



République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة عباس لغرور خنشلة



Université Abbès Laghrour Khenchela-Algérie-

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département d'Ecologie et Environnement

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention d'un diplôme de Master

FILIERE : ECOLOGIE ET ENVIRONNEMENT

OPTION : Protection des écosystèmes

**Evaluation des méthodes de traitement des
boues issues du forage pétrolier (stabilisation,
solidification et désorption thermique)**

Cas du Sud Algérien.

Présenté par : **ZAATOUR Smail**

Sous la direction de : **Dr HALIMI Samia**

MCA, Université Abbès Laghrour Khenchela

Devant le jury

Président : Mr SALHI Zin El Abidine MAA, Université Abbès Laghrour Khenchela

Examinatrice : Dr ADDAD Dalila MCA, Université Abbès Laghrour Khenchela

Année Universitaire : 2020/2021

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à mes parents, à mes frères et sœurs et à mes amis.

REMERCIEMENTS

Je tiens avant tout à remercier Dieu pour m'avoir inspiré la volonté et le courage d'acheminer ce travail jusqu'à la fin.

Mes remerciements vont d'abord à mon encadreur Dr HALIMI. Samia qui, avec son expérience, m'a guidé le long de la réalisation de ce travail. Ces conseils et recommandations ont été précieux pour l'aboutissement de ce travail.

Je tiens aussi à remercier Dr ADDAD. Dalila pour l'intérêt qu'elle a porté à ce mémoire en acceptant de l'examiner. Mes vifs remerciements vont à Mr SALHI Zin El Abidine pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury de soutenance.

Enfin, je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail et il me serait impossible de citer tous, mais j'en suis sûr qu'ils s'y reconnaîtront dans ce remerciement.

Résumé

Le forage est le seul moyen d'extraire le pétrole du sol, et le travail sur cette méthode nécessite des moyens et des équipements parmi eux la boue de forage, qui joue un rôle essentiel dans le nettoyage du puits de déblais générés par la roche creusée entraînant à l'accumulation des déchets en surface ayant des effets négatifs sur l'environnement et sur la santé, dans ce mémoire on' a essayé d'aborder les deux méthode principales utilisées à Hassi Messaoud et d'autres régions de Sud d'Algérie (la méthode de stabilisation/ solidification et la désorption thermique) pour traiter ces déchets en réduisant leur effet polluant à des niveaux acceptables, prenant en considération l'efficacité de chaque méthode, la méthode stabilisation/ solidification est connue par sa caractéristique diminuant le taux des métaux lourds et dans une moindre mesure la teneur en hydrocarbures liés à ces déchets, tandis que la méthode de désorption thermique a un effet primordiale dans l'élimination de ces hydrocarbures a des valeurs presque nulles. La méthode S/S à un effet temporaire allant jusqu'à 50 ans, alors que la méthode thermique a un effet permanent c'est pourquoi elle est coûteuse.

Mots clés : Forage, boue, déblais, environnement, santé, stabilisation, solidification, désorption thermique, hydrocarbures, métaux lourds.

Abstract

Drilling is the only way to extract oil from the ground, and the work on this method requires tools and equipment among them we find drilling mud, which plays an important role in cleaning up the wells from cuttings generated by the drilled rocks resulting in the accumulation of surface wastes with obvious effects on the environment and health, In this dissertation we tried to address two main methods used in Hassi Messaoud and other southern regions in Algeria (stabilization/solidification method and thermal desorption) to treat these wastes by reducing its polluting effect to acceptable levels, taking into account the effectiveness of each method. The stabilization/solidification method is known by its characteristic reducing the rate of heavy metals and low effect on the presence of oil on these wastes, while the thermal desorption method has a primary effect in the removal of the oil near-zero values. The S/S method has a temporary effect of up to 50 years, while the thermal method has a permanent effect, that's why it costs more than S/S method.

Keywords: Drilling, mud, cuttings, environment, health, stabilization, solidification, thermal desorption, oil, heavy metals.

ملخص

الحفر هو السبيل الوحيد لاستخراج النفط من الأرض ، ويتطلب العمل بهذه الطريقة وسائل ومعدات من بينها طين الحفر ، والذي يؤدي دورا أساسيا في تنظيف البئر من الترسبات الناتجة عن الصخور المحفورة ، مما يؤدي إلى تراكم النفايات السطحية ذات الآثار الضارة بالبيئة والصحة ، وفي هذه المذكرة سنتطرق لطريقتين رئيسيتين المستعملتين في حاسي مسعود والمناطق الجنوبية الأخرى من الجزائر(طريقة التثبيت والتصليب و طريقة الامتصاص الحراري) لمعالجة هذه النفايات عن طريق خفض أثرها الملوث إلى مستويات مقبولة ، ومع مراعاة فعالية كل طريقة ، فإن طريقة التثبيت والتصليب معروفة بخصائصها التي تخفض تركيز المعادن الثقيلة لكن بدرجة أقل المحتوى الهيدروكربوني المرتبطة بهذه النفايات ، في حين أن طريقة الامتصاص الحراري لها تأثير أساسي في التخلص من هذه الهيدروكربونات وتخفيض تركيزها عموما إلى قيمة شبه منعدمة. طريقة التثبيت والتصليب لها تأثير مؤقت يصل إلى 50 سنة ، في حين أن الطريقة الحرارية لها تأثير دائم ، وهذا هو السبب في أنها مكلفة.

الكلمات الرئيسية: الحفر ، الطين ، الترسبات ، البيئة ، الصحة ، التثبيت والتصليب ، الامتصاص الحراري ، الهيدروكربونات والمعادن الثقيلة.

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE ET OBJECTIFS DE TRAVAIL	1
II. HISTORIQUE DU FORAGE	3
II.1 GENERALITE SUR LE FORAGE	3
II.2 PRESENTATION DE L' APPAREIL DE FORAGE	4
II.3 LES FLUIDES DE FORAGE	7
II.3.1 <i>Les boues de forage</i>	8
II.3.2 <i>Classification des boues de forage</i>	9
II.3.2.1 Boue de forage à base d'huile (OBM)	9
II.3.2.2 Boue de forage à base d'eau (WBM).....	9
II.3.3 <i>Composition chimique de la boue de forage</i>	10
II.3.4 <i>Circuit des boues</i>	11
II.3.4.1 Composants indésirables des boues	12
II.3.5 <i>Le devenir des rejets de fluides de forage</i>	13
II.4 LES BOURBIERS	13
II.4.1 <i>Influence des bourbiers sur l'environnement</i>	15
III. STRATEGIE D'ETAT ALGERIEN ET, PARTANT SONATRACH DANS LE DOMAINE ENVIRONNEMENTAL	15
IV. INTRODUCTION	19
V. LES DIFFERENTS BASSINS PETROLIERS DANS LE SAHARA	19
VI. GEOLOGIE DE LA PLATE-FORME SAHARIENNE	20
VII. ETAT DES LIEUX DES ENERGIES FOSSILES EN ALGERIE	22
VII.1 GAZ NATUREL.....	22
VII.2 GAZ DE SCHISTE	22
VII.3 PETROLE.....	23
VIII. LE BOURBIER ET SON IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT	23
IX. METHODES DE TRAITEMENT DE LA BOUE	24
IX.1 LES TRAITEMENTS EN MODES ONLINE (AU COURS DU FORAGE)	25
IX.2 TRAITEMENT EN MODE OFFLINE	26
IX.2.1 <i>Traitement physico-chimique</i>	26
IX.2.2 <i>Traitement thermique</i>	26
X. METHODE I : PROCEDE DE TRAITEMENT PAR STABILISATION/SOLIDIFICATION	27
X.1 DESCRIPTION DES PROCEDES	27

X.2 RESULTATS ET DISCUSSIONS.....	34
XI. METHODE II : TRAITEMENT THERMIQUE (THERMAL DESORPTION UNIT TDU, OU THERMAL PHASE SEPARATION TPS).....	36
XI.1 PRINCIPE DE LA DESORPTION THERMIQUE	37
XI.2 DESCRIPTION DU PROCEDE DE TRAITEMENT	37
XI.3 CONTROLE DE CONFORMITE DU TRAITEMENT PAR DESORPTION THERMIQUE.....	39
XII. COMPARAISON ENTRE L'EFFICACITE DES DEUX METHODES.....	42
CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS	43

Liste des tableaux:

Tableau 1: législations sur l'environnement en Algérie	16
Tableau 02: Les réactifs utilisés dans le traitement de solidification	30
Tableau 03: Consommation de matières premières (additifs) utilisées par jour pendant le traitement	31
Tableau 4: volume quotidien traité et le pourcentage d'huile enregistrés sur les déblais au cours du traitement du puits	33
Tableau 05: Résultats d'analyse avant et après traitement des rejets du bassin Asskarene (1 ^{er} prélèvement 2019)	35
Tableau 06: Résultats d'analyse avant et après traitement des rejets du bassin Asskarene (2 ^{eme} prélèvement 2019)	35
Tableau 07: Résultats d'analyses des 2 échantillons des bourbiers avant et après le traitement désorption thermique.....	39

Liste des figures:

Figure 01: Processus de forage	4
Figure 02: System de puissance (Caterpillar générateur).....	5
Figure 03: Système de levage (Hoisting system)	5
Figure 04: Système de rotation (Rotating system)	6
Figure 05: Système d'obturateur BOP (Blow out preventer).....	6
Figure 06: Cycle du fluide sur le site de forage	7
Figure 07: Schéma de circulation de la boue sur le site de forage	12
Figure 08: Site de stockage des boues de forage (bourbier)	14
Figure 09: Schéma des impacts des bourbiers sur l'environnement	15
Figure 10: Carte des différents bassins pétroliers dans le Sahara	20
Figure 11: Coup géologique régionale	21
Figure 12: carte des gisements pétroliers et gaziers en Algérie.	23
Figure 13: Pollution des sables de la région de HMD du à cause des bourbiers	24
Figure 14: Bourbier dû à la fracturation hydraulique à In Salah lors du forage de schiste Ahnet en association avec la société Française Total	24
Figure 15: Schéma explicatif du traitement mécanique	26
Figure 16: Schéma fonctionnel d'une unité de Stabilisation Solidification	29
Figure 17 : Phénomène d'encapsulation	29
Figure 18: Quantité de silicate utilisé	32
Figure 19: Quantité du ciment utilisé	32
Figure 20: Volume de déblais traité	34
Figure 21: Moyenne d'OOC dans les déblais à traiter	34
Figure 22: Concentration des métaux lourds avant et après traitement (1 ^{er} prélèvement 2019)	35
Figure 23: Concentration des métaux lourds avant et après traitement (2 ^{ème} prélèvement 2019).....	36

Figure 24: Schéma du procédé de traitement thermique de la boue de forage	38
Figure 25: Le sable décontaminé lors du traitement par la méthode thermique	39
Figure 26: Histogrammes de variations des OOC% (bourbiers 01 et 02).....	40
Figure 27: Histogrammes de variation des métaux lourds (bourbier 01).....	40
Figure 28: Histogrammes de variation des métaux lourds (bourbier 02).....	41
Figure 29: Bourbier avant et après traitement.....	41

Liste des sigles et abréviations:

E&P: Exploration et Production.

ETM: Eléments Traces Métalliques.

HC: Hydrocarbures.

HMD: Hassi Messaoud.

MA: Million d'Années

OBM: Oil Based Mud (boue à base d'huile).

Off-shore: Tous types de forage pétrolier qui s'effectue en mer, océan ou golfs.

OGJ: Oil&Gas Journal

On-shore: Tous types de forage pétrolier qui s'effectue à terre.

OOC: Oil On Cutting.

PH: Potentiel Hydrogène

S/S: Solidification/ Stabilisation.

TDU : Thermal desorption unit (Unité de désorption thermique)

TPS: Thermal phase separation (Phase de séparation thermique)

U.S.A: United States of America (Les Etats unis).

WBM: Water Based Mud (Boue à base d'eau).

W/W: Weight per Weight (Concentration massique d'une solution).

Introduction

générale

Introduction générale et objectifs de travail

Chaque année, une centaine de nouveaux puits de pétrole et de gaz sont forés en Algérie soit en exploration, soit en développement, utilisant différents types de fluides de forage. (Benkacimi, 2013)

Aujourd'hui, la préparation des fluides de forage doit résoudre une difficulté majeure. En effet, comment satisfaire aux conditions de température et de pression de plus en plus rigoureuses requises dans certains puits profonds et dans les puits horizontaux, tout en préservant l'environnement. (Benkacimi, 2013)

Les composants des fluides de forage doivent être rigoureusement sélectionnés afin que les rejets de boue ou de déblais aient un impact minimal sur l'environnement. Les considérations environnementales sont donc, un élément moteur des initiatives de recherche et de développement actuelles concernant les fluides de forage. Le choix des fluides de forage est également dicté par les impératifs de santé des foreurs et les produits sont sélectionnés de façon à minimiser les risques sanitaires (Benkacimi, 2013)

Durant et jusqu'à la fin du forage, ces fluides et ces déblais sont rejetés dans une crevasse spécialement préparée appelée bournier. Le déversement de ces polluants dans l'environnement s'ensuit d'un risque majeur de contamination du milieu récepteur qui pourrait provoquer des effets néfastes sur la santé humaine et l'environnement. (Benkacimi, 2013)

Dans les champs pétrolifères du sud algérien, le souci majeur de SONATRACH à l'égard des problèmes ayant une liaison avec les boues de forage, demeure de préserver la santé de ses employés, le cheptel des nomades qui tombe parfois dans les bourniers et surtout les réserves stratégiques en eau que recèle le système de l'aquifère du Sahara Septentrional.

Actuellement, deux procédés de traitement des déblais contenus dans les bourniers de forage sont utilisés, à savoir la Solidification/Stabilisation (S/S) et la Séparation Thermique de Phases. Cependant, ces deux techniques présentent entre autres inconvénients, l'incapacité de prendre en charge les solides dont la teneur en hydrocarbures est importante >20% en poids des cuttings (Benkacimi, 2013).

Dans l'objectif d'approcher l'équation performances - environnement, ce mémoire s'articule autour de deux parties distinctes.

Dans la première partie, il était nécessaire d'introduire quelques définitions utilisées par les pétroliers au sujet du forage et des fluides de forage. En raison de l'importance des fluides de forage utilisés les forages pétroliers, et leur importance technico-économique, après un tour

Introduction générale et objectifs de travail

d'horizon sur les impacts de la pollution engendrée par les fluides de forage, nous traitons certains aspects relatifs aux techniques de traitement de cette pollution.

La seconde partie est consacrée à travers une série d'expériences à l'étude du traitement par solidification/stabilisation et le traitement thermique, en étudiant les performances des deux méthodes et en optimisant par un plan d'expériences les paramètres les régissant. Des conclusions et perspectives sont présentées pour clôturer ce mémoire.

Partie I

Bibliographique

II. Historique du forage

En aout 1859, le colonel DARKE fora son premier puits de pétrole, à vingt-trois mètres de profondeur près de Titusville en Pennsylvanie (U.S.A), il employa le système de forage par battage au câble qui utilise, pour attaque le terrain, l'impact d'un lourd trépan suspendu au bout d'un câble qui lui transmet, depuis la surface, un mouvement alternatif créé par un balancier.

Lorsque les foreurs avaient affaire à d'autres régions ou ils découvrirent des terrains plus difficiles, le procédé de forage rotary a été utilisé les premiers essais de cette technique semblent avoir été faits sur le champ de Corsicana (Texas), en 1901 J.F.LUCAS, a fora au moyen d'un appareil de forage rotary le premier puits dans le champ de Spindletop près de Beaumont (Texas). (Boudouh, 2013)

II.1 Généralité sur le forage

Le forage pétrolier est l'ensemble des opérations permettant d'atteindre les roches poreuses et perméables du sous-sol, 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.

Ces études permettent de se faire une idée de la constitution du sous-sol et des possibilités de gisements, mais elles ne peuvent préciser ou non la présence d'hydrocarbures. Seuls les forages pourront confirmer les hypothèses faites et mettre en évidence la nature des fluides contenus dans les roches (Fig.1).

Pour des raisons techniques évidentes il est indispensable de faire un trou qui soit de diamètre constant depuis la surface jusqu'à de telles profondeurs; le puits sera donc constitué de sections successives, de diamètres de plus en plus petits. Entre chaque phase de forage le trou est "tubé", c'est-à-dire cuvelé par une colonne de tubes en acier : le cuvelage, plus communément appelé tubage.

Cette colonne de tubage est ensuite cimentée : la succession des tubages cimentés correctement permet d'assurer un passage étanche jusqu'au réservoir. (Braik, 2017)

Il existe deux types de forage :

- a) Les forages d'exploration : incluent les opérations de forage permettant de déterminer la présence potentiel ou non d'un gisement d'hydrocarbures.
- b) Les forages de développement: incluent les opérations de forage une fois qu'un gisement d'hydrocarbure a été découvert et délimité.

II.2 Présentation de l'appareil de forage

L'appareil de forage est composé de cinq systèmes (Messaoudi, 2012) :

- Système de puissance (Fig.2).
- Système de levage (Fig.3).
- Système de circulation.
- Système de rotation (Fig.4).
- Système obturateurs (Fig.5).

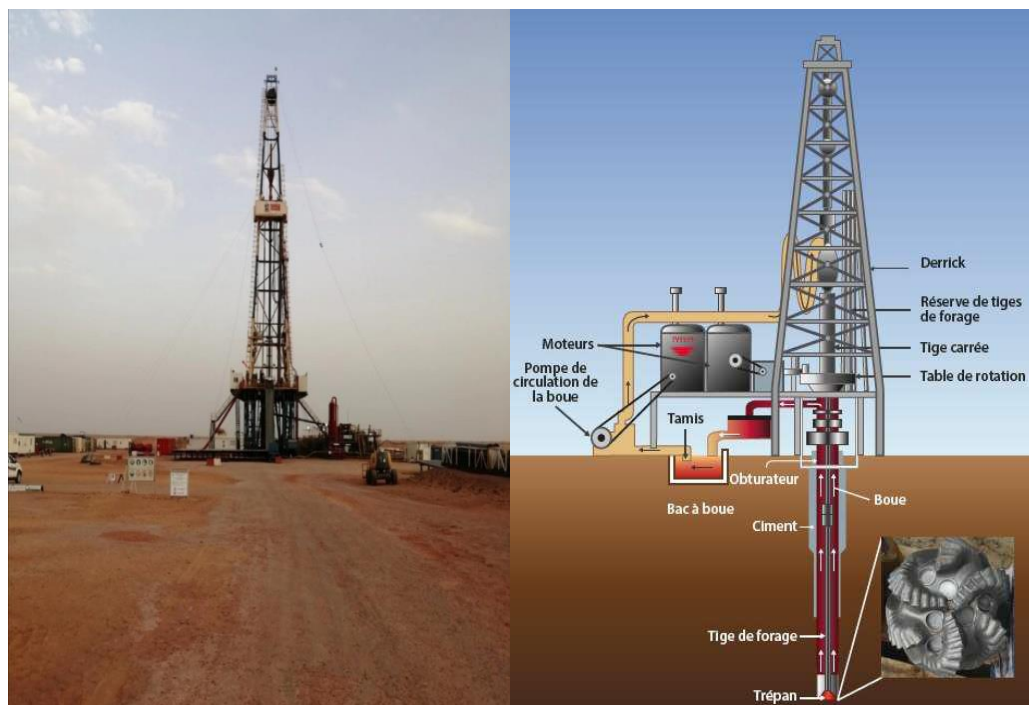




Figure 02: System de puissance (Caterpillar générateur) [A1]

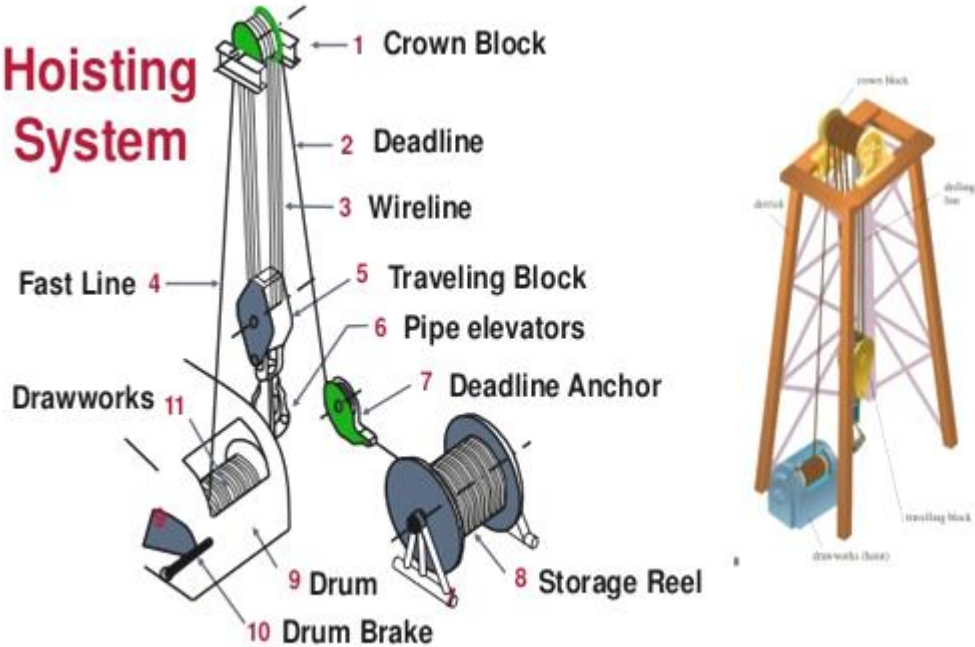


Figure 03: Système de levage (Hoisting system) [A2]

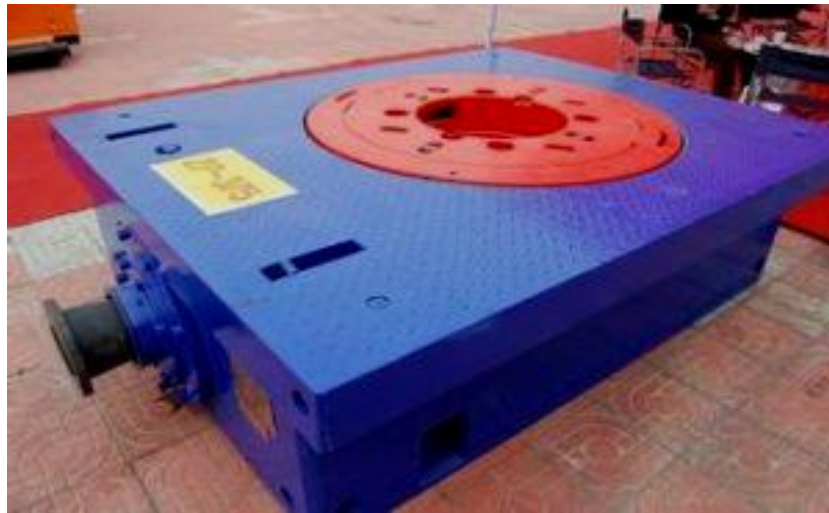


Figure 04: Système de rotation (Rotating system) [A3]

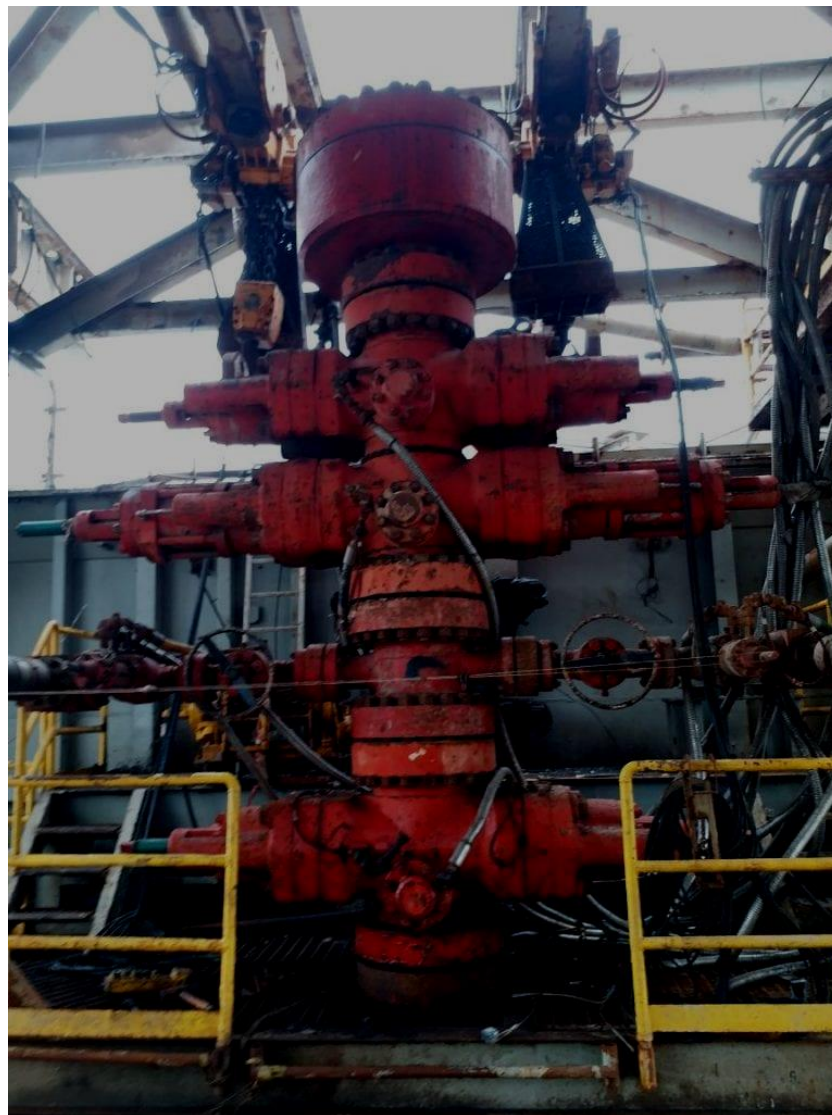


Figure 05: Système d'obturateur BOP (Blow out preventer) [A4]

II.3 Les fluides de forage

Les fluides sont des substances susceptibles de s'écouler ; ils prennent la forme du récipient qui les contient. Lorsqu'ils sont en équilibre, les fluides ne peuvent opposer de résistance aux forces tangentielles ou transverses. Tous les fluides présentent un certain degré de compressibilité et n'offrent aucune résistance aux changements de forme. On peut répartir les fluides en liquides et en gaz (Lokata, 2015).

Le fluide de forage, appelé aussi boue de forage, est un mélange composé de différents constituants liquides (eau, huile) et/ou gazeux (air ou gaz naturel) contenant en suspension d'autres additifs minéraux et organiques tels que les argiles, polymères, tensioactifs, déblais, ciments... etc.

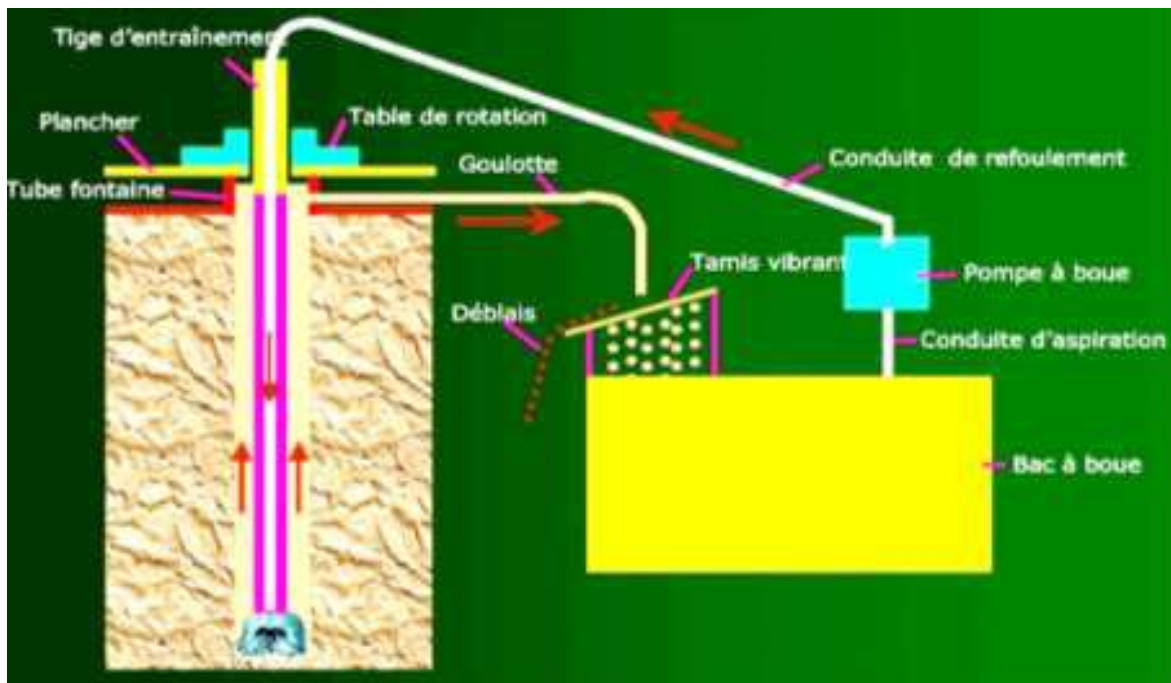


Figure 06: Cycle du fluide sur le site de forage (Lokata, 2015)

Le fluide de forage est préparé dans des bassins ou bacs à boues puis injecté à l'intérieur des tiges jusqu'à l'outil. De ce dernier, il remonte dans l'annulaire, chargé des déblais formés au front de taille (Figure.6). À la sortie du puits, il subit différents traitements notamment :

- Tamisage
- Dilution ;

▪ Ajout de produits de façon à éliminer les déblais transportés et à réajuster ses caractéristiques physico-chimiques à leurs valeurs initiales, c'est-à-dire avant son injection à l'intérieur des tiges. Il est ensuite réutilisé dans le processus (Lokata, 2015).

L'utilisation des fluides 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:

- Nettoyage du puits,
- Maintien des déblais en suspension,
- Sédimentation des déblais fins en surface,
- Prévention du cavage et des resserrements des parois du puits,
- Dépôt d'un cake imperméable,
- Prévention des venues d'eau, de gaz, ou d'huile,
- Entraînement de l'outil,
- Apport de renseignements sur le sondage,
- Augmentation de la vitesse d'avancement,
- Refroidissement et lubrification de l'outil et du train de sonde,
- Contamination des formations productrices,
- Corrosion et usure du matériel,
- Toxicité et sécurité,
- Diminution du poids apparent du matériel de sondage. (Khemidja, 2016)

II.3.1 Les boues de forage

La boue de forage est un mélange plus au moins complexe d'un liquide de base (eau ou l'huile) avec des produits divers (argiles, produits chimiques) et elle peut être subdivisée en deux types: boue à base d'eau (WBM) et boue à base d'huile (OBM).

L'expression "fluide de forage" désigne le fluide de base ainsi que les produits chimiques ajoutés qui constituent le fluide utilisé pendant les opérations de forage.

Partie I : Généralités sur le forage pétrolier et les bourbiers

Le fluide de forage est le mélange d'un fluide de base (eau ou huile) avec une dispersion solide, permettant un ajustement de la densité, ainsi que de nombreux additifs. Le contrôle des propriétés de cette dispersion est fondamental pour le bon déroulement du forage.

Le mélange doit avoir une viscosité apparente peu élevée pour limiter les pertes de charge d'écoulement, mais une viscosité grande lors des arrêts de circulation afin d'éviter la sédimentation des déblais dans le fond du puits.

Les supports de ces fluides peuvent être de l'eau ou de l'huile ; les appellations sont alors « boue à l'eau » ou « boue à l'huile ».

Le fluide de forage qui, à l'origine était considérée uniquement comme un véhicule de transport des débris jusqu'à la surface, est maintenant reconnu comme l'un des facteurs majeurs pour le succès d'une opération de forage. La vitesse d'avancement, le rendement, la sécurité et le prix de revient du forage dépende des qualités du fluide utilise. (Boudouh, 2013).

II.3.2 Classification des boues de forage

Les fluides sont composés de différentes combinaisons de solides, liquides, et gaz et sont classés selon la constitution de la phase continue. (Boudouh, 2013).

II.3.2.1 Boue de forage à base d'huile (OBM)

La phase continue de ces fluides est une huile minérale (pétrole brut, fuel, gaz oil, etc.) et la phase dispersée (discontinue) est de l'eau, dont la proportion petite atteindre 50% ou plus en volume. Des tensio-actifs (émulsifiants et agents mouillants à l'huile) sont ajoutés à cette boue afin d'assurer une bonne stabilité de l'émulsion et une meilleure suspension des solides.

II.3.2.2 Boue de forage à base d'eau (WBM)

Les fluides de forage à base d'eau sont des fluides dont la phase continue est de l'eau éventuellement chargée en électrolytes comme NaCl et KCl. Auparavant ces fluides constituent le type de boue le plus utilisé dans les domaines du forage. Actuellement, elles sont utilisées surtout comme boues de démarrage de puits ou pour forer des terrains inertes ne posant pas de problèmes de dispersion et de gonflement des minéraux argileux ou en absence de formations productrices d'hydrocarbures.

II.3.3 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 (Boukhalfa, 2017).

Pour la boue à base d'eau, la phase continue n'est que cette eau justement, éventuellement chargée en Na Cl. 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 aspartiques sont interdits, de la glossite, 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. 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 (Chergui, 2019)

II.3.4 Circuit des boues

Pendant toute la durée du forage d'un puits, un fluide est en circulation aussi bien dans le puits qu'en surface. Le fluide préparé dans des bacs à boues est injecté à haute pression à l'intérieur des tiges de forage jusqu'à l'outil. Ce fluide (boue de forage) sort au niveau des événements de l'outil de forage à une vitesse suffisante pour pouvoir entraîner les morceaux de roche forés jusqu'en surface par l'espace annulaire compris entre les tiges de forage et les parois du puits.

En surface, les débris de roches sont séparés de la boue en passant sur des tamis vibrants qui retiennent la roche en laissant passer le fluide. Si nécessaire, des traitements complémentaires (dessablage, etc.) sont effectués de manière à ce que la boue nettoyée ait retrouvé ses propriétés requises (viscosité, densité, ...). Elle est alors renvoyée dans les bacs à boue où elle est réinjectée dans le puits. Elle circule donc en circuit fermé (Fig.7) (Lokata, 2015).

Les bacs à boue sont de grands réservoirs métalliques et rectangulaires avec des conduites se connectant entre elles. Ils sont équipés d'agitateurs, des détecteurs de niveau, des thermocouples, des densimètres, des équipements de contrôle des solides, de traitement chimiques et plusieurs autres accessoires.

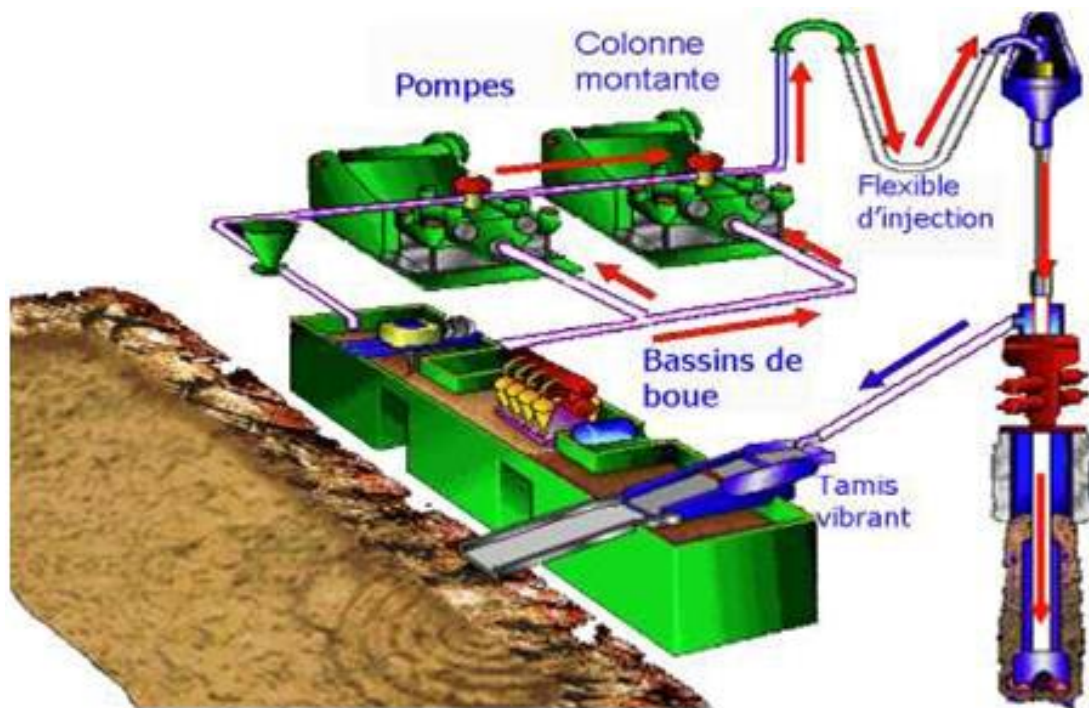


Figure 07: Schéma de circulation de la boue sur le site de forage (Lokata, 2015)

Certains bacs sont employés pour faire circuler la boue au fond du trou, d'autres pour décanter les solides forés, pour le mélange et/ou le stockage de la boue neuve. Ils représentent le gros du circuit de circulation en surface (Mvuala, 2015).

II.3.4.1 Composants indésirables des boues

Les composants indésirables les plus présents dans les fluides de forage sont les hydrocarbures, les métaux lourds, et les sels. Une brève description est donnée ci-dessous: (Reguig, 2019).

A) Hydrocarbures

Quand une formation traversée contient des hydrocarbures, le fluide de forage se trouve contaminé par l'huile de la formation. L'huile de certaines formations est un composant indésirable car il contamine les déblais.

B) Métaux lourds

Les métaux lourds peuvent se mélanger avec les fluides de forage selon deux cas :

- Les formations forées contiennent l'arsenic, le baryum, le cadmium, le chrome, le plomb et mercure.

- Les additifs des fluides de forage contiennent du baryum qui vient des agents alourdissant de la baryte et du chrome qui vient des défloculants chrome-lignosulfonate. Baryte minéral, utilisée pour le contrôle de la densité, peut avoir de grandes quantités naturelles de cadmium et de mercure.

C) Les Sels

La concentration des sels, comme le chlorure de sodium ou de potassium dans les fluides de forage peut aussi considérablement augmenter, spécialement quand les puits forés traversent des dômes de sel ou des formations ayant de l'eau très salée.

II.3.5 Le devenir des rejets de fluides de forage

A la sortie du puits, le fluide de forage remonte chargé de déblais. Ces derniers séparés du fluide de forage par tamisage sont rejetés dans une grande excavation réalisée à cet effet appelé Bourbier.

Bien que n'entrant pas à proprement parler dans le circuit boue, les bourbiers sont très importants pour le technicien des boues. Ce sont des bassins creusés dans le sol à proximité immédiate des tamis vibrants. Ils permettent l'évacuation des eaux usées, des déblais de sondage, et doivent pouvoir contenir toutes les boues que la conduite du forage amènera à évacuer. Leur volume doit donc être fonction du programme. Si cette précaution est superflue dans les régions désertiques, elle revêt toute son importance dans les régions fertiles ou habitées (Lokata, 2015).

II.4 Les bourbiers

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 majeur 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, ...etc.) qui peuvent exister sur les sites de forage. Ces rejets sont généralement stockés dans des endroits appelés 'bourbiers'. (Chikhi, 2019)



Figure 08: Site de stockage des boues de forage (bourbier) (Khemidja, 2016)

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 (Fig.8).

Le bourbier est un lieu d'isolement des déchets de boue du forage les éléments essentiels qui constituent ces déchets sont des hydrocarbures (gasoil), l'eau, et les solides qui contiennent des métaux lourds. (Chergui, 2019)

L'effet des déchets isolés dans le bourbier se manifeste pas rapidement leur impact apparaît après leur transformation. Des procédures sont mises en place pour protéger l'environnement par le traitement des bourbiers, avec des méthodes modernes en modes online et offline, distillation pour récupérer l'eau et le gasoil.

A Sonatrach, le service forage a réalisé des investissements importants afin de faire face aux rejets inhérents à l'activité. Concernant le traitement, deux modes distincts ont été adoptés :

- a. **Les traitements en modes online** : où le prestataire de service de traitement intervient en parallèle avec les travaux de construction du puits.

b. Les traitements en mode offline: où le prestataire de service de traitement intervient après la fin des travaux sur un puits donné et le déménagement de l'appareil de forage.

II.4.1 Influence des bourbiers sur l'environnement

Les bourbiers (cuttings) sont principalement contaminés par des hydrocarbures gasoil ou pétrole (Fig.9), provenant de la boue à base d'huile et des métaux lourds Comme le plomb provenant principalement des additifs de la boue (Chikhi, 2019)

Les cuttings risquent de contaminer le sol et le sous-sol par les actions suivantes :

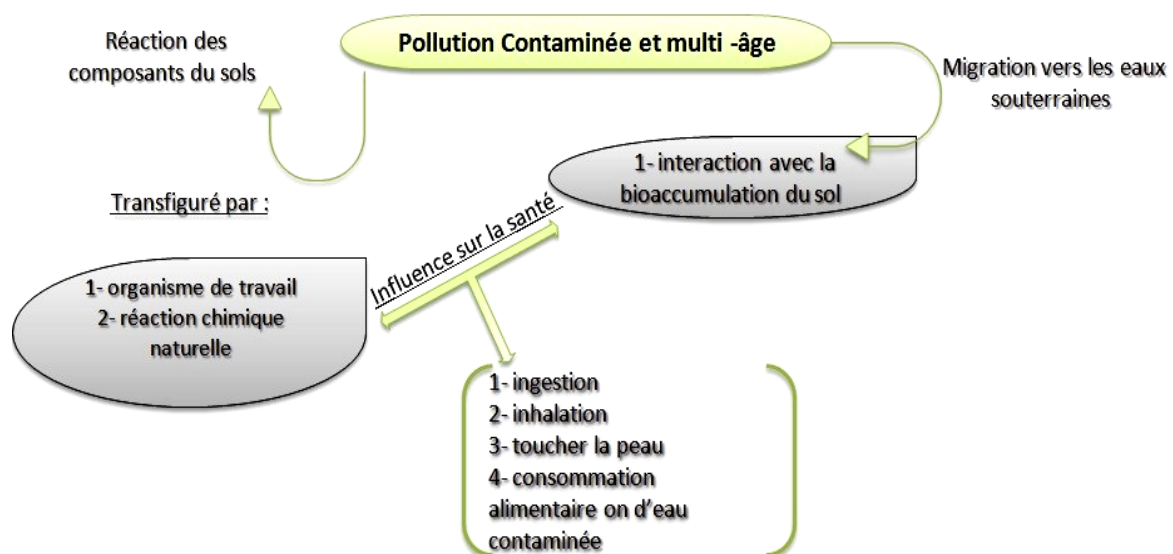


Figure 09: Schéma des impacts des bourbiers sur l'environnement (Reguig, 2019)

III. Stratégie d'état Algérien et, partant Sonatrach dans le domaine environnemental

En partant du principe que le règlement de l'environnement nécessite des traitements adaptés aux déchets industriels et cela pour éviter une dégradation de quelques écosystèmes naturels.

La région du sud Algérien est caractérisée par une industrie pétrolière très forte, ce qui a résulté des déchets industriels avec des éléments désastreux. Pendant les opérations de forage et de l'exploitation des unités de production et de raffinage, s'entassent de grandes quantités de rejets industriels de type liquide et solide.

Ces rejets renferment des produits toxiques principalement, les métaux lourds et les polluants organiques. Ces derniers résultent des problèmes qui menacent l'homme, les animaux et les plantes. À partir de l'année 1990, l'Algérie et la société SONATRACH,

Partie I : Généralités sur le forage pétrolier et les bourbiers

recherchent une stratégie pour éliminer les rejets pétroliers causés par les bourbiers des forages pétroliers.

Pour cela, elle a créé des législations nationales pour la protection de son environnement et consent de grandes dépenses budgétaires pour trouver des solutions envers ces rejets. Mais jusqu'à maintenant, il reste une quantité liquide des rejets qui pénètre dans la nappe phréatique.

Par contre, plusieurs pays, comme Qatar, Angola, ont trouvé des solutions définitives pour ces rejets à travers l'application du principe du forage sans bourbiers (0% décharges). Nous allons pour notre part détailler dans la partie pratique toute la panoplie de cette réglementation et juger son application sur le terrain. (Boukhalfa, 2017)

Tableau 1: législations sur l'environnement en Algérie [B1]

Loi	Loi	Date de promulgation	Signé
Décret N° 81-267	Relatif aux attributions du président de l'assemblée populaire communale en matière de voirie, de salubrité et de tranquillité publique	10/10/1981	BENJEDID Chadli
Décret N° 83-03	Relatif à la protection de l'environnement	05/02/1983	BENJEDID Chadli
Décret N° 83-580	Portant obligation de signalement aux capitaines de navires transportant des marchandises dangereuses, toxiques ou polluantes en cas d'événement en mer	22/10/1983	BENJEDID Chadli
Décret N° 84-378	Fixant les conditions de nettoyage, d'enlèvement des déchets solides	15/12/1984	BENJEDID Chadli

Partie I : Généralités sur le forage pétrolier et les bourbiers

Décret N° 088-228	Définissant les conditions, procédures et modalités d'immersion des déchets susceptibles de polluer la mer, effectuées par les navires ou aéronefs	15/11/1988	BENJEDID Chadli
Décret N° 90-78	Relatif aux études d'impact sur l'environnement	27/02/1990	HAMROUCHE Mouloud
Décret N° 93-68	Relatif aux modalités d'application du texte sur les activités polluantes ou dangereuses pour l'environnement	01/30/1993	BELAAID Abdesslem
Décret exécutif N° 93-162	Fixant les conditions et modalités de récupération et de traitement des huiles usagées	01/07/1993	BELAAID Abdesslem
Décret exécutif N° 93-165	Réglémentant les émissions atmosphériques de fumées, gaz, poussières, odeurs et particules solides des installations fixes	27/07/1993	BELAAID Abdesslem
Décret exécutif N° 93-184	Réglémentant les émissions de bruits	27/07/1993	BELAAID Abdesslem
Décret exécutif N° 94-43	Fixant les règles de conservation des Gisements d'hydrocarbures et de protection aquifères associés.	30/01/1994	RIDHA Malek
Décret exécutif N° 01-09	Portant organisation De l'administration central de ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement	7/01/2001	BENFLIS Ali
Loi N° 01/19	Relatif à la gestion, au control et à l'élimination des déchets.	12/12/2001	BOUTIFLIKA Abd Aziz

Partie I : Généralités sur le forage pétrolier et les bourbiers

Loi N°05-315	fixant les modalités de déclaration déchets spéciaux dangereux	10 /09/2005	Ahmed OUYAHIA
Décret exécutif N°07-144	fixant la nomenclature désinstallations classées pour la protection de l'environnement	19/05/2007	Abd Aziz BELKHADEM
Décret exécutif N°07-145	déterminant le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et des notices d'impact	19/05/2007	Abd Aziz BELKHADEM

Partie II

Expérimentale

IV. Introduction

Le secteur des hydrocarbures est pour plusieurs économies, un maillon essentiel dans toute stratégie énergétique, et une filière incontournable pour le développement d'autres industries (industrie chimique, automobile, etc.).

Dans cette dynamique, les compagnies pétrolières ont entrepris des mesures importantes pour inscrire leurs activités dans une perspective de développement durable, de façon à garantir des services de qualité pour un marché très exigeant, et aussi protéger l'environnement des effets de pollution engendrés par ces activités.

A propos de l'environnement, les activités d'exploration et de production (E&P) génèrent des déchets comme la fraction solide des boues de forage, dont le rejet en pleine nature sans le moindre traitement sera à l'origine de graves impacts mettant en péril l'état de l'environnement et la sécurité de la population. Cette fraction solide est obtenue en aval du procès de forage après le passage de la boue à travers des unités de recyclage du fluide de forage, pour qu'elle soit réinjecter dans le sondage. (Khemidja, 2016).

Concernant le traitement de la fraction solide des boues de forages, les compagnies pétrolières ont mises en œuvre divers procédés de traitement : solidification/stabilisation, désorption thermique...etc. L'objet de ce travail c'est de recycler et valoriser les cuttings issus du forage pétrolier.

V. Les différents bassins pétroliers dans le Sahara

Les gisements d'hydrocarbures d'Algérie sont quasiment tous situés dans la région du Sahara où ils se répartissent dans différents bassins. Le bassin le plus prolifique demeure celui de l'Oued Mya où se trouvent les gisements géants de Hassi Messaoud et de Hassi R'mel, alors que le bassin de Berkine a constitué cette dernière décennie un pôle majeur de développement, notamment avec la découverte des gisements d'Ourhoud et Hassi Berkine Sud. Quant aux bassins du Sud-ouest, ils constituent un pôle d'exploration gazière relativement important, ainsi qu'un début de développement tout aussi important avec la mise en production des gisements gaziers de la région d'In Salah et le lancement du développement des accumulations d'huile de la cuvette de Sbâa.

La province englobe les bassins d'Illizi, Berkine, Oued Mya et le môle Amguid-Messaoud. C'est au sein de cette province, où se trouvent les gisements géants de Hassi Messaoud (huile) et Hassi R'mel (gaz), que l'essentiel des découvertes d'huile et de gaz ont été réalisées jusqu'à aujourd'hui. L'intense activité d'exploration menée dans cette région depuis plus d'une dizaine d'années a permis d'introduire de nouvelles techniques d'exploration,

notamment celles relatives à l'acquisition, le traitement et le retraitement des données de sismique et de forage.

Ces techniques sont à l'origine de la compréhension et de la précision de beaucoup d'aspects (géochimie, modèles sédimentologiques, rôle des failles, cartographie de niveaux sous le sel) qui ont aidé à faire du bassin de Berkine (Fig.10), par exemple, le siège de très nombreuses découvertes, surtout dans le Trias mais aussi dans les niveaux inférieurs du Carbonifère et du Dévonien. Ceci a permis de qualifier ce bassin comme étant l'un des plus riches au monde. (Rabehi, 2017)

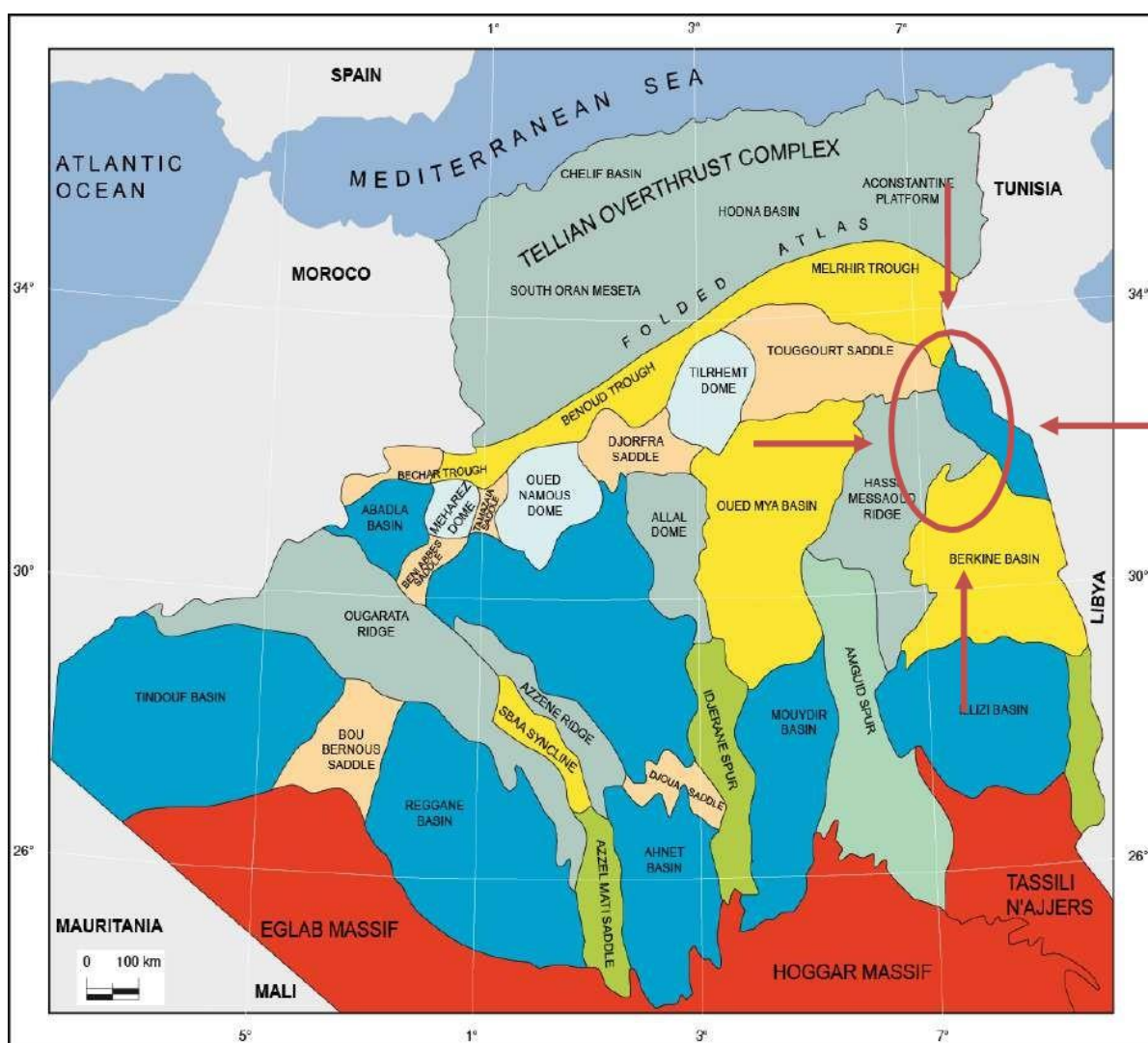


Figure 10: Carte des différents bassins pétroliers dans le Sahara (Rabehi, M 2017)

VI. Géologie de la plate-forme saharienne

L'histoire géologique de la plate-forme saharienne est très ancienne. Son évolution est influencée par la présence de boucliers parfois très vieux, comme le bouclier Reguibat, qui a

acquis sa stabilité entre 1800 et 2000 MA, et de boucliers plus jeunes comme le bouclier Touareg résultant de la phase panafricaine, qui date d'environ 500 MA. (Rabehi, 2017)

Le trait structural majeur est la présence de grandes failles subméridiennes verticales, soulignées par de puissantes bandes de mylonites. Ces accidents subméridiens sont décalés par un réseau de failles conjuguées. Les accidents du socle d'orientation N-S, NE-SO et NO-SE sont au moins d'âge panafricain tardif. Ce réseau de fracturation jouera ultérieurement un rôle important sur la structuration et la sédimentation de la plate-forme saharienne (Fig.11).

Plusieurs phases tectoniques ont modelé la plate-forme saharienne à savoir:

- ✓ La distension cambro-ordovicienne
- ✓ La compression tectonique
- ✓ La compression calédonienne
- ✓ Les différents événements tectono-sédimentaires du Dévonien
- ✓ Les mouvements hercyniens
- ✓ Les événements méso-cénozoïques (phases Autrichienne et Alpine). (Senigra, 2017)

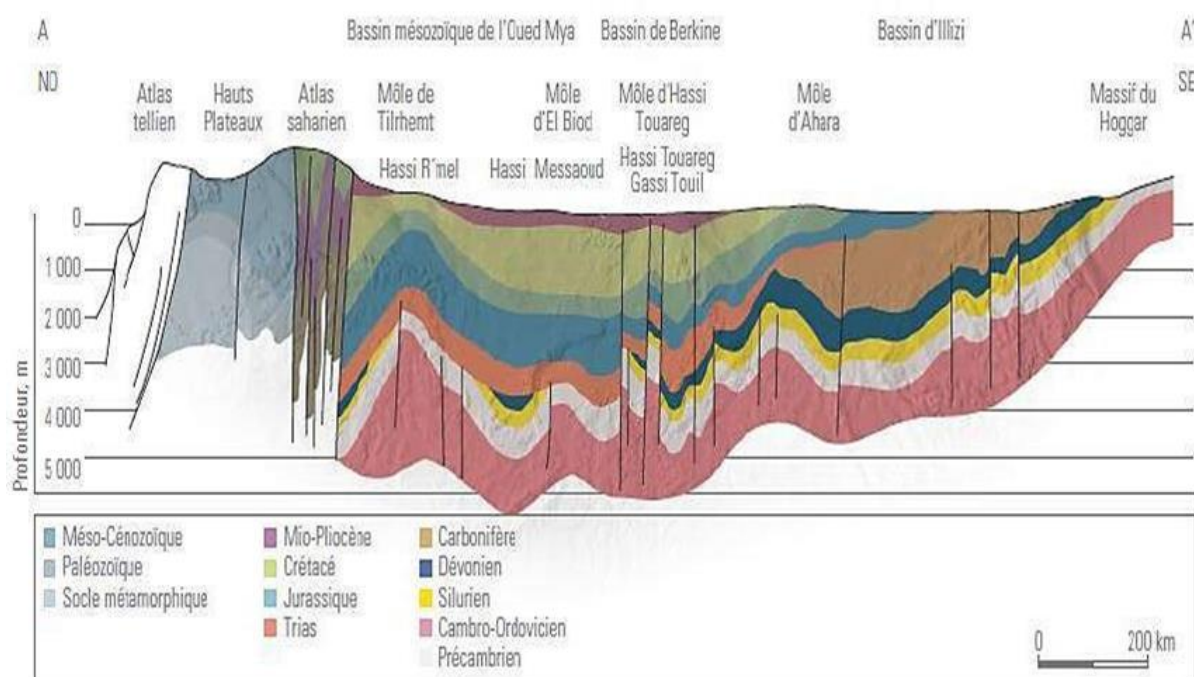


Figure 11: Coup géologique régionale (Senigra, 2017)

La phase orogénique panafricaine, qui prend fin au cours du Cambrien, est suivie d'une période d'érosion importante qui nivelle les structures et reliefs antérieurs.

Les mouvements hercyniens majeurs ont par contre joué un rôle majeur dans la structuration des différents bassins de la plate-forme saharienne et dans la distribution des roches réservoirs. Le résultat est bien visible sur l'écorché pré-mésozoïque de la région de Hassi

Messaoud. Plusieurs forages de la région de Hassi Messaoud et du bassin de l'Oued Mya ont traversé des roches volcaniques intercalées dans des grès attribués au Cambrien (Ra et R2) et à l'Ordovicien. D'après le BEICIP-Sonatrach (1972), on est en présence de coulées plus ou moins basiques ou de fragments sédimentés en même temps que se déposent les grès de Hassi Messaoud. (Belalem, 2017).

VII. Etat des lieux des énergies fossiles en Algérie

VII.1 Gaz Naturel

Selon OGI, l'Algérie comptait 159,1 trillion US de pied cubes (4 500 milliards de m³) de réserves prouvées de gaz naturel en fin 2014, le dixième rang réserves de gaz naturel dans le monde et le deuxième plus grand en Afrique, derrière le Nigeria.

Le plus grand champ de gaz naturel de l'Algérie, Hassi R'Mel, a été découvert en 1956. Situé dans le centre du pays au nord-ouest de Hassi Messaoud, il détient des réserves prouvées d'environ 85 billions de pieds cubes, plus de la moitié du total de l'Algérie réserves prouvées de gaz naturel. Selon le Oil & Gas Journal arabe, Hassi R'Mel représentait les trois cinquièmes de la production brute de gaz naturel de l'Algérie en 2012(Fig.12). Le reste de réserves de gaz naturel de l'Algérie se trouve dans des domaines connexes et non associé dans les régions du sud et du sud-est du pays (Lakehal, 2016)

VII.2 Gaz de schiste

Les réserves algériennes de gaz de schiste sont estimées à 27 000 milliards de m³, c'est la troisième plus grande réserve après les la chine et l'Argentine (Fig. 12).

Malheureusement l'exploitation de cette ressource non conventionnelle nécessite une technologie difficile :

- 15000 m³ d'eau pour un seul forage,
- Utilisation de beaucoup de produits chimiques dont une dizaine est cancérigène,
- Coûts particulièrement élevés, entre 8 à 15 millions de dollars pour un seul forage,
- Sans oublier les risques de pollution de la nappe phréatique qui est irréversible.

Nous constatons que la technologie n'est pas assez mature, c'est quand elle sera maîtrisée et son impact sur l'environnement réduit à son maximum que le gaz de schiste pourra devenir un atout majeur du bouquet énergétique (Torki, 2016)

VII.3 Pétrole

Selon le dernier Oil & Gas Journal (OGJ) estimations, publié en Janvier 2014, l'Algérie a tenu selon les estimations, 12,2 milliards de barils de réserves prouvées de pétrole brut. La majorité des réserves de pétrole prouvées sont dans la province de Hassi Messaoud, qui contient le plus ancien et le plus grand champ pétrolifère du pays, est estimé à tenir 3,9 milliards de barils de réserves récupérables prouvées et probables, suivis par le champ de Hassi R'mel 3,7 milliards de barils (Fig. 12)

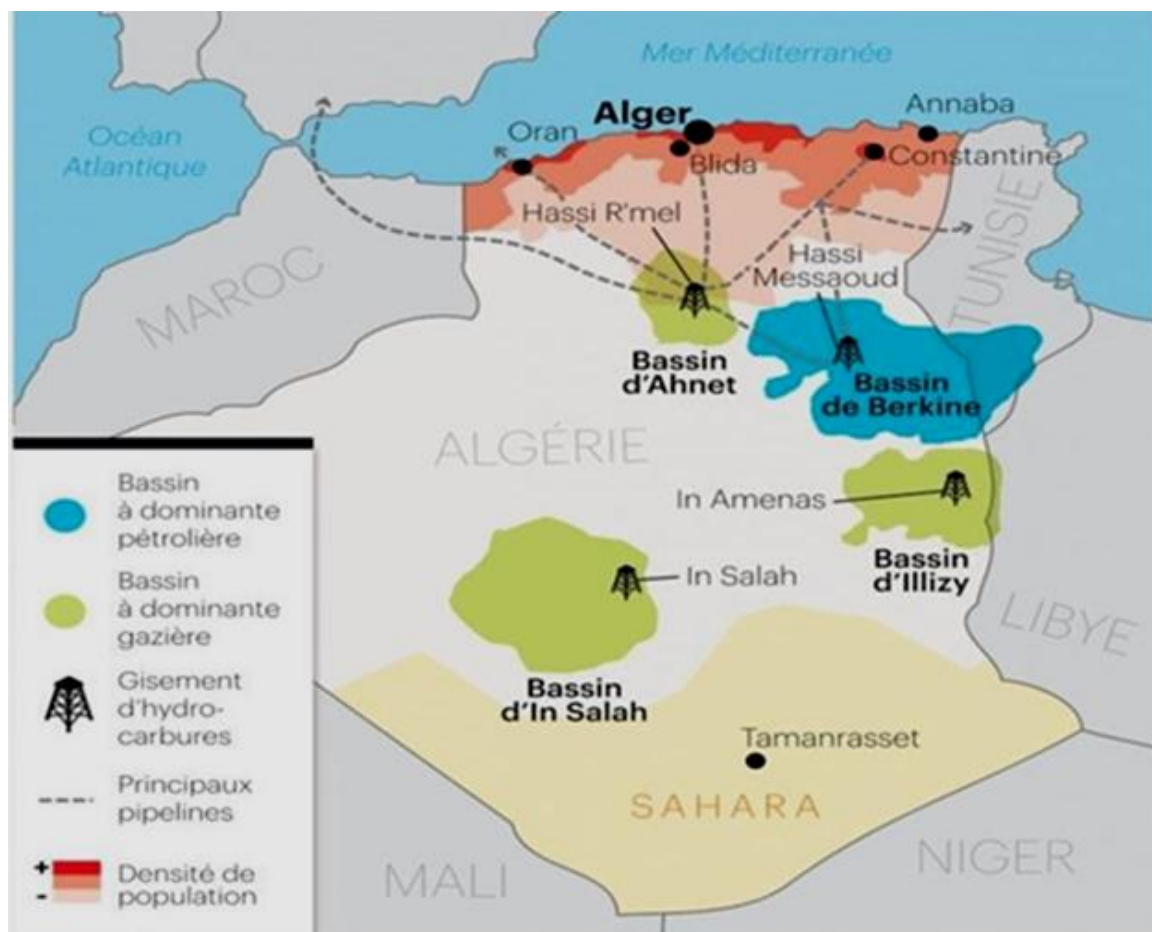


Figure 12: carte des gisements pétroliers et gaziers en Algérie. (Torki, C 2016)

VIII. Le borbier et son impact sur l'environnement

La problématique soulevée se concentre autour du borbier, le déversement et le dégagement de certains produits (solide ou liquide) peuvent entraîner un changement des propriétés physico-chimiques des compartiments naturels (Fig. 13), entraînant une altération des propriétés de ces milieux en diminuant leurs capacités d'aération et induisant des effets portant atteinte à la santé de l'homme, de façon directe ou indirecte, et à l'environnement de manière globale (Fig. 14).



Figure 13: Pollution des sables de la région de HMD du à cause des borbiers



Figure 14: Bourbier dû à la fracturation hydraulique à In Salah lors du forage de schiste Ahnet en association avec la société Française Total (Bechichi, 2019)

IX. Méthodes de traitement de la boue

Face à cette situation, plusieurs techniques de traitement sont recommandées. Un effort doit être entrepris pour le choix de traitements adéquats en parallèle à l'évolution des technologies utilisées pour la réduction des solides et de la teneur en HC dans les cuttings au cours du forage. (Chikhi, 2019).

La description détaillée de nombreuses méthodes utilisées pour le traitement des rejets des fluides de forage est facilement accessible :

- **Les traitements en modes online** : où le prestataire de service de traitement intervient en parallèle avec les travaux de construction du puits.
- **Les traitements en mode offline** : où le prestataire de service de traitement intervient après la fin des travaux sur un puits donné et le déménagement de l'appareil de forage.

IX.1 Les traitements en modes online (au cours du forage)

L'objectif de la gestion online est de minimiser les rejets et les réduire en amont. La prestation est réalisée par des sociétés de service spécialisées sous la supervision de client. Le package est composé de :

- a) Tamis vibrants qui permettent de séparer les grandes particules solides trouvant dans la boue sortante du puits, des petites particules.
- b) Centrifugeuse verticale en aval des équipements de traitement mécanique de l'appareil de forage. La centrifugeuse permet d'essorer les cuttings et de réduire le Oil on cuttings massique de 30-35 % à moins de 5 %.
- c) Equipement pour la réutilisation des eaux de rejets. Skimmer, pompe, débitmètres.....etc.
- d) Chemisage (liner) en polyéthylène haute densité pour étancher les bourniers.

Le traitement se fait en même temps que le forage, les cuttings récupérées des tamis vibrants sont convoyés vers une centrifugeuse verticale avec un tamis conique au centre (Fig.15). Avec une capacité de traitement de 60 tonnes/h, la centrifugeuse permet de récupérer une quantité assez importante de la boue à base d'huile

La boue récupérée est envoyée vers deux centrifugeuses haute-vitesse pour éliminer les solides dont le diamètre est entre 3-5 micros mètre. Elle est ensuite réinjectée dans le circuit de boue. L'eau de rejet est aspirée du compartiment « eau » du bournier à l'aide d'une pompe. Elle est refoulée dans un bac tampon permettant la séparation de la phase huileuse de la phase aqueuse de la gravité. Pour contrôler la conformité de la centrifugation verticale on a recours aux mesures de l'OOC% (Messaoui, 2012).

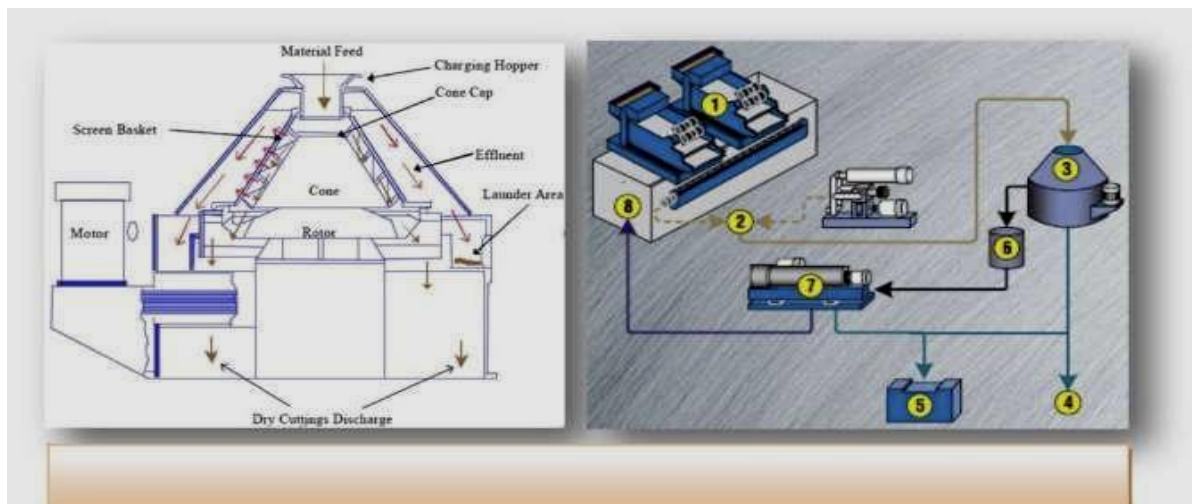


Figure 15: Schéma explicatif du traitement mécanique (Boukhalifa, 2017)

IX.2 Traitement en mode offline

IX.2.1 Traitement physico-chimique

L'inertage des substances toxiques contenues dans la fraction solide des boues de forage, peut se faire par une série de traitements physico-chimiques, comme la solidification qui renvoie à l'ensemble des procédés d'encapsulation des particules solides par l'intermédiaire d'additifs (liants hydrauliques) comme le ciment, de sorte d'inertier les substances toxiques, et de les rendre moins solubles une fois en contact avec le milieu extérieur.

L'encapsulation des substances toxiques ne nécessite pas forcément des réactions chimiques avec ces additifs, mais s'opère à l'aide de réactions d'hydratation produite par action mécanique, jusqu'à obtenir une matrice solide (un solidifiât), imperméable et d'une bonne qualité structurale. Les additifs généralement utilisés sont : le ciment, la chaux, la pouzzolane et les silicates (Khemidja, 2016)

IX.2.2 Traitement thermique

Les traitements thermiques sont employés durant le traitement de la fraction solide des boues de forage, soit pour une dégradation complète par incinération, soit pour la récupération de certaines substances (eau, huiles) par désorption thermique. Ces deux procédés sont très efficaces en comparaison avec les traitements précédents(Physico-chimiques), si on prend en compte la durée du traitement, ce pendant ils demeurent très coûteux. Les sous-produits obtenus à la fin des traitements thermiques sont des :

- ✓ Résidus solides.
- ✓ Fumées (dans le cas de l'incinération).

- ✓ Gaz condensables (vapeur d'eau, hydrocarbures) et incondensables (qui sont le résultat D'un craquage thermique), dans le cas d'un traitement par désorption thermique.

Les installations conçues pour le traitement par désorption thermique, sont assez développées pour des applications on-shore et off-shore, ainsi que pour des unités mobiles. (Khemidja, 2016)

X. Méthode I : Procédé de traitement par Stabilisation/Solidification

La solidification/stabilisation (S/S) au ciment est une méthode souvent utilisée pour traiter, gérer et réutiliser en toute sécurité des déchets contaminés. La S/S suscite un intérêt croissant dans le monde entier. La S/S qui consiste à incorporer du ciment Portland à la matière contaminée, protège l'environnement et la santé en immobilisant les contaminants dangereux dans la matière traitée.

Le ciment réagit chimiquement avec l'eau dans la matière traitée, ce qui modifie ses propriétés physiques et chimiques de façon à stabiliser les constituants dangereux et les empêcher pour ne pas s'échapper dans l'environnement. L'attrait de la S/S tient au fait qu'elle peut être utilisée pour une vaste gamme de contaminants dans de nombreux types de matière contaminée.

X.1 Description des procédés

Le processus de solidification dépend de l'efficacité du malaxage entre les déblais à traiter et les additifs chimiques à ajouter les deux dispositifs principaux et essentiels pour accomplir les travaux de cette partie du processus sont la trémie de réception et le malaxeur.

A- Collecte et transport des déblais

Réception des déblais de forages pétroliers. Dans le but de traiter les déblais avec l'unité de Solidification. Les déblais vont être transférés à partir des bourniers de déchets des forages pétroliers vers l'unité de Solidification qui est préalablement installée de façon à être proche de plusieurs bourniers.

Cette étape consiste à acheminer les déblais du bournier de forage vers l'unité de traitement de Solidification, par le biais des camions-bennes. Avant la phase chargement, un chargeur est présent sur le bournier des déblais de forages pétroliers, pour charger les déblais dans les camions, ces déblais de forage subissent un mixage afin de les rendre secs et homogènes.

A la fin de la phase chargement, tous les déversements résiduels sont acheminés vers le bournier dans le prochain camion à benne. Le déchargement des déblais se fait dans le corral de la plateforme (ou est installée l'unité) en béton armé dans le but d'éviter les infiltrations des

hydrocarbures et tout contact direct avec le sol, dans le cas d'absence de corral étanche, un bac de type three-side tank en acier étanche est utilisé à cette effet.

B- La Trémie de réception

La capacité de la trémie de réception est de 18 m³, son rôle principal est de recevoir les déblais, elle est équipée de deux convoyeurs à vis ayant chacun un moteur de 15 HP, ces deux convoyeurs avis sont installés sur le fond de la trémie d'une façon inclinée dans le but d'homogénéiser le mélange et de stabiliser le débit.

La partie haute de la trémie est équipée d'un grillage avec des mailles de 10 cm, et le rôle de ce grillage est d'empêcher le passage des objets (métal, caillouetc.). La trémie de réception est remplie avec des déblais par le biais d'un retro-chargeur, Les déblais sont ensuite amenés vers le Malaxeur par l'intermédiaire des deux convoyeurs à vis.

C- Malaxeur :

Le malaxeur est responsable du mixage des déblais non traités avec les additifs chimiques ajoutés (Ciment et silicate).Le malaxeur est doté de deux convoyeurs à pales ayant chacun un moteur de 10 HP. Le processus de solidification se fait au niveau du malaxeur. Les différentes étapes du processus de stabilisation et solidification sont comme suit :

- La trémie de réception est remplie avec des déblais non traités par le biais d'un retro-chargeur.
- Les déblais sont ensuite amenés vers le malaxeur par l'intermédiaire de deux convoyeurs à vis, au niveau du malaxeur, les additifs chimiques (ciment et silicate de sodium) sont ajoutés suivant les quantités déterminées par le superviseur aux déblais pour les solidifier.
- Le ciment est transporté depuis le silo, dont la capacité est de 45 tonnes, vers le malaxeur par l'intermédiaire d'un convoyeur à vis tubulaire. Le débit du ciment dépend de la typologie des déblais et il se règle à l'aide d'un variateur de vitesse.
- Le silicate de sodium est préparé dans deux citernes. Le débit du silicate de sodium dépend aussi de la typologie des déblais et il se règle par l'intermédiaire d'une vanne.
- Le mélange de (déblais +ciment +silicate de sodium) quittant le malaxeur est vidangé directement dans une fosse dont la capacité de 20 m³. Les déblais traités sont acheminés par le biais d'un chargeur vers un bournier pour leur stockage définitif (Fig.16).

L'utilisation du dissilicate de sodium permet d'assurer une plus grande cristallisation, rendant le film silicaté plus imperméable autour du mélange obtenu à partir des particules déblais/ciment.

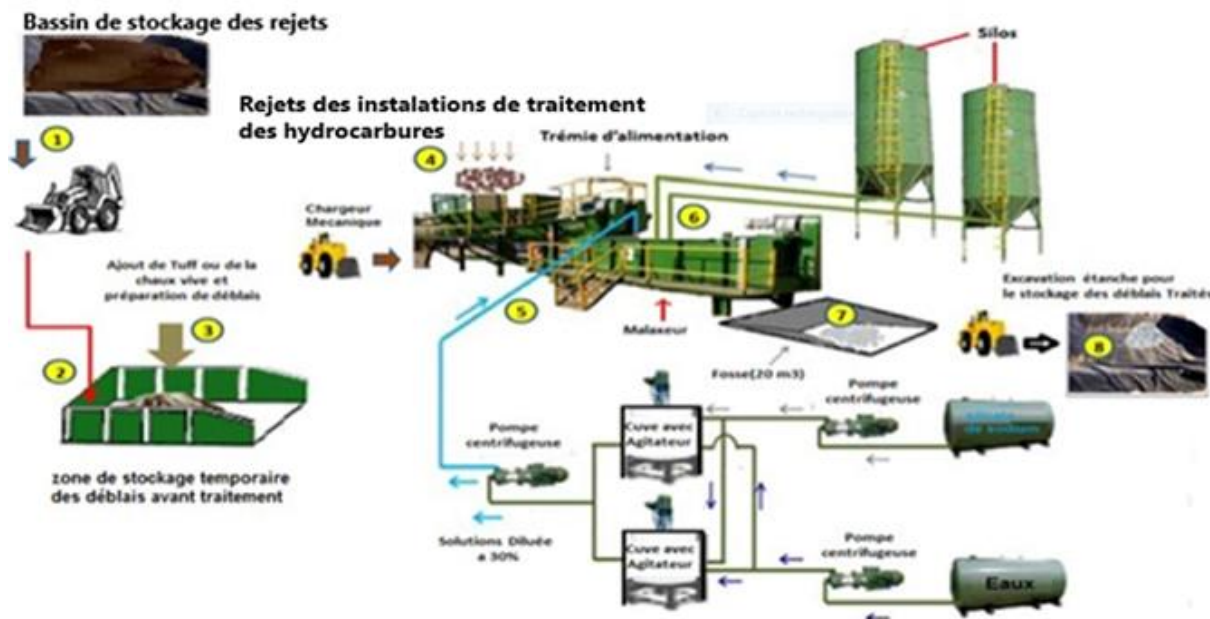


Figure 16: Schéma fonctionnel d'une unité de Stabilisation Solidification (Ferhat, 2019)

Après traitement, et une fois que le processus de durcissement est atteint, nous obtenons une matrice qui les incorpore en une pierre synthétique. Ce processus est particulièrement faible en présence de métaux lourds dans les déblais (Fig. 17)., du fait qu'à un certain niveau de PH donné, les métaux sont précipités tels les hydroxydes, et demeurent en capsulés à l'intérieur de la matrice de l'amalgame ou partiellement insérés dans la structure cristallisée; ce phénomène est appelé l'encapsulation (Messaoudi, 2012)

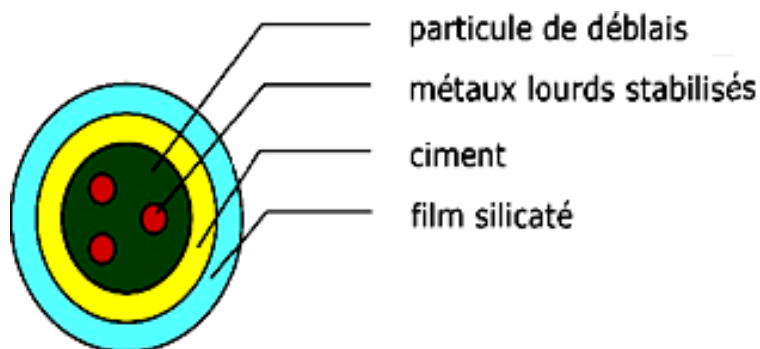


Figure 17 : Phénomène d'encapsulation (Larbi, 2012)

La stabilisation- solidification à l'aide des liants hydrauliques est une technique relativement peu coûteuse, facile à mettre en œuvre pour de larges familles de déchets industriels (particulièrement les boues et les résidus des procédés thermiques), parfaitement adaptée à la filière d'élimination des déchets industriels lorsqu'elle est directement intégrée au centre de stabilisation et de stockage de déchets dangereux. La sécurité à long terme peut alors

être garantie par un suivi méthodique des déchets traités, de leur réception au stockage des solidifiés.

Les réactifs utilisés dans le traitement d'un mètre cube des déblais par le procédé stabilisation solidification sur le champ de Hassi Messaoud sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 02: Les réactifs utilisés dans le traitement de solidification (Larbi, 2012)

Fonction du produit	Nature (composé)	Nom commercial	Concentration (kg/m³)
Réactifs	Oxyde de calcium 64% Oxyde de silicium 21% Oxyde d'aluminium 5,5% Oxyde de fer 4,5% Oxyde de magnésium 2,4%	Ciments portland CPJ 45	160-170 kg/m ³ Selon la nature des cuttings
Réactif	Sodium silicate 1,6<rapport molaire<2,6%:> 80%	Dissilicate de sodium	9-15kg/m ³ de solution de dissilicate de sodium à 25-30%

Tableau 03: Consommation de matières premières (additifs) utilisées par jour pendant le traitement (Addo, 2019)

N°	Date	volume traité (M)	Ciment Utilisé (T)	Silicate utilisé (kg)	Consommation d'eaux
1	29-mai-2019	90	14.4	720	45
2	30-mai-2019	120	19.2	960	60
3	31-mai-2019	120	19.2	960	60
4	1-juin-2019	120	19.2	960	60
5	2-juin-2019	120	19.2	960	60
6	3-juin-2019	120	19.2	960	60
7	4-juin-2019	0	0	0	0
8	5-juin-2019	0	0	0	0
9	6-juin-2019	120	19.2	960	60
10	7-juin-2019	120	19.2	960	60
11	8-juin-2019	120	19.2	960	60
12	9-juin-2019	120	19.2	960	60
13	10-juin-2019	120	19.2	960	60
14	11-juin-2019	120	19.2	960	60
15	12-juin-2019	120	19.2	960	60
16	13-juin-2019	80	12.8	640	40
17	14-juin-2019	140	22.4	1120	70
18	15-juin-2019	110	17.6	880	55
19	16-juin-2019	140	22.4	1120	70
20	17-juin-2019	140	22.4	1120	70
21	18-juin-2019	140	22.4	1120	70
22	19-juin-2019	140	22.4	1120	70
23	20-juin-2019	140	22.4	1120	70
24	21-juin-2019	140	22.4	1120	70
25	22-juin-2019	140	22.4	1120	70
26	23-juin-2019	140	22.4	1120	70
27	24-juin-2019	140	22.4	1120	70
28	25-juin-2019	140	22.4	1120	70
29	26-juin-2019	140	22.4	1120	70
30	27-juin-2019	140	22.4	1120	70
31	28-juin-2019	140	22.4	1120	70
32	29-juin-2019	140	22.4	1120	70
33	30-juin-2019	140	22.4	1120	70
34	1-juil.-2019	140	22.4	1120	70
35	2-juil.-2019	140	22.4	1120	70
36	3-juil.-2019	140	22.4	1120	70
37	4-juil.-2019	140	22.4	1120	70
38	5-juil.-2019	140	22.4	1120	70
39	6-juil.-2019	140	22.4	1120	70
40	7-juil.-2019	140	22.4	1120	70
Total		4940 M3	790.4 Ton	39520 kg	2470 M3

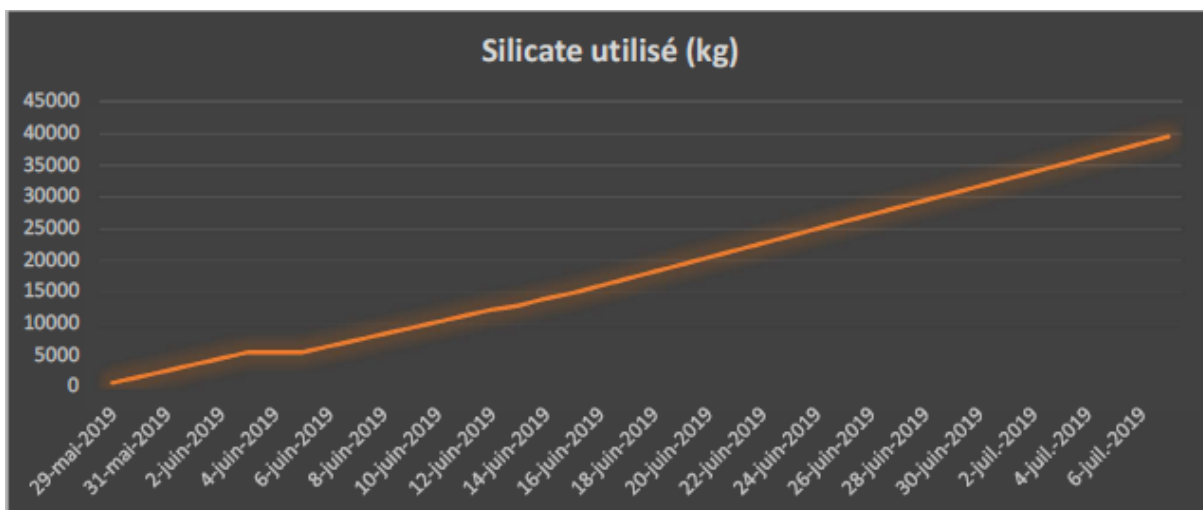


Figure 18: Quantité de silicate utilisé (Ferhat, 2019)

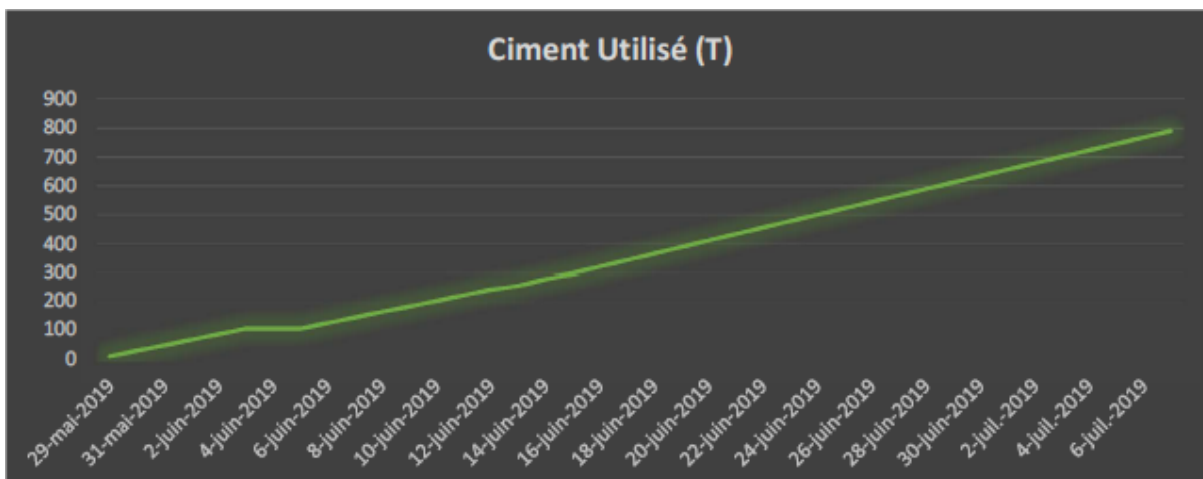


Figure 19: Quantité du ciment utilisé (Ferhat, 2019)

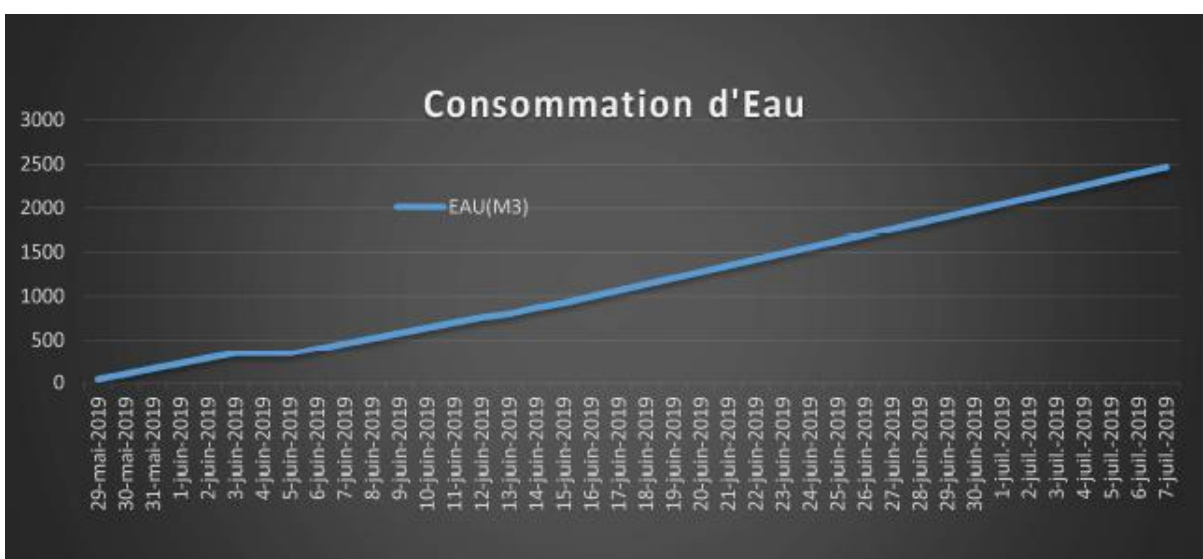


Figure.20 : Volume d'eau utilisée (Ferhat, 2019)

Partie II : Méthodes de traitement, matériels, résultats et discussion

Le tableau suivant présente le volume quotidien traité et le pourcentage d'huile enregistrés sur les déblais au cours du traitement du puits:

Tableau 4: volume quotidien traité et le pourcentage d'huile enregistrés sur les déblais au cours du traitement du puits (Addo, 2019)

N°	Date	volume traité(M³)	Moyenne OOC %	Commentaire
1	29-mai-2019	90	12.85	
2	30-mai-2019	120	14.56	
3	31-mai-2019	120	16.85	
4	1-juin-2019	120	15.89	
5	2-juin-2019	120	14.89	
6	3-juin-2019	120	15.89	
7	4-juin-2019	0	0	Aid Elfitre
8	5-juin-2019	0	0	
9	6-juin-2019	120	18.23	
10	7-juin-2019	120	14.23	
11	8-juin-2019	120	13.28	
12	9-juin-2019	120	14.81	
13	10-juin-2019	120	14.19	
14	11-juin-2019	120	13.05	
15	12-juin-2019	120	13.28	
16	13-juin-2019	80	13.89	
17	14-juin-2019	140	14.85	
18	15-juin-2019	110	12.23	
19	16-juin-2019	140	13.56	
20	17-juin-2019	140	13.43	
21	18-juin-2019	140	12.85	
22	19-juin-2019	140	11.63	
23	20-juin-2019	140	12.92	
24	21-juin-2019	140	12.5	
25	22-juin-2019	140	12.5	
26	23-juin-2019	140	13.27	
27	24-juin-2019	140	13.83	
28	25-juin-2019	140	13.04	
29	26-juin-2019	140	11.7	
30	27-juin-2019	140	10.53	
31	28-juin-2019	140	10.2	
32	29-juin-2019	140	11.88	
33	30-juin-2019	140	10.68	
34	1-juil.-2019	140	11.34	
35	2-juil.-2019	140	10.78	
36	3-juil.-2019	140	11.34	
37	4-juil.-2019	140	11.22	
38	5-juil.-2019	140	11	
39	6-juil.-2019	140	11.11	
40	7-juil.-2019	140	11.11	
Totale Volume Traité (M3)		4940		

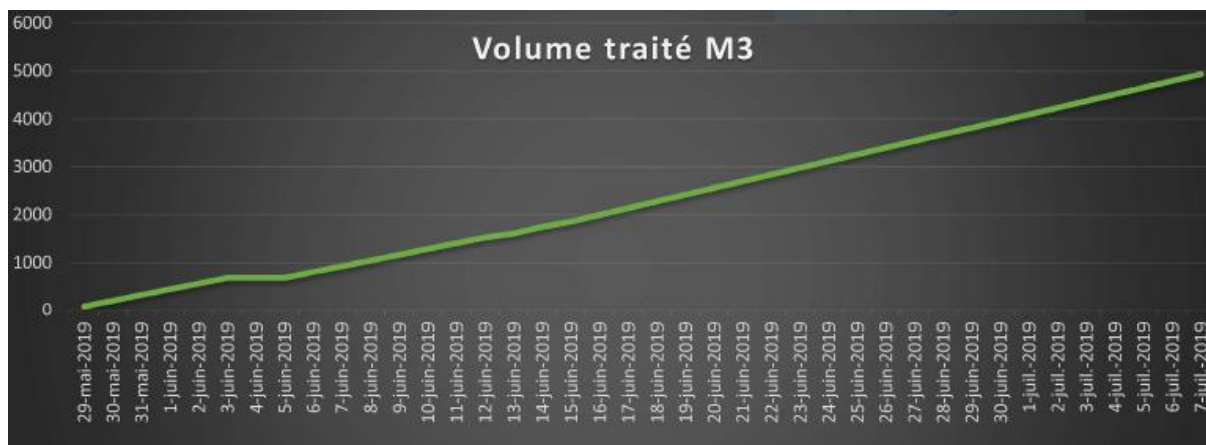


Figure 20: Volume de déblais traité (Ferhat, 2019)

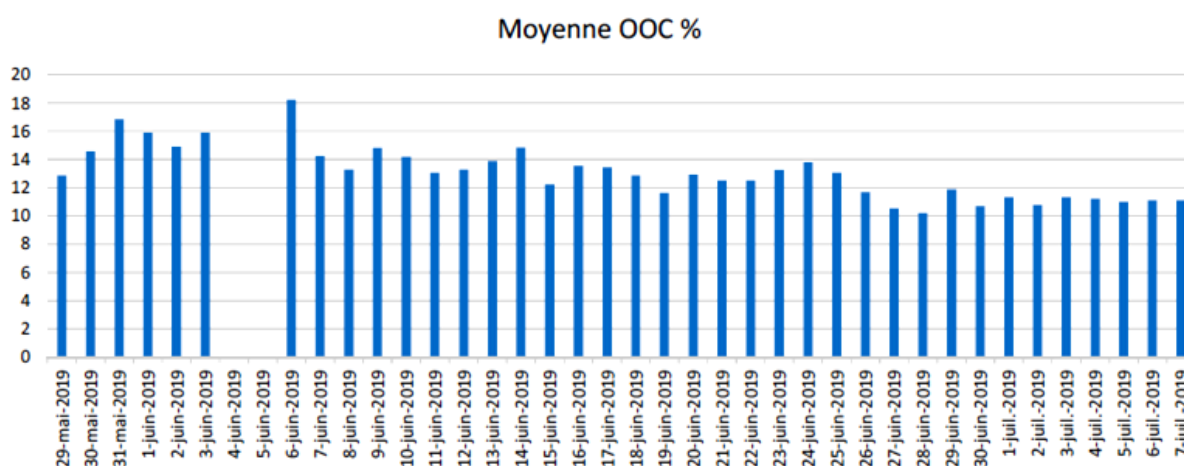


Figure 21: Moyenne d'OOO dans les déblais à traiter (Ferhat, 2019)

Selon le tableau et les graphes ci-dessus qui clarifient le volume traité et le pourcentage d'huile dans les déblais, nous concluons les résultats suivant :

1. Un Volume Total traité : 4940 M³.
2. Une moyenne de production journalière de déblais traite: 123.5 M³.
3. Une moyenne d'OOO : 13.03 %

X.2 Résultats et discussions

Les tableaux suivants présentent les résultats d'analyse des déblais des puits work over avant et après traitements par la méthode stabilisation / solidification :

Tableau 05: Résultats d’analyse avant et après traitement des rejets du bassin Asskarene (1^{er} prélèvement 2019) (Addo, 2019)

Parametres	Unités	Méthodes d'analyses	Avant traitement	Apres traitement
Cadmium	mg/l	spectrophotometrie	0.79	0.029
Chrome	mg/l	NF EN 13 346	0.86	0.27
Cuivre	mg/l	spectrophotometrie	0.218	0.226
Mercure	mg/l	spectrophotometrie	0.75	0.002
Nickel	mg/l	NF EN 13 346	0.196	0.014
Plomb	mg/l	NF EN 13 346	0.183	0.113
Cyanure	mg/l	spectrophotometrie	0.28	0.015
Zinc	mg/l	NF EN 13 346	0.434	0.188
PH	-	spectrophotometrie	7.97	8.16
Fer	mg/l	spectrophotometrie	0.065	0.0019
Hydrocarbures totaux	%	Extraction spectrophotometrie	12.65	1.30

Tableau 06: Résultats d’analyse avant et après traitement des rejets du bassin Asskarene (2^{eme} prélèvement 2019) (Addo, 2019)

Parametres	Unités	Méthodes d'analyses	Avant traitement	Apres traitement
Cadmium	mg/l	spectrophotometrie	0.81	0.2
Chrome	mg/l	NF EN 13 346	0.76	0.5
Cuivre	mg/l	spectrophotometrie	0.78	0.5
Mercure	mg/l	spectrophotometrie	0.357	0.01
Nickel	mg/l	NF EN 13 346	0.246	0.22
Plomb	mg/l	NF EN 13 346	0.836	0.5
Cyanure	mg/l	spectrophotometrie	0.2	0.1
Zinc	mg/l	NF EN 13 346	0.366	0.33
PH	-	spectrophotometrie	12.71	12.67
Fer	mg/l	spectrophotometrie	0.5	0.43
Hydrocarbures totaux	%	Extraction spectrophotometrie	10.4	9.77

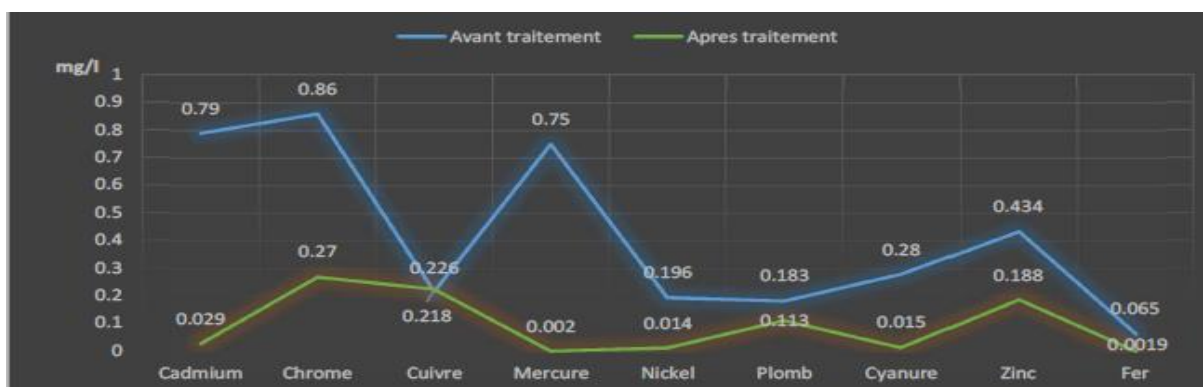


Figure 22: Concentration des métaux lourds avant et après traitement (1^{er} prélèvement 2019) (Ferhat, 2019)

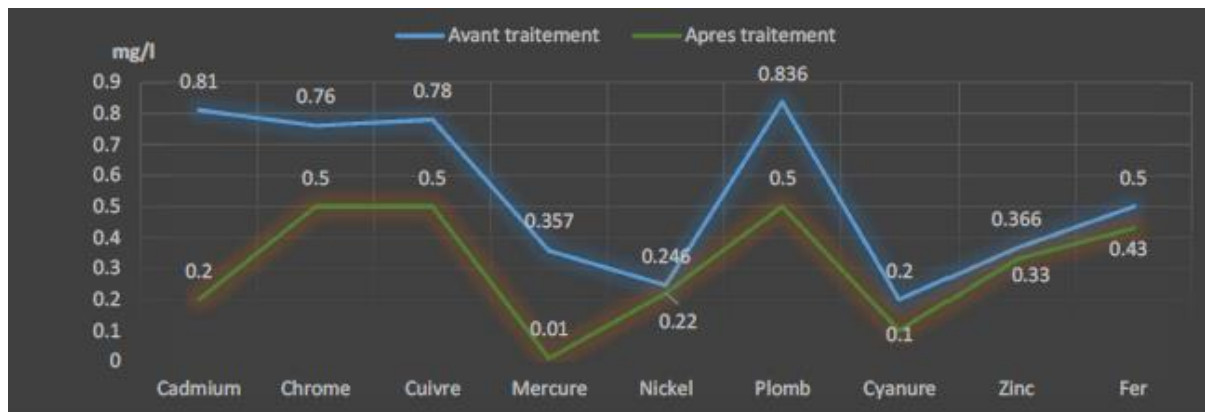


Figure 23: Concentration des métaux lourds avant et après traitement (2ème prélèvement 2019) (Ferhat, 2019)

D'après les graphes obtenus après l'étude d'analyse des échantillons de borbier de forage de bassin Askarene, les variations de concentration en métaux lourds avant le traitement de ces échantillons est élevée (les concentrations varient de 0.25 à 0.83 mg/l), après le traitement par la méthode stabilisation/solidification des faibles concentration en ETM sont enregistrées (0,01 mg/l à 0,5 mg/l) (Voir l'annexe 1), nous concluons donc que la méthode de traitement solidification /stabilisation est plus efficace en réduisant le risque de contamination du sol et des eaux souterraines par les métaux lourds.

On remarque aussi que diminution considérable de la teneur en OOC dans le premier prélèvement (de 12.65 à 1.30%) alors qu'il n'est pas significative dans le 2eme prélèvement (de 10.4 à 9.77) et cela peut se traduire par la diminution de quantité des additifs ajoutés au ciment quoi ont un pouvoir solidifiant dans ce mélange du ciment. (Voir l'annexe 2)

XI. Méthode II : Traitement thermique (thermal désorption unit TDU, ou thermal phase séparation TPS)

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. Cependant, plusieurs travaux ont montré la possibilité de diffusion dans l'air et d'accumulation des hydrocarbures après combustion.

Ces hydrocarbures peuvent être initialement présents dans les solides des formations forées. Les hydrocarbures 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.

Les techniques de traitement thermique emploient des températures élevées pour reprendre ou détruire les hydrocarbures qui souillent les rejets. Le traitement thermique est le traitement le plus efficace pour détruire les produits organiques, et il réduit également le volume et la mobilité des produits inorganiques tels que les métaux et les sels. Une unité de traitement thermique est généralement une installation fixe d'où la difficulté de son utilisation en ON-LINE pendant le déroulement des opérations de forage. (Boukhalifa, 2017)

XI.1 Principe de la désorption thermique

La désorption thermique consiste à appliquer de la chaleur pour extraire du sable par volatilisation des polluants volatils et semi-volatils.

Le procédé de désorption thermique est surtout utilisé lorsque le venting atteint ses limites (sols trop imperméables ou composés semi-volatils difficilement extractibles).

Le sable est chauffé à grande température, ce qui provoque une élévation de la température ayant pour effet de favoriser la désorption des contaminants fortement adsorbés par le sable, d'augmenter la tension de vapeur des composés peu volatils afin de pouvoir les volatiliser et les extraire en phase gazeuse. Les composés volatilisés sont par la suite récupérés via un réseau d'extraction. (Chergui, 2019)

XI.2 Description du procédé de traitement

La Désorption Thermique est utilisée pour le traitement des déchets de borbiers de forage à base d'huile. Le principe consiste à utiliser des hautes températures pour séparer les polluants (gasoil) du sol contaminé. Contrairement au traitement en ligne et le traitement par solidification, cette méthode est utilisée dans une unité fixe hors du site contaminé.

A cet effet, les déblais de forages pétroliers sont transportés de sites contaminés vers l'unité de traitement de sable contaminé. Il faut chauffer les déblais de boue à base d'huile tout en isolant la flamme des solides. Le gasoil est isolé par condensation, chose qui permet de récupérer, et réutiliser le gasoil dans le procédé de chauffage. L'eau récupérée est réutilisée pour le refroidissement des condensateurs.

Les autres polluants gazeux probablement existants (H_2O , CO_2 et CO) sont éliminés par oxydation.

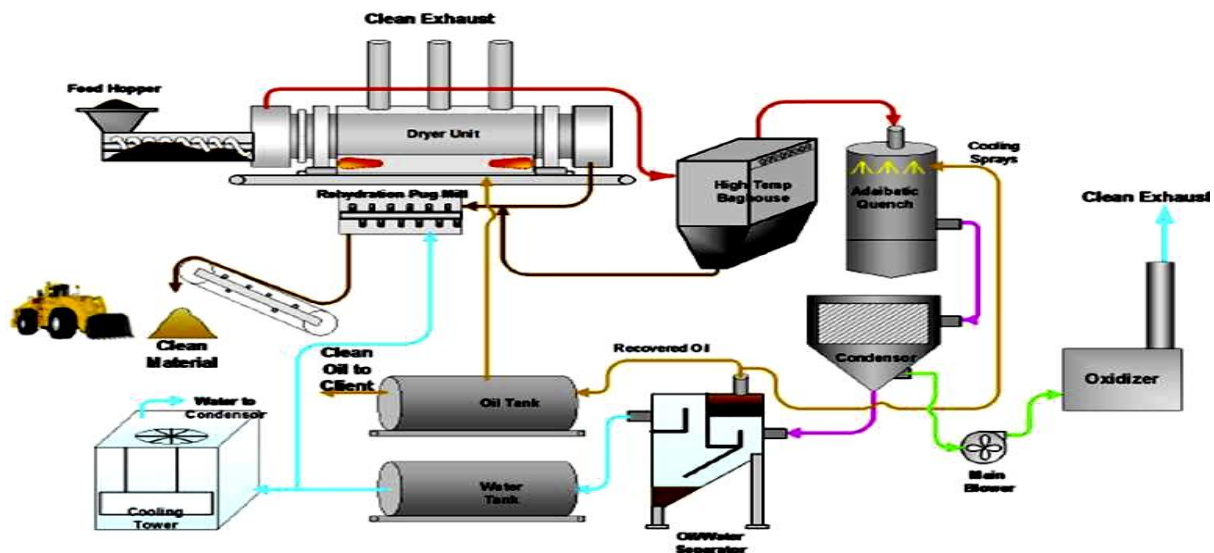


Figure 24: Schéma du procédé de traitement thermique de la boue de forage (Chikhi, 2019)

Les solides volatilisés avec les gaz sont récupérés à l'aide d'un ensemble de filtres qui résistent à des hautes températures appelé Adiabatic Quench.

Le sol débarrassé des fractions grossières est porté à une température supérieure à 150°C, par un four rotatif, pour permettre la désorption de l'humidité et le gasoil. Il est constamment agité pendant l'opération et les gaz émis sont traités à la sortie par une unité appelée Thermal Oxidizer (Fig.25)

L'efficacité de la désorption est fonction des températures et des temps de séjour utilisés. Les paramètres opératoires dépendent du couple substrat/polluant, des limitations aux transferts de masse et de chaleur dépendant du substrat (granulométrie, humidité...) et des modes de transferts thermiques mis en œuvre dans l'unité de désorption (Tordjmani, 2017)

L'activité principale réalisée par ce système est le traitement du sable contaminé par les hydrocarbures où Les étapes principales sont les suivantes :

- a) L'homogénéisation du sable par le tamisage et le mixage
- b) Alimentation de l'unité en sable contaminé homogène par la trémie d'alimentation
- c) Traitement primaire suite à l'entraînement des cuttings vers le DRAM (four) à l'aide du convoyeur.
- d) Rejet et évacuation du sable décontaminé par le pot d'élimination
- e) Transmission des vapeurs chaudes résultantes de la volatilisation des hydrocarbures vers la Quinche pour leur refroidissement et condensation.
- f) Passage des vapeurs non condensées par un deuxième condenseur utilisant de l'eau froide issue du chiller pour une éventuelle condensation.
- g) Brulure des vapeurs non condensées dans l'oxydeur thermique.

- h) Passage du liquide obtenu de la condensation vers le séparateur eau/huile.
- i) Stockage du gas-oil récupéré pour servir ensuite à l'alimentation des brûleurs du four.
- j) Passage de l'eau récupérée par les aéro pour être refroidis et utilisé dans le condenseur.



Figure 25: Le sable décontaminé lors du traitement par la méthode thermique
(Chergui, 2019)

XI.3 Contrôle de conformité du traitement par désorption thermique

Consiste à calculer Les teneurs en hydrocarbures et métaux lourds après traitement, les tableaux et les graphes suivants nous donnent une idée sur des valeurs avant et après traitement :

Tableau 07: Résultats d'analyses des 2 échantillons des bourbiers avant et après le traitement désorption thermique (Larbi, 2012).

Paramètre	Bourbier 01		Bourbier 02		Méthodes	Norme mg/Kg
	Avant	Après	Avant	Après		
OOO%	10,72	0,45	7,80	0,45	Distillation	5 % w/w
Pb	43	10	149	10	Absorption atomique	50
Cr	1.1	00	00	00	Absorption atomique	50
Cd	1	1	0.62	0.36	Absorption atomique	25
Zn	40	14	50	8.6	Absorption atomique	250

****Les autres paramètres ne sont pas mesurés par manque de réactifs.**

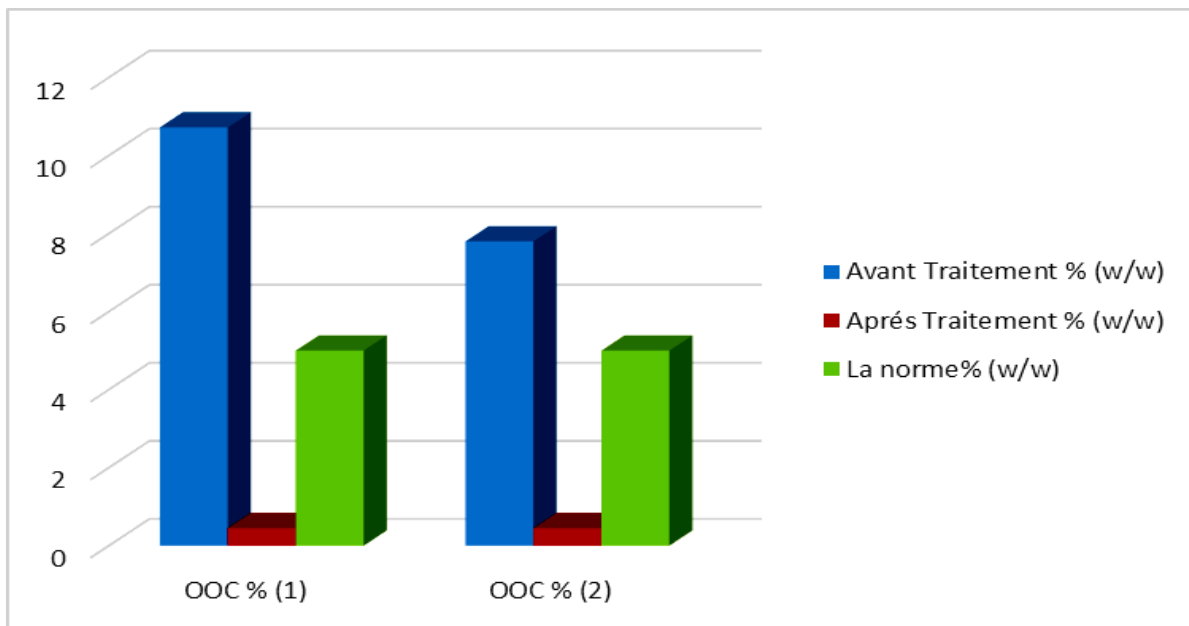


Figure 26: Histogrammes de variations des OOC% (bourbiers 01 et 02)

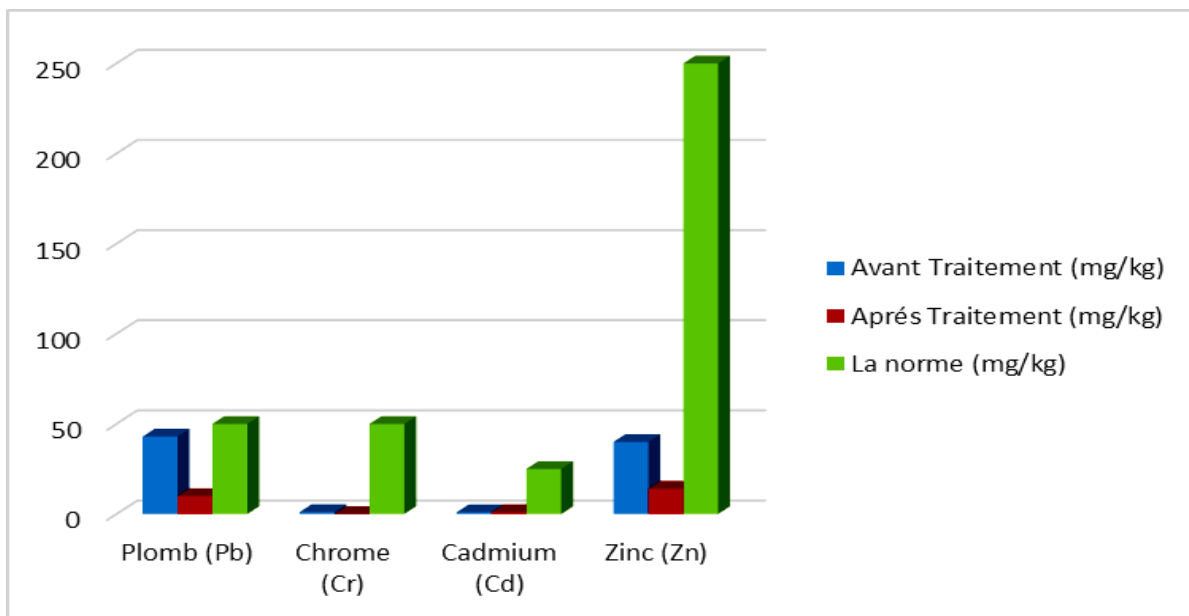


Figure 27: Histogrammes de variation des métaux lourds (bourbier 01)

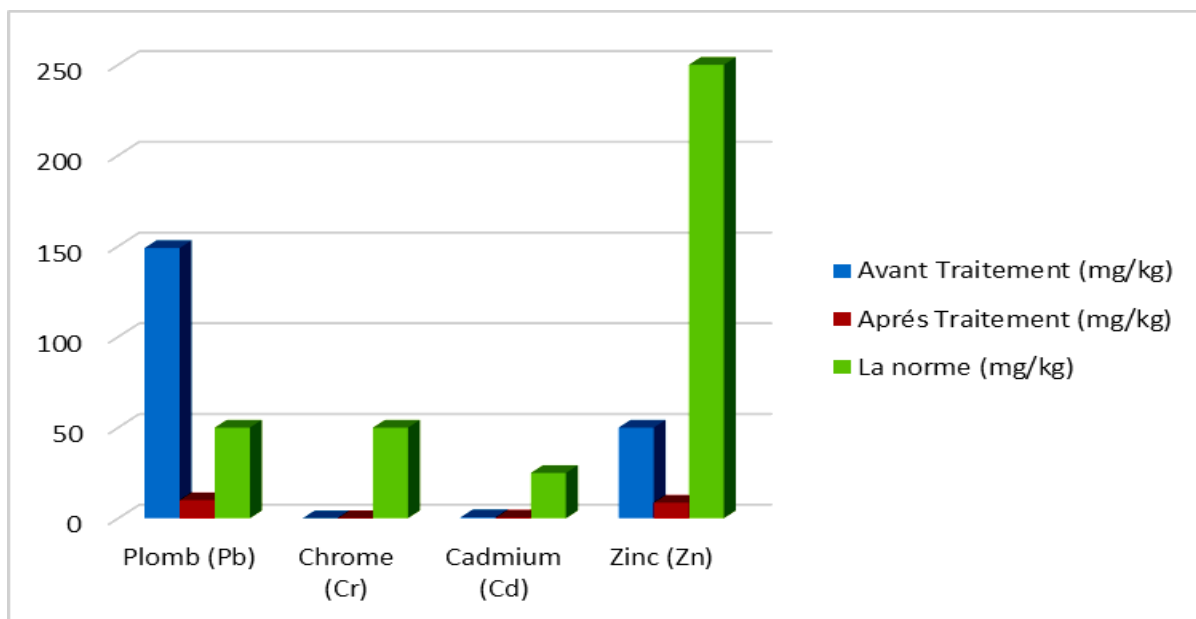


Figure 28: Histogrammes de variation des métaux lourds (bourbier 02)

Après l'interprétation des résultats d'analyse on conclut que :

➤ La quantité d'hydrocarbures « oil on cuttings » OOC% est très élevée dans tous les échantillons des bourbiers de forage (10,72 et 7,8 % qui est plus de la valeur maximale limitée par les normes Algériennes 5%) (Voir l'annexe 3), après le traitement les teneurs sont diminuées à 0,45% cela traduit l'efficacité de cette méthode en pour l'élimination des hydrocarbures présents dans les boues des bourbiers. [B2]

➤ Concernant les ETM (Cr, Pb, Zn et le Cd) : le niveau de présence de ces derniers n'est pas très important dans les deux échantillons des bourbiers de forage avant traitement par rapport aux normes à l'exception du plomb qu'était 149 mg/kg dans le bourbier 02 et après traitement il a diminué à 10 mg/kg.

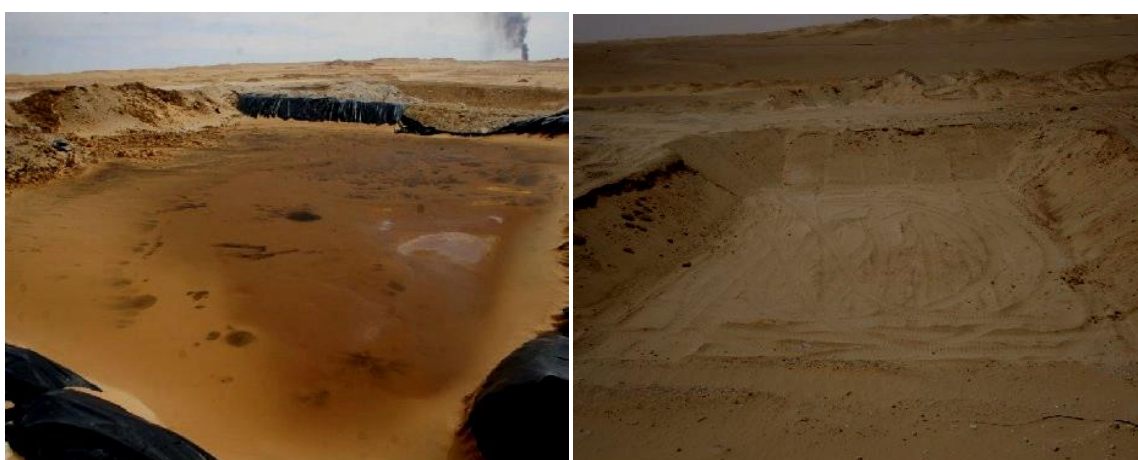


Figure 29: Bourbier avant et après traitement

XII. Comparaison entre l'efficacité des deux méthodes

A travers l'étude analytique et l'interprétation des résultats des deux méthodes, nous notons que le traitement par la désorption thermique indirect est plus efficace dans l'élimination des matières organique et d'hydrocarbures (parfois complètement éliminés), les teneurs des OOC sont diminuées de 10,72 à 0,45 dans le borbier 01 et de 7,80 à 0,45 dans le borbier 02.

D'autre part, on a trouvé que les inconvénients de cette méthode de traitement qui consiste à une diminution légère de la concentration des ETM après traitement par exemple le cadmium a conservé sa concentration même après traitement dans le borbier 01 (1 mg/kg), alors que dans le borbier 02 elle a légèrement diminuée (de 0,62 à 0,36 mg/kg).

En ce qui concerne la méthode solidification /stabilisation est plus efficace dans l'élimination des concentrations des métaux lourds (le cadmium a diminué de 0,79 à 0,029 mg/kg dans le premier prélèvement et de 0,81 à 0,2 mg /kg dans le prélèvement 2, le mercure a diminué de 0,75 à 0,002 mg/kg dans le prélèvement 1 et de 0,357 à 0,01 mg/kg dans le prélèvement 2), mais elle a un effet plus faible dans l'élimination des OOC par rapport à la méthode de désorption thermique, une légère diminution de la teneur en OOC dans le prélèvement 2 (de 10,4% à 9,77%) après le traitement, Le seul problème est que dans cette méthode les propriétés de l'encapsulation peuvent être affectées par les limitations physiques de l'environnement, et à l'heure, celui-ci perd de retenir les métaux lourds.

Bien que la comparaison entre ces deux méthodes en termes de coût, la méthode de traitement par désorption thermique indirect avec un coût élevé par rapport au coût de la méthode de traitement par solidification/ stabilisation (200 à 250 dollars américains / m³ de déblai pour la désorption thermique indirecte, et 100 dollars American / m³ de déblai pour la solidification stabilisation). (Khemidja, 2016)

Conclusion

générale &

recommandations

Conclusion générale et recommandations

D'après les résultats obtenus au terme de cette étude, nous affirmons que les rejets pétroliers présentent des risques sur l'environnement à cause de leurs compositions chimiques indésirables qui dépassent les limites maximales conventionnelles par l'état algérien (degré de contamination de ces rejets est d'environ 12.5 % en huile, donc cette valeur dépasse la valeur 5% sur déchets brut).

D'après l'application des méthodes du traitement (Méthode Solidification/ Stabilisation et la Méthode de Désorption Thermique) on constate que la méthode de solidification est plus efficace pour le piégeage des métaux lourds, par contre elle est moins efficace pour la dépollution des hydrocarbures, Un autre moyen est plus efficace pour l'élimination des hydrocarbures, c'est le traitement thermique.

D'après les résultats obtenus, on constate que la méthode de solidification n'est pas une solution définitive selon les forces des compressions libres et humidité qui peut dépiéger les éléments toxiques donc c'est l'infiltration de ces éléments vers la nappe d'eau.

Vue la situation actuelle (Covid-19), notre expérience s'est seulement limitée à des études et des expériences qui ont été déjà faites. Il nous a été aussi très difficile d'accéder aux informations à cause de la confidentialité de quelques documents des entreprises en charge de ce type de travail.

Au futur, la réalisation des forages dans le nord d'Algérie où la nappe d'eau est plus proche de la surface, il est nécessaire d'appliquer une combinaison des deux méthodes (solidification et le traitement thermique) après l'application du forage sans bourbiers (0% décharge).

Techniques et méthodes proposées

- Assurer l'évaporation totale avant de la récupération des déchets des bourbiers ou bien utiliser « des cuttings box » pour transporter les rejets liquides vers les centres de traitement
- Substitution de la boue à base d'huile par une boue à base d'eau :

Lancement d'études sur la possibilité de substitution de l'utilisation de la boue à base d'huile par une boue à base d'eau sur toutes les phases de forage où cette solution est techniquement réalisable;

- L'utilisation d'autres méthodes de traitement :

Conclusion générale et recommandations

Comme nous l'avons cité précédemment, les rejets présents dans le borbier, générés par le forage présentent un risque potentiel pour la santé humaine et les écosystèmes. Pour éviter la diffusion des contaminants vers les profondeurs, des mesures doivent être prises.

Plusieurs paramètres peuvent être pris en considération avant de faire le choix d'une méthode de dépollution particulière : diversité des conditions locales (nature du sol, de la nappe, accessibilité, disponibilité de surface utilisable à proximité, zone urbaine ou non), pollution récente ou ancienne, étendue ou non. En plus, des exigences économiques et administratives sont à prendre en compte.

Références Bibliographiques

Références

- Benkacimi, N (2013) :** Traitement de la pollution engendrée par les fluides de forage. Thèse de master, université de Blida p 1-25
- Boudouh. M.L (2013) :** Traitement des rejets de forge, analyse et amélioration du procédé de traitement par solidification, Thèse de master, université de Blida p 4-7
- Boukhalfa, Z. Tordjemani, Y (2017) :** Etude des méthodes de traitement des boues de forage : Considération environnementale, Thèse de master, université de Boumerdes p 8-11-13 -29-30-33-34-48
- Braik, A. Saidi, A (2017) :** Les boues de forage à base d'huile, l'impact sur la sante et sur l'environnement et technique de traitement, Thèse de licence, université de Ouargla p 6
- Chargui, H. Chikhi, A (2019) :** Etude des méthodes de traitement des boues de forage au niveau de la région de RHOURDE NOUSS -SONATRACH- Thèse de master, université de Batna2 p 9-10 -27-31-32-33
- Ferhat, M. Addou, R (2019) :** rapport de fin de traitement (traitement des déblais des puits : Bassin –ASK) Contrat N° 25 / HSE / OHT / 2018 SONATRACH- DP -OHANET (Document interne) p 3-5-6-7-8
- Khemidja, S (2016) :** Recyclage de la bentonite issue d'un forage pétrolier dans un mortier, Thèse de master, université de Tizi Ouzou p 11-12-18-28-29-47
- Lakehal, I. Torki, C (2016) :** Pour un Développement Humain Durable. Énergies fossiles: état des lieux en Algérie et Perspectives dans le cadre du développement humain durable. 20ème Journée de l'énergie : Alger 16 Avril 2016 p 5-6-7
- Lukata, E.P. Mvuala, M.L (2015) :** Etude d'automatisation du système de contrôle des variations paramétriques de la boue de forage « cas du puits mu-130 », Thèse d'ingénieur, université de Kinshasa p 4-5-10-20
- Messaoudi, A.F. Larbi, S (2012) :** Evaluation des impacts de l'activité forage sur le champ de Hassi Messaoud. Thèse de master, université de Boumerdes p 11-48-50-58
- Oumessaoud, D (2018) :** Elaboration et caractérisation d'un matériau composite en carbure de tungstène-alliage utilise dans la fabrication des outils de forage, Thèse de master, université de TiziOuzou p 7

Rabehi, M. L. Belalem, M.R, Senigra, L (2017) : Caractérisation et modélisation géologique du réservoir cambrien (R1) d'une partie du champ Hassi Messaoud (La zone 24). Thèse de master, université d'Ouargla p 3-4-5-6

Reguig, Z. Bechichi, S (2019) : Contribution à la recherche des méthodes efficaces pour le traitement des bourbiers pétroliers, Thèse de master, université d'Ouargla p 7-10-13

[A1]:<http://www.sovonex.com/drilling-equipment/api-land-drilling-rigs/electric-mechanical-drilling-rigs/>

[A2]: <https://www.slideshare.net/EngElsayedAmer/22-rig-components>

[A3]:<https://hongshengoil.en.made-in-china.com/product/DXJxmStYRMhE/China-Zp175-Oil-and-Gas-Drilling-Rig-Rotary-Tables.html>

[A4]:<https://www.flowtechenergy.com/inventory/rigs/cameron-13-5-8-10k-psi-double-ram-bop-used-ae/>

[B1] : Journal officiel de la république algérienne 2001, 2005, 2007

[B2] Journal officiel de la république algérienne N° 26 (Décret-exécutif-N°-06-141)

Annexes

Annexe 01

Résultats d'analyses Chimiques

▪ **Code laboratoire : 1159/2019** bassin askarene avant traitement prélèvement N° 01

Paramètres	Unités	Méthodes d'analyses	Résultats
Cadmium	mg/l	spectrophotométrie	0,79
Chrome	mg/l	NF EN 13 346	0,86
Cuivre	mg/l	spectrophotométrie	0,218
Mercure	mg/l	spectrophotométrie	0,75
Nickel	mg/l	NF EN 13 346	0,196
Plomb	mg/l	NF EN 13 346	0,183
Cyanure	mg/l	spectrophotométrie	0,28
Zinc	mg/l	NF EN 13 346	0,434
Ph	-	spectrophotométrie	7,97
fer	mg/l	spectrophotométrie	0,065
Hydrocarbures totaux	%	Extraction spectrophotométrie	12,65

 **Signature**
مسؤولة مختبر الكيمياء
بنت صبيح

▪ *ce rapport d'analyse est délivré en un seul exemplaire original et reste valable uniquement que pour les échantillons soumis à l'essai au CNTC ;*

IM 05.03 (Date :22/04/06 Ed .1 Rev 02)

REF N° 1761
page2/2

Résultats d'analyses Chimiques

▪ **Code laboratoire : 1314/2019** bassin askarene après traitement prélèvement N° 01

Paramètres	Unités	Méthodes d'analyses	Résultats
Cadmium	mg/l	spectrophotométrie	0,029
Chrome	mg/l	NF EN 13 346	0,27
Cuivre	mg/l	spectrophotométrie	0,226
Mercure	mg/l	spectrophotométrie	0,002
Nickel	mg/l	NF EN 13 346	0,014
Plomb	mg/l	NF EN 13 346	0,113
Cyanure	mg/l	spectrophotométrie	0,015
Zinc	mg/l	NF EN 13 346	0,188
Ph	-	spectrophotométrie	8,16
fer	mg/l	spectrophotométrie	0,0019
Hydrocarbures totaux	mg/l	Extraction spectrophotométrie	1,30

 **Signature**
مسؤولة مختبر الكيمياء
بنت صبيح

Annexe 02

Résultats d'analyses Chimiques

▪ **Code laboratoire : 1231/2019** bassin askarene (prélèvement N°02) avant traitement

Paramètres	Unités	Méthodes d'analyses	Résultats
Cadmium	mg/l	spectrophotométrie	0.81
Chrome	mg/l	Colorimétrie	0.76
Cuivre	mg/l	spectrophotométrie	0.78
Mercure	mg/l	spectrophotométrie	0.357
Nickel	mg/l	Colorimétrie	0.246
Plomb	mg/l	spectrophotométrie	0.836
Cyanure	mg/l	spectrophotométrie	0.2
Zinc	mg/l	spectrophotométrie	0.366
Ph	-	Ph mètre	12.71
fer	mg/l	spectrophotométrie	0.5
Hydrocarbures totaux	mg/l	Extraction spectrophotométrie	10.4

Signature



Résultats d'analyses Chimiques

▪ **Code laboratoire : 1232/2019** bassin askarene (prélèvement N°02) après traitement

Paramètres	Unités	Méthodes d'analyses	Résultats
Cadmium	mg/l	spectrophotométrie	0.2
Chrome	mg/l	Colorimétrie	0.5
Cuivre	mg/l	spectrophotométrie	0.5
Mercure	mg/l	spectrophotométrie	0.01
Nickel	mg/l	Colorimétrie	0.22
Plomb	mg/l	spectrophotométrie	0.5
Cyanure	mg/l	spectrophotométrie	0.1
Zinc	mg/l	spectrophotométrie	0.33
Ph	-	Ph mètre	12.67
fer	mg/l	spectrophotométrie	0.43
Hydrocarbures totaux	mg/l	Extraction spectrophotométrie	9.77

Signature



Annexe 03

2 - Industrie de l'Energie :

a - Raffinage de pétrole :

PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCE AUX VALEURS LIMITES ANCIENNES INSTALLATIONS
Débit d'eau	m ³ /t	1	1,2
Température	°C	30	35
PH	-	5,5 - 8,5	5,5 - 8,5
DBO ₅	g/t	25	30
DCO	"	100	120
MES	"	25	30
Azote total	"	20	25
Huiles et graisses	mg/l	15	20
Phénol	g/t	0,25	0,5
Hydrocarbures	g/t	5	10
Plomb	mg/l	0,5	1
Chrome 3+	"	0,05	0,3
Chrome 6+	"	0,1	0,5