérieures à celles du MBC6 et du MBM6 . Elle atteint sa valeur maximale, qui est 3,2 MPa , à 60 jours .

D'après cette comparaison, nous pouvons dire qu'ajout de la chaux à la boue donne un effet immédiat, ce qui est visible à 07 jours. Par contre, l'efficacité du traitement au ciment apparaisse à long terme c'est à dire après 28 jours.

III.4. Résistance à la traction indirecte :

Concernant l'essai de traction, il ya plusieurs modes de chargement permettant de soumettre une éprouvette à une contrainte de traction (figure III.8), parmi ces essais nous citons:

- ✓ Traction directe (non applicable aux sols) ;
- ✓ Traction par flexion (non applicable aux sols) ;
- ✓ Traction par fendage (essai brésilien) ou l'essai de compression diamétrale NF P98-32-3.

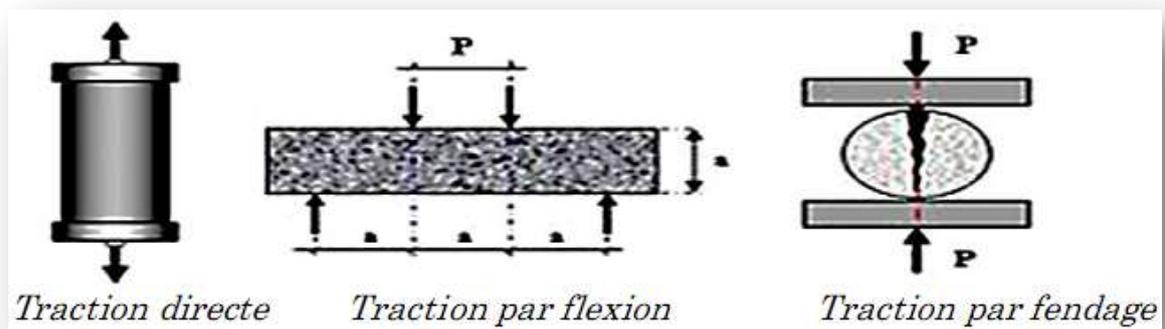


Figure III-8 : Modes de chargement permettant de soumettre une éprouvette à une contrainte de traction.

Vu que les chaussées sont sollicitées par des efforts de compression conduisant à la traction indirecte, l'essai le plus proche à ce phénomène est l'essai de Traction par fendage (essai brésilien).

Cet essai de traction consiste à comprimer radialement l'éprouvette (figure III.9), créant alors par effet Poisson des contraintes de traction horizontales au sein du matériau. Il fonctionne à condition que l'effet Poisson provoque la rupture du matériau avant les contraintes de compression.

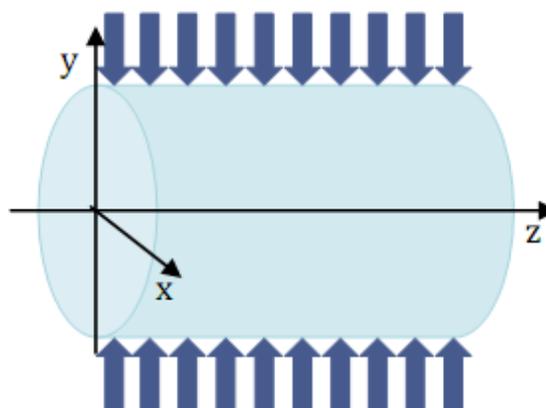


Figure III- 9: Schéma du mode d'application de l'effort de compression.

III.4.1. Evolution de la résistance à la traction :

Dans notre étude, nous avons suivi l'évolution de la résistance à la traction à 14, 28 et 56 jours sur des séries d'éprouvettes cylindriques de dimensions ($\varnothing = 5\text{cm}$, $H = 5\text{cm}$) (photo III.4) , confectionnées à la teneur en eau du Proctor normal et à compacité théorique égale à 100%, conservées à l'air libre et partir de deux mélanges qui ont donné les meilleurs résistances à la long terme compression à savoir :

- ✓ Mélange 1 (MBCT6) : Boue + 6 % ciment
- ✓ Mélange 2 (MBM6) : Boue + 2% chaux+ 6 % ciment



Photo III- 3: Les échantillons préparés pour l'essai de traction par fendage.

Les résultats obtenus (tableau III.2) ont permis de tracer les histogrammes de la figure(III.10) qui représente la variation de la résistance à la traction de deux mélanges (MBCT6 et MBM6) en fonction de l'âge (14,28 et 56 jours).

Tableau III- 2: Différent mélanges adoptés.

Mélange	'âge (jour)	Résistance Rt (MPa)
MBCT6	14	0.014
	28	0.014
	56	0.024
MBCM6	14	0.167
	28	0.241
	56	0.356

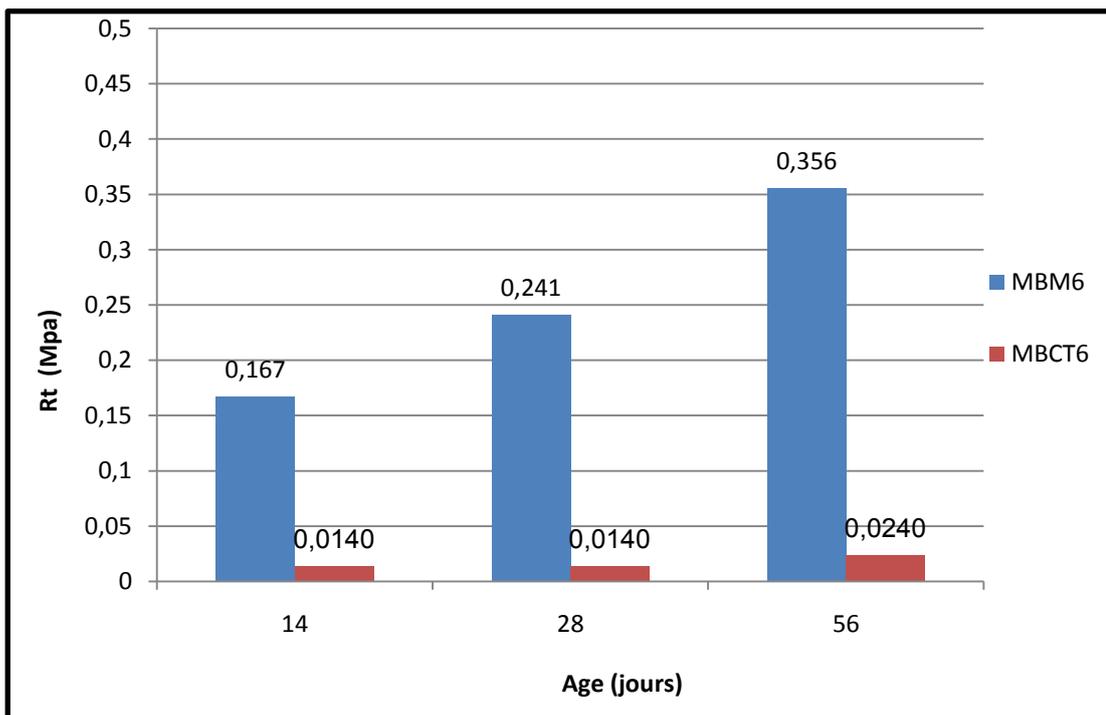


Figure III- 10: Comparaison de la valeur Rt de deux mélanges (MBCT6 et MBCM6) pour différents âges.

D'après la figure (III.10) , nous constatons que la résistance à la traction, lors du traitement mixte (MBCM6) , évolue positivement avec l'âge d'où elle atteint sa valeur maximale à 56 jours.

Pour le traitement au ciment (MBCT6) , La Rt enregistre des valeurs relativement qui ne

dépasse pas 0.0025 MPa à 56 jours . L'écart de la R_t entre les deux type de traitement est considérable. Ceci peut être expliqué que l'effet de l'interaction chaux-ciment joue un rôle important dans l'augmentation de la résistance.

III.5. Sensibilité à l'eau:

Certainement, Les chaussées sont de temps en temps exposées aux eaux pluviales influant la durabilité des matériaux constituant les différentes couches de l'ouvrage. Donc, Il est évident que ces matériaux doivent avoir des performances mécaniques acceptables pour faire face à telle situation

C'est dans ce contexte que nous avons essayé de tester la sensibilité de la boue résiduelle des forages pétroliers traitées par la réalisation des essais de compression simple sur de série d'éprouvette cylindrique ($\varnothing=5\text{cm}$, $h=10\text{cm}$) confectionnée à partir du mélange MBCT6 (boue+ 6% ciment) qui à donné les meilleurs résistance. Les éprouvette sont conservées à l'air libre pour une durée de 28 jours, ensuite elles ont immergée totalement dans l'eau pendant 04 heures et 24 heures (photo III.5).



Photo III- 4: Les échantillons préparés pour l'essai de compression.

les résultats de la résistance à la compression simple après immersion effectuée sur notre éprouvettes sont présenté dans le tableau (III.3) et traduit par les histogrammes de la figure (III.11).

Tableau III- 3: Résultats d'essai de compression après immersion.

Duré d'immersion (Heure)	Pourcentage de ciment (%)	Résistance (Mpa)
4	6	0,408
24	6	0,223

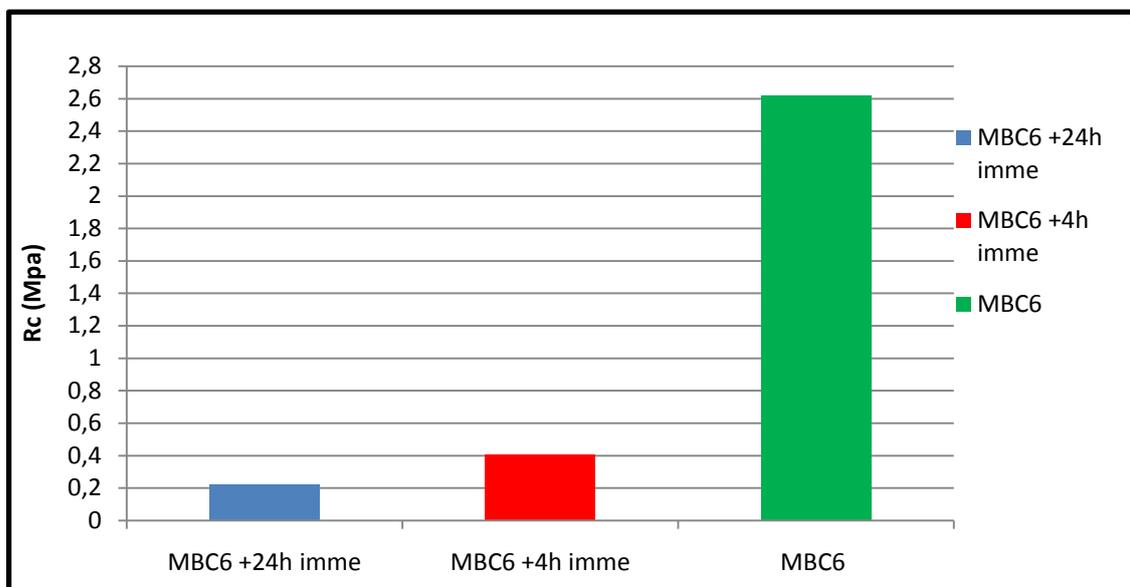


Figure III- 11: La résistance à la compression du MBC6 après 04 et 24 heures d'immersion dans l'eau comparé avec celle du MBC6 sans immersion.

Nous constatons une chute importante de résistance à la compression des éprouvettes, après immersion dans l'eau. La Rc a passé de 2.6 MPa à 0.4 MPa après 04 h d'immersion et à 0.2MPa après 24 h d'immersion (voir la figure III.11). Cette baisse de la résistance de la boue est considérée comme un inconvénient qui doit être examiné de près et de le remédier.

III.6. Conclusion :

A la lumière des résultats obtenus, nous pouvons conclure ce qui suit :

- ✓ Les différents traitements réalisés améliorent globalement la résistance à la compression simple qui ne contredit pas la tendance générale des traitements des sols aux liants. la valeur de 1 MPa a été dépassée par tous les mélanges élaborés après 28 jours ,
- ✓ les meilleurs résistances sont enregistrées pour les mélanges MBM6 et MBCT6 avec une légère supériorité de la R_C du MBCT6 par rapport à celle du MBM6,
- ✓ la résistance à la traction du MBM6 est nettement supérieure à celle du MBCT6 ce qui illustre l'effet de l'interaction ciment-chaux,
- ✓ la sensibilité de la boue résiduelle des forages pétroliers exprimés par la chute de R_c du MBCT6 reste l'inconvénient majeur pour une éventuelle utilisation de la boue en construction routière. Cette difficulté nécessite un examen de près afin de voir d'où vient la perturbation de cette résistance.

Conclusion Générale et Perspectives

Dans Cette étude , nous avons effectuée une caractérisation puis un traitement d'une boue des forages pétroliers en fin de son cycle de vie , extraite d'un bourbier situé dans la région de Hassi Messaoud en vue de l'utiliser comme un remblai ou l'intégrer comme une couche de forme en construction routière saharienne

Les essais de cratérisation sur la boue dévoilent la faiblesse certaines propriétés mécaniques, particulièrement la portance après immersion dans l'eau et la résistance à la compressions simple , ce qui met en évidence que son exploitation seule sans un procédé de traitement est impossible .

A cet effet, un traitement de la boue aux liants hydrauliques (ciment et chaux) , prenant en compte l'aspect économique a été réalisé, dont plusieurs formulations sont testés.

Les résultats des essais en compression simple révèle que l'effet de l'augmentation du dosage au chaux ou du ciment engendre l'accroissement de la résistance. Les meilleur résultats son obtenue lors du traitement au ciment et du traitement mixte (ciment+ chaux) .

A 28 jours , les résistances à la compression de tous les mélanges sont supérieures 1 MPa. .Donc il semble, préliminairement, que le critère de traficabilité autorisant la circulation sur les couches traitée est satisfait

Les essais de traction simple sur les mélanges ayant les meilleurs R_t décèle une amélioration de la résistance en fonction de l'âge .Les valeur maximales de R_t est atteintes lors du traitement mixte , environ 0.24 MPa à 28 jour et 0.34 à 56 jour. Un jugement sur les valeurs de R_t ne pourra se faire que avec la réalisation d'un travail complémentaire, particulièrement la mesure R_t en longs terme et l'étude de gonflement , qui pourra l'objet d'autres études .

Les essais de la sensibilité à l'eau montrent la chute de la résistance à la compression de la boue traitée au ciment après l'immersion dans l'eau pendant 04 et 24 heures. Cette chute constitué un inconvénient entrave son utilisation actuellement en attendant le remédiassions de ce problème.

Perspectives

Notre travail a été focalisé sur l'efficacité de traitement à court terme, considéré la première étape dans l'étude des matériaux traités pour une éventuelle utilisation en construction routière. Donc, il semble des travaux prennent en considération la pérennité de ce procédé une suite logique de ce travail.

L'hydrations complète des liants utilisés pour le traitement est liée à plusieurs paramètres, tels que la teneur en eau de confections des éprouvettes, le mode de conservation, qui n'ont pas pris en compte. a cet effet une étude peut être effectuée en jouant sur ces paramètres.

Cette étude a pris en compte que l'aspect mécanique de la boue traitée qui est insuffisant. De ce fait, un travail en prenant en compte l'aspect environnemental est plus que nécessaire.

Bibliographies

- [1] **Boukhalfa Zahra, Tordjemani Yassmine** (Etude des méthodes de traitement des boues de forage : Considération environnementale) . 24 juin 2017.
- [2] **KHODJA, Mohamed.** (Les fluides de forages : Etude des performances et considérations environnementales), thèse de doctorat. Toulouse, FRANCE : Institut national polytechnique de Toulouse, Février 2008.
- [3] **Etablissements MAUREL & PROM DOTR - PERMIS DE MIOS.** PIECE 3 – EMOIRE DES TRAVAUX , Article 6 - I.2° du décret n°2006-649 du 2 juin 2006 .
- [4] **DADA Mohamed Abderrahmane** ,(Optimisation d'un procédé de traitement des Boues de forage). Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Magister. Université M'hamed BOUGARA, Boumerdes, 29 Octobre 2011.
- [5] Journal officiel de la république algérienne 15/02/2001.
- [6] **MI SWACO.** Drilling Fluid Manual. 2001.
- [7] **BAKER HUGHES.** HPHT Drilling Fluids. Houston,TEXAS, USA : s.n., 2001.
- [8] **DADDOU, M.** Les boues de forages - Manuel de formation. ALGERIE : SONATRACH, Division Forage, Département Formation, Février 2004.
- [9] **OGP (International association of oil and gas producers).** Environmental aspects of the use and disposal of non-aqueous drilling fluids associated with offshore oil & gas operations - Report No. 342. London,UK : OGP Publications, May 2003.
- [10] **RAGOUILLAUX, Alexandre.** Etude rhéophysique de systèmes émulsions inverses / argile organophile : Applications aux boues de forage pétrolier, thèse de doctorat. Paris, FRANCE : Université Pierre et Marie CURIE, Septembre 2007.
- [11] **E&P Forum - UNEP Technical Publication.** Environmental management in oil and gas exploration and production: an overview of issues and management approaches. London, UK : E&P Forum, 1997. 2.
- [12] **U.S. EPA,** 1980 ; Leuterman et al., 1988 ; Candler et al,1992.

[13] **Atlas, R. M.** (1984) Petroleum microbiology. Edition, Macmillan Publishing Company, P.685.

[14] **Ballerini, D.** (1996) Traitement biologique des sols. Technique de l'ingénieur, G2620, P.P.3982

[15] **Scriban, R.** (1999) Biotechnologie. 5ème édition, Tec. et doc. Lavoisier, Paris, France

[16] **Wikipedia** (14/06/2019)

[17] **LABRAG Youcef , GUENOUAI Mohamed**, (Les boues de forage et leur de considérations sur l'environnement), Master forage. Université Kasdi Merbah Ouargla, (2013).

[18] **ABBAS HADJ ABBAS**, (impact sur l'environnement et technique de traitement), mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme du magister génie pétrolière. Université Kasdi Merbah Ouargla (2011).

[19] Chapitre 3 Classification des sols Norme NF P 11 300 et G.T.R15

[20] **CHOUKRI Mhamed , BAITICHE Nacereddine** , (Valorisation de sable de dune traité aux liants hydraulique et la poudrette de caoutchouc des pneus usées en technique routières). Université Ziane Achour de Djelfa, (17/06/2017).

[21] **Marwana Aminou Muangongo Ivanete** , (Influence de la présence de sulfates sur le traitement du sol argileux par des ajouts minéraux) , Université Djilali Bouanaama de Khemis Miliana, 2015.

[22] **AYADI Walid abdelghani GUENOUNE Abdelmalek** , (Valorisation des sables locaux dans la formulation de béton ordinaire) , UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES , 2016.

[23] **GOUAL Idriss 2012** ,(Comportement mécanique et hydrique d'un mélange de tuf et de sable calcaire de la région de Laghouat: Application en construction routière). Université ABOUBAKR Belkaid – TLEMCEM.

[24] **CFTr - info. 2002**. Le traitement des sols, note d'information du comité français pour les techniques routières, N° 06, janvier.

Annexe A :

Photos et figures

Tableau B1: Anlyse granulométrique

Poids de l'échantillon (g)	Tamis (mm)	Poids refus Partiels (g)	Poids refus Cumulés (g)	Poids refus Cumulés (%)	Complément à100	Tamisats %
	80					
	50					
	31.5					
	20					
	10	10.56	10.56	1.056	98.44	98
	5	12.56	23.12	2.312	97.688	98
	2	20.79	43.91	4.391	95.609	96
	1	20.60	64.51	6.451	93.549	94
	0.4	90.35	154.86	15.48	84.52	85
	0.2	155.20	310.06	31.006	68.99	69
	0.1	229.06	539.12	53.912	46	46
	0.08	10.67	549.79	54.979	45.02	45

Tableau B2: Anlyse sédimentométrique

Température C	Temps	Durée de chute	R=R-1000 R:lecture au densimètre	Correction (C)	Lecture corrigée R1= R+C Ou R1=R-C	Diamètre (D)	Des Eléments (D) sur l'ensemble de l'échantillon
17.8°	8	30	11	0.380	10.62	0.075	45%
17.8°		01	9	0.380	8.62	0.055	36.52%
17.8°		02	8	0.380	7.62	0.038	32.28%
17.8°		05	5.5	0.380	5.12	0.025	21.69%
17.8°		10	5.5	0.380	5.12	0.017	21.69%
17.8°		20	4	0.380	3.62	0.012	15.33%
17.8°		40	3	0.380	2.62	0.008	11.10%
17.8°		80	2.5	0.380	2.12	0.006	8.98%
17.8°		160	1	0.380	0.62	0.004	2.62%
17.8°		320	1	0.380	0.62	0.003	2.62%
17.8°	24	1440	1	0.380	0.62	0.002	2.62%
17.8°	48		1	0.380	0.62	0.001	2.62%
17.8°	72		1	0.380	0.62	0.0005	2.62%

Tableau B3: Evolution de RC de mélanges (MBC)

	Age (jours)	Pourcentages %	La lectures			La force (KN)			RC (Mpa)			Moyen Rc (Mpa)
MBC (boue+chaux)	7	2	0.058	0.078	0.072	1.130	1.636	1.484	0,576	0,834	0,756	0,795
		4	0.059	0.064	0.080	1.155	1.282	1.687	0,589	0,653	0,860	0,7565
		6	0.094	0.101	0.104	2.041	2.218	2.294	1,040	1,130	1,169	1,1495
	14	2	0.058	0.061	0.075	1.130	1.206	1.560	0,576	0,615	0,795	0,705
		4	0.115	0.125	0.111	2.572	2.825	2.471	1,311	1,439	1,259	1,336
		6	0.134	0.128	0.120	3.053	2.901	2.699	1,556	1,478	1,375	1,470
	28	2	0.122	0.109	0.102	2.749	2.420	2.243	1,401	1,233	1,143	1,317
		4	0.142	0.163	0.119	3.255	3.787	2.673	1,659	1,930	1,362	1,795
		6	0.145	0.102	0.117	3.331	2.243	2.623	1,697	1,143	1,337	1,517
	60	2	0.112	0.103	0.107	2.496	2.269	2.370	1,272	1,156	1,208	1,24
		4	0.176	0.156	0.164	4.116	3.610	3.812	2,097	1,839	1,942	1,959
		6	0.186	0.194	0.178	4.369	4.571	4.166	2,226	2,329	2,123	2,2775

Tableau B4: Evolution de RC de mélanges (MBCT)

	Age (jours)	Pourcentages %	La lectures			La force (KN)			RC (Mpa)			Moyen Rc (Mpa)
MBCT (boue+ciment)	7	2	0.024	0.021	0.018	0.270	0.194	0.118	0,138	0,099	0,060	0,119
		4	0.044	0.041	0.041	0.776	0.700	0.700	0,395	0,357	0,357	0,370
		6	0.058	0.058	0.056	1.130	1.130	1.08	0,576	0,576	0,550	0,567
	14	2	0.063	0.064	0.058	1.257	1.282	1.130	0,641	0,653	0,576	0,623
		4	0.068	0.090	0.074	1.383	1.940	1.535	0,705	0,989	0,782	0,825
		6	0.134	0.0.82	0.138	3.053	1.737	3.154	1,556	0,885	1,607	1,582
	28	2	0.0940	0.0940	0.0914	2.041	2.041	1.965	1,040	1,040	1,001	1,04
		4	0.104	0.135	0.142	2.294	3.073	3.255	1,169	1,566	1,659	1,613
		6	0.183	0.226	0.208	4.293	5.345	4.925	2,188	2,724	2,510	2,617
	60	2	0.076	0.067	0.083	1.586	1.358	1.763	0,808	0,692	0,898	0,853
		4	0.139	0.149	0.132	3.179	3.432	3.002	1,620	1,749	1,530	1,633
		6	0.303	0.256	0.261	7.116	6.035	6.150	3,626	3,075	3,134	3,278

Tableau B5: Evolution de RC de mélanges (MBM)

	Age (jours)	Pourcentages %	La lectures			La force (KN)			RC (Mpa)			Moyen Rc (Mpa)
MBM (boue+chaux+ciment)	7	2+2	0.046	0.063	0.073	0.827	1.257	1.510	0,421	0,641	0,769	0,610
		2+4	0.086	0.099	0.089	1.839	2.167	1.914	0,937	1,104	0,975	1,005
		2+6	0.114	0.125	0.115	2.547	2.825	2.572	1,298	1,439	1,311	1,349
	14	2+2	0.071	0.074	0.079	1.459	1.535		0,743	0,782	0,846	0,790
		2+4	0.111	0.117	0.102	2.471	2.623	2.243	1,259	1,337	1,143	1,298
		2+6	0.127	0.079	0.102	2.876	1.661	2.243	1,465	0,846	1,143	1,304
	28	2+2	0.101	0.146	0.140	2.218	3.357	3.205	1,130	1,711	1,633	1,672
		2+4	0.182	0.145	0.106	4.267	3.331	2.345	2,174	1,697	1,195	1,690
		2+6	0.164	0.102	0.192	3.812	2.243	4.520	1,942	1,143	2,303	2,123
	60	2+2	0.119	0.118	0.127.	2,673	2,648	2,876	1,36	1,35	1,47	1,393
		2+4	0,145	0,170	0.138	3,331	3,964	3,154	1,70	2,02	1,61	1,777
		2+6	0,205	0,218	0,174	4,849	5,161	4,065	2,47	2,63	2,07	2,390

Tableau B6: Evolution de RC de mélanges (MBCT) après immersion

	Age (jours)	Pourcentages %	La lectures			La force (KN)			RC (Mpa)			Moyen Rc (Mpa)
MBCT	28+1j	6	0.028	0.035	0.029	0,371	0,548	0,397	0,189	0,279	0,202	0.223
	28+4h	6	0.045	0.045	0.045	0,801	0,801	0,801	0,408	0,408	0,408	0.408

Tableau B7: Evolution de Rt de mélanges (MBCT)

	Age (jours)	Pourcentages %	La lectures			La force (KN)			RC (Mpa)			Moyen Rc (Mpa)
MBCT	14	6	0.017	0.013	0.014	0,093		0,017	0,024		0,004	0,014
	28	6	0.016	0.015	0.011	0,068	0,042		0,017	0,011	0,000	0,014
	56	6	0,013	0,019	0,015		0,144	0,042		0,037	0,011	0,024

Tableau B8: Evolution de Rt de mélanges (MBM)

	Age (jours)	Pourcentages %	La lectures			La force (KN)			RC (Mpa)			Moyen Rc (Mpa)
MBM	14	2+6	0.036	0.042	0.039	0.594	0.725	0.650	0,151	0,185	0,166	0,167
	28	2+6	0.045	0.055	0.052	0,801	1,054	0,978	0,204	0,269	0,249	0,241
	56	2+6	0,069	0,070	0,067	1,408	1,434	1,358	0,359	0,365	0,346	0,356