

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES



Faculté de technologie - Département de génie de procédé

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du Diplôme de Master en

Spécialité génie chimique

Présenté par **ZIANI SARAH**

***Thème traitement des bourbiers de forage par procédé
stabilisation/solidification***

Soutenue devant le jury composé de :

Promotrice	Madame F.AISSAT
Examinatrice	Madame A.BENBOUABDDELLAH
président	Monsieur H. AKSAS

Année universitaire : 2023/2024

Résumé

Il n'y a aucun doute que les déblais de forage pétrolier constituent une véritable source de pollution pour l'environnement et la santé humaine. Le travail réalisé dans ce mémoire consiste à étudier l'efficacité du traitement des borbiers par le procédé de stabilisation/solidification. Le principe de cette méthode repose sur la fixation ou bien l'immobilisation de ces polluants à savoir les métaux lourds, le mercure et les hydrocarbures dans une matrice solide constituée de ciment et d'eau additionnée d'adjuvants afin de les piéger et d'empêcher leur migration (infiltration) dans le sol qui peut causer la contamination des nappes phréatiques.

Pour cela, une série d'analyses ont été effectuées, ou nous avons procédé à l'étude par une caractérisation physico-chimique des borbiers WET avant et après traitement par stabilisation/solidification, qui nous a permis d'évaluer son degré de contamination sur la santé humaine et sur l'environnement.

Abstract

There is no doubt that oil drilling spoils constitute a real source of pollution for the environment and human health. The work carried out in this dissertation consists of studying the effectiveness of the treatment of quagmires by the stabilization/solidification process.

The principle of this method is based on the fixation or immobilization of these pollutants, namely heavy metals, mercury and hydrocarbons, in a solid matrix made up of cement and water with added adjuvants in order to trap them and prevent their migration (infiltration) into the soil which can cause contamination of groundwater.

For this, a series of analyzes were carried out, or we carried out the study by a physico-chemical characterization of the WET sloughs before and after treatment by stabilization/solidification which allowed us to 1 contaminatand the environment.

لا شك أن مخلفات التنقيب عن النفط تشكل مصدراً حقيقياً لتلوث البيئة وصحة الإنسان.

يتكون العمل المنجز في هذه الأطروحة من دراسة فعالية معالجة المستنقعات من خلال عملية التثبيت / التصليب. ويعتمد مبدأ هذه الطريقة على تثبيت أو تجميد هذه الملوثات وهي المعادن الثقيلة والزنك والهيدروكربونات في قالب صلب يتكون من الأسمنت والماء مع إضافة مواد مساعدة من أجل احتجازها ومنع هجرتها (تسللها) إلى التربة التي يمكن أن تسبب تلوث المياه الجوفية.

ولهذا تم إجراء سلسلة من التحاليل أو قمنا بالدراسة من خلال التوصيف الفيزيائي والكيميائي للملوثات الرطبة قبل وبعد معالجتها بالتثبيت / التجميد، مما سمح لنا بتقييم درجة تلوثها على صحة الإنسان وعلى البيئة.

REMERCIEMENT

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

Je remerciements vont en particulier à Madame F. AISSAT, Maitre de Conférences B à l'université de Boumer dës, mon Promotrice, qui ma dirigé, conseillé et beaucoup aidé afin de bien mener ce travail.

Je remerciements s'adresse également à Madame A. AISSANI, Ingénieur d'Etat, notre Co-promoteur au niveau du CRD, ses conseils m'ont aidés à surmonter beaucoup de difficultés.

J'adresse ma vifs remerciements à Monsieur AKSAS, Maitre de Conférences A à l'université de Boumer dës, qui me fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire.

Je tiens à lui exprimer mon profonde et respectueuse gratitude. je suis très honorés de la participation à ce jury de Madame BENBOUABDLLAH, Maitre de Conférences A à l'université de Boumer dës, je la remercie vivement d'avoir accepté d'examiner ce mémoire.

Finalement, je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

DÉDICACES

Je dédie ce modeste travail à :

Ma mère honorable, aimable, Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours. Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études. Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

Mon mari NASSIM qui m'a vraiment aidé toute longue année scolaire et Mes sœurs, ASMA, NESRINE, et mes frères CHOUAIB, ZIAD, et mon Frère, ZOUHIR qui n'ont cessé d'être pour moi des exemple de persévérance, de courage et de générosité.

Pour les personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé

Avec mes meilleurs vœux de bonheur de santé et de prospérité

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I : généralités sur les fluides de forage et leur méthode de traitement.....	2
Présentation de HAOUD BERKAOUI.....	3
I. Historique.....	3
I.1.1. Définition de forage pétrolier	3
I.1.1.2 Principe	4
I.1.1.3 Phase d'exploration.....	4
I.1.1.4 Phase d'exploitation :.....	4
I.1.2 Les fluides de forage :.....	5
I.1.2.3 Types des fluides de forage :.....	5
I.1.2.3.1 Les fluides à base d'eau :	5
I.1.2.3.2 Les fluides à base d'huile :	5
I.1.2.3.3 Les fluides de forage gazeux	5
I.1.2.4 Circuit de la boue	5
I.1.2.5 Rôles des fluides de forage :.....	6
I.2. Quantification des rejets de forage :	7
I.2.1. Les types de rejets de forage :	7
I.2.1.2 Rejets solides :	7
I.2.1.3 Définition de Déblais.....	7
Chapitre II : étude des boues et leur traitement	9
II. Boues.....	10

II.1.2 Les caractéristiques des bourbiers :	10
II.1.3 Influence des bourbiers sur l'environnement :	11
II.1.3.1 Toxicité des Bourbiers :	11
II.1.3.2 Les hydrocarbures et les huiles.....	12
II.1.3.3 Quelques métaux lourds et leurs toxicités..	12
II.2.1 Principes de traitement des bourbiers pétroliers :	13
II.2.2 Traitement biologique.....	13
II.2.3 Traitement par le procédé de Désorption Thermique :	14
II.2.4 Traitement par le procédé Stabilisation/Solidification :	15
Chapitre III : Traitement par procédé stabilisation / solidification.....	17
III. 1 Les procédés de stabilisation/solidification :	18
III.1.2 Principe	18.
III.1.3. Les liants hydrauliques utilisés à HMD	19
III.2.1. Les Différentes techniques de stabilisation	20
III.3.1 Déchets solides :	22
III.3.2 Déchets Liquides :	22
III.3.3. Génération de déchets :	23
III.4.1 Impact sur la faune et la flore	24
III.4.2 Impact sur la qualité de l'air :	24
III.4.3 Impact sonore (pollution sonore) :	24
III.4.4 Les impacts positifs :	24
III.4.4. Classement des impacts environnementaux :	24
Chapitre IV Matériels et méthodes.....	26

IV.Introduction	27
IV .1. Echantillonnage :	27
IV.1.2.Codification (étiquetage) :	27
IV.1.3.Méthodologie :	27
Stratégie d'échantillonnage.....	28
IV.1.4. Prévention de la contamination :	29
IV.1.5.Matériels de prélèvement	29
IV.1.5.Choix du flaconnage :	30
IV.1.6.Conditions de stockage et transport :	31
IV.1.7.Échantillonnage.....	31
IV.2.1. Prétraitement des échantillons.....	32
IV.2.2.Protocole de lixiviation:	32
IV.2.3Dosage métaux lourds spectromètre de masse associée a un plasma d'argon à couplage inductif	34
IV.2.4.Préparation d'une séquence d'analyse.....	36
IV.2.6Mesure de la concentration après l'analyse de l'échantillon.....	38
IV.2.7Comparaison par essais inter-laboratoires Domaines d'application	38
IV.2.8Protocole de base et calculs.....	39
IV.3.1.Dosage des métaux lourds et Analyse de Mercure Hg	40
IV.3.2 Dosage des hydrocarbures	42
Chapitre IV : Résultats et discussion.....	45
Conclusion générale.....	51
Références bibliographique.....	53

Liste des figures

Figure 1 : Direction Régionale HAOUD BERKAOUI.....	1
Figure 2 : Schéma représentant le principe d'un appareil de forage.....	4
Figure 3 : schéma de circuit de puits de forage.....	6
Figure 4 : Bourbiers avant l'opération de forage.....	10
Figure 5 : borbier après l'opération de forage.....	10
Figure 6 : schéma qui montre les impacts des borbiers sur l'environnement.....	12
Figure 7 : traitement biologique du borbier	14
Figure 8 : schéma de fonctionnement thermique.....	15
Figure 9 : procédé solidification.....	29
Figure 10 : aléatoire simple	31
Figure 11 : boues de forage sur un site.....	32
Figure 12: borbier Type classique	32
Figure 13 : borbier type wet	33
Figure 14 : masse sèche dans un flacon	33
Figure 15 : dispositif d'agitation.....	33
Figure 16 : Filtration	33
Figure 17 : pH mètre.....	33
Figure 18 : borbier avant traitement	34
Figure 19 : borbier après traitement.....	34
Figure 20 : ICP-MS Agilent série 7700x.....	35

Figure 21 : Exemple de courbe de calibration (élément Ni).....	38
Figure 22 : Analyse de métaux lourds et du Mercure Hg.....	41
Figure 23 : spectromètre de masse associé à un plasma d'argon à couplage inductif (ICP-MS).....	42
Figure 24 : Analyseur d'hydrocarbures CPG CLARUS 580	42
Figure 25 : La purification de la phase organique	43
Figure 26 : concentration des échantillons par rota-va.....	44
Figure 27: Histogramme des métaux lourds et du Mercure de l'ECH1.....	47
Figure 28: Histogramme des Hydrocarbures CPG l'ECH1.....	47
Figure 29 : Histogramme des métaux lourds et du Mercure l'ECH2.....	49
Figure 30: Histogramme des Hydrocarbures CPG l'ECH2.....	49

Liste des tableaux

Tableau 1 : avantage et inconvénients des procédés de traitement des borbiers pétroliers...	10
Tableau 2 : valeur limites des déchets solides industriels.....	12
Tableau 3 : valeurs limites des déchets liquides industriels.....	23
Tableau 4 : principales caractéristiques de fonctionnement de l'ICP-MS 770x (Agilent).....	30
Tableau 5 : composition et teneurs des solutions mères utilisées pour les gammes d'étalonnage.....	36
Tableau 6 : formulation pour le traitement de borbier wet	37
Tableau 7 : comparaison entre échantillon 1 et la valeur limite des rejets pétroliers de la Région Haoud Berkaoui avant et après traitement.....	44
Tableau 8: comparaison entre échantillon 2 et la valeur limite des rejets pétroliers de la Région Haoud Berkaoui avant et après traitement.....	46

Liste d'abréviation

AP/TR : Après/Traitement

AV/TR : Avant/ Traitement

Hg : Mercure

Méthode S/S : Méthode solidification /stabilisation

ML : Métaux lourd

PH : Potentiel Hydrogène

SONATRACH : Société nationale pour la recherche, la production, le Transport, la transformation, et la commercialisation des hydrocarbures.

HBK : HAOUD BERKAOUI

Introduction générale :

La plupart des sources d'énergie nécessaires au fonctionnement de nos sociétés sont fournies par le pétrole. Mais leur extraction génère également une série de coûts sociaux et environnementaux présents et futures, directs et indirects, qui doivent être comparés aux bénéfices qu'ils génèrent. L'utilisation intensive et abusive des ressources fossiles et les rejets des déchets dans l'environnement qu'elles impliquent contribuent à détériorer le milieu naturel. Ce changement a un impact sur la société, la santé humaine, l'économie, les espèces vivantes, la production alimentaire et l'écologie. Chaque jour la pollution de notre environnement augmente, la santé humaine est de plus en plus mise en danger, engendrant ainsi des risques à moyen et long terme. L'Algérie n'est pas à l'abri de ces phénomènes en raison des opérations de forage et d'exploitation des unités de production et de raffinage qui génèrent une quantité importante de rejets industriels solides et liquides. Ces rejets sont stockés dans des endroits appelés bourbiers et renferment des produits toxiques tels que des métaux lourds et des polluants organiques. Ces derniers provoquent des problèmes qui menacent l'homme, la faune et la flore. Les lois de l'environnement exigent des traitements adéquats de ces déchets industriels afin d'éviter une éventuelle dégradation. Les conditions actuelles de traitement de ces rejets reposent essentiellement sur leur Stabilisation/Solidification. Cependant, une question subsiste : Est-ce que ce traitement réduit réellement et efficacement les polluants organiques et minéraux ? Pour répondre à cette question, nous avons envisagé de tester l'efficacité du traitement par le procédé Stabilisation/Solidification, sur des échantillons prélevés à partir des bourbiers pollués par des rejets de forage pour diminuer la toxicité des contaminants, et bloquer définitivement les polluants actifs, pour obtenir des bourbiers sous une forme stable, moins mobile et plus sécuritaire pour l'environnement. Le manuscrit est organisé comme suit:

Chapitre I Représente les généralités sur les fluides de forage et leur méthode de traitement

Chapitre II Représente les études de bourbier et les différentes techniques d'analyse utilisées pour la caractérisation des bourbiers de forage

Chapitre III Consacré au traitement stabilisation solidification.

Chapitre IV Représente la partie matériels et méthodes

Chapitre V illustre les résultats et discussion

On termine par une conclusion générale

Chapitre I

Généralités sur les fluides de forage et leurs méthodes de traitements

Présentation de HAOUD BERKAOUI

La région de HAOUD BERKAOUI représente une principale zone productrice d'hydrocarbures du Sahara algérien dans la wilaya de Ouargla , elle est composée de trois réservoirs Trias Argilo-gréseuse partiellement exploité, Trias Argilo-gréseuse imprégné d'huile et la série inférieure qui est le réservoir principal de la région. L'étude d'une opération de fracturation hydraulique dont l'objectif est d'augmenter ou bien d'améliorer l'indice de productivité. Elle est un processus utilisé pour extraire le pétrole et le gaz, en injectant un fluide composé d'eau, de sable et d'un petit pourcentage de substances chimiques, à des pressions élevées. Ce processus est utilisé depuis des dizaines d'années. Il peut permettre d'extraire le gaz des formations rocheuses beaucoup moins perméables. Des résultats positifs sont obtenus sur les puits candidats OKS64 et OKN72 étudiés du champ de Haoud Berkaoui , avec un gain de production de 4,58 m³/h sur l'ensemble des deux puits au terme de la campagne de fracturation qui a permis une amélioration des caractéristiques pétro-physiques du champ.

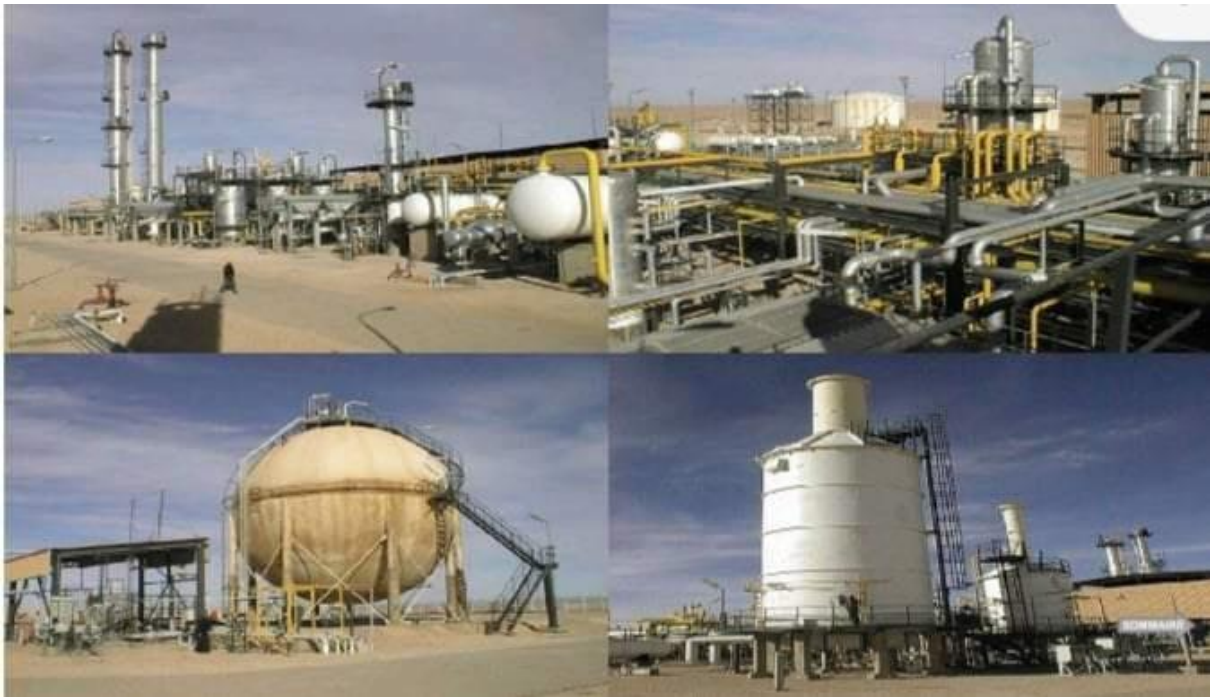


Figure 1 : Direction Régionale HAOUD BERKAOUI

I. Historique

En aout 1859, le colonel DARKE fora son premier puits de pétrole à vingt trois mètres de profondeur près de Titusville en Pennsylvanie (USA), il employa le système de forage par battage au câble qui utilise, pour attaquer 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 où ils découvrirent des terrains plus difficiles

I. 1.1 Définition de forage pétrolier

On appelle "forage pétrolier" 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. Ceci nous permet de nous faire une idée de la constitution du sous-sol et des possibilités de gisements, sans pour autant préciser la présence d'hydrocarbures. L'opération de forage peut alors confirmer les hypothèses faites et mettre en évidence la nature des fluides contenus dans les roches [1]

I.1.1.2 Principe

Avant de forer un puits, on doit effectuer plusieurs études et suggérer de nombreuses hypothèses concernant le terrain à forer, la cible à atteindre, la stratigraphie à connaître et le profil de forage à adopter. On distingue deux principales phases dans un forage.

I.1.1.3 Phase d'exploration

Les géophysiciens et les géologues font des études pour découvrir la caractéristique chimique et géologique des terrains à forer. Les géophysiciens émettent l'hypothèse de l'existence ou non d'une roche réservoir, c'est la strate débitante du fluide recherché. C'est pour cette raison que l'on cherche à connaître la stratigraphie du sol considéré. Par la suite les ingénieurs de génie civil se chargent de la construction du camp de vie et de la plate forme en béton qui va soutenir les installations de forage tel que le Derrick (tour de forage), le treuil, la table de rotation.

I.1.1.4 Phase d'exploitation

Généralement, les puits d'exploration deviennent par la suite des puits d'exploitation. Pour estimer la taille de la couche réservoir, on fore des puits de délimitation pour assurer une bonne exploitation. Il faut savoir que la réalisation d'un puits pétrolier peut aller de quelques semaines à une année selon la profondeur et les difficultés de forage régional [2]

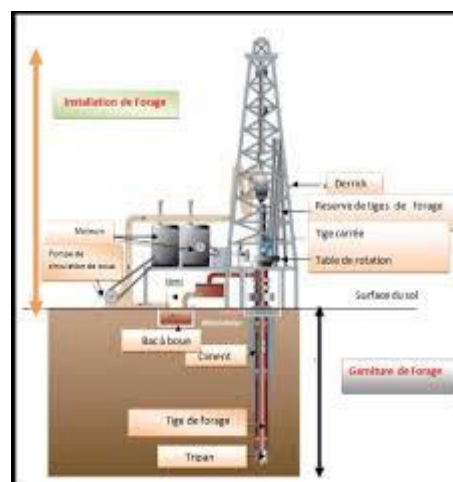


Figure 2 : Schéma représentant le principe d'un appareil de forage.

I.1.2. Les fluides 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. Utilisé dans les opérations de forages pétroliers ou gaziers, un fluide de forage doit répondre à plusieurs fonctions tel qu'il assure le bon déroulement du forage [3].

I.1.2.3 Types des fluides de forage

I.1.2.3 .1 Les fluides à base d'eau

Ces fluides sont souvent désignés par "Water-Based Muds" ou WBMs. Ils sont dans la plupart des cas constitués par des suspensions de bentonite dans l'eau (30 à 60 g/L) dont les caractéristiques rhéologiques et de filtration sont souvent ajustées par des polymères. La nature des électrolytes et leur concentration dans les formulations de boues à eau sont choisies en prenant en compte les caractéristiques de la formation (activité de l'eau des formations argileuses, dissolution des formations salines).

I.1.2.3 .2 Les fluides à base d'huile

Les fluides de forage à base d'huile sont des fluides dont la phase continue est une huile minérale (pétrole brut, fuel, gazole, ...) et la phase dispersée est de l'eau. Par définition les fluides de forage à base d'huile contenant plus de 5% d'eau sont appelés boues de forage en émulsion inverse ; avec moins de 5% d'eau, on a les boues à l'huile (IDF, 1988). Ces fluides sont souvent désignés par "Oil-Based Muds" ou OBMs. La phase continue la plus utilisée jusqu'à ces dernières années était le gazole, mais actuellement la législation relative à la protection de l'environnement impose l'utilisation d'huiles minérales ou "synthétiques", ne contenant plus de composés aromatiques. Des agents émulsifiants et mouillants sont alors utilisés pour favoriser la stabilité de l'émulsion.

I.1.2.3 .3 Les fluides de forage gazeux

Ce sont des fluides dont la phase continue est du gaz mélangé avec de l'eau en proportions variables provenant de la formation traversée (inévitablement) ou ajoutée intentionnellement. Le gaz peut être de l'air ou du gaz naturel, et peut appartenir à une mousse ou à un brouillard [4].

I.1.2.4 Circuit de la boue

La figure 2 schématise le circuit de boue de forage selon les étapes suivantes :

- la boue est mélangée et conservée dans le bassin de décantation ;

Une pompe achemine la boue dans la tige de forage qui descend jusqu'au fond du puits ;

- la boue sort de l'extrémité de la tige de forage et tombe au fond du puits où le trépan est en train de forer la formation rocheuse ;

- la boue emprunte ensuite le chemin inverse en remontant à la surface les morceaux de roche, appelés déblais, qui ont été arrachés par le trépan ;

- la boue remonte dans l'espace annulaire, entre la tige de forage et les parois du puits. Le diamètre type d'une tige de forage est d'environ 10 centimètres (4 pouces). Au bas d'un puits profond, ce dernier peut mesurer 20 centimètres (8 pouces) de diamètre (Logbo, 2014) ;

- à la surface, la boue circule dans la conduite d'aspiration de la boue soit une tige qui mène au tamis vibrant ; les tamis vibrants se composent d'un ensemble de toiles métalliques vibrantes servant à séparer la boue des déblais. La boue s'égoutte dans les toiles et est renvoyée vers le bassin de décantation ;

- un traitement plus élaboré est effectué par un ensemble d'équipements d'épuration mécanique ;

- les déblais de la roche glissent le long de la glissière du tamis pour être rejetés. En fonction des impératifs environnementaux, notamment, ils peuvent être lavés avant leur rejet. Une partie des déblais est prélevée pour être examinée par des géologues afin d'étudier les propriétés des roches souterraines présentes au fond du puits (Bouhadda, 2013).[5]

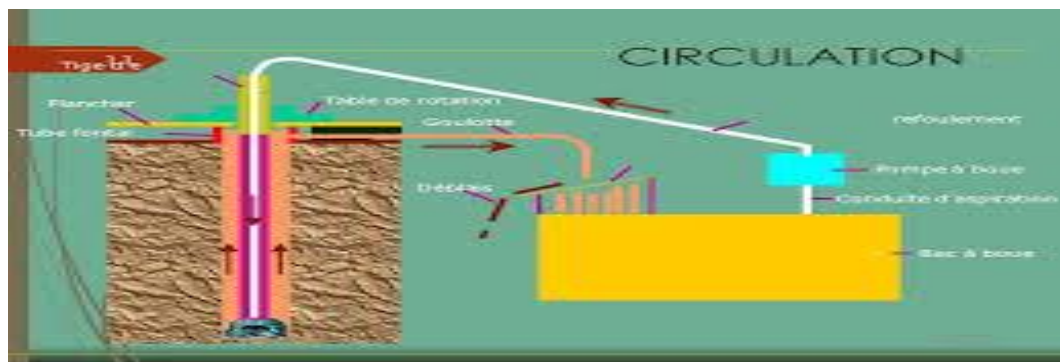


Figure 3 : schéma de circuit de puits de forage

I.1.2.5 Rôles des fluides de forage

Les fluides de forage doivent avoir les propriétés leur permettant d'assurer les fonctions suivantes :

- Nettoyage du puits ;
- Maintien des déblais en suspension ;
- Sédimentation des déblais fins en surface ;
- Refroidissement et lubrification de l'outil et du train de sonde ;
- 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 ;
- Augmentation de la vitesse d'avancement ;
- Entraînement de l'outil ;
- Diminution du poids apparent du matériel de sondage ;
- Apport de renseignements sur le sondage ;
- Eviter la contamination des formations productrices ;
- Eviter la corrosion et l'usure du matériel ;
- Assurer la sécurité et éviter la toxicité.[6]

I.2. Quantification des rejets de forage

I.2.1. Les types de rejets de forage

Les rejets inhérents à l'opération de forage pétrolier sont de deux natures :

I.2.1.1 Rejets solides

Ils correspondent aux déblais de forage enrobés par de quantités considérables de fluides de forage et aux rejets résultant des processus de centrifugation (Bellatache, 2013).

I.2.1.2 Rejets liquides

Les eaux usées de nettoyage déversées dans des excavations réalisées à cet effet et qui sont appelées dans le jargon du métier : bournier ; les fluides enrobant les déblais de forage ; les déversements accidentels de fluides de forage (Bellatache, 2013). [7]

I.2.1.3 Définition de Déblais

Les déblais de forage sont de petits morceaux de roche qui sont éjectés par l'action d'outil au fond du puits. La plupart des outils travaillent la roche par grattement ou broyage rotatif. Les

Déblais de forage sont amenés à la surface, entraînés par les boues de forage, et en surface sont traités pour séparer les boues des déblais. La boue est réutilisée tandis que les déblais sont déchargés et récupérés pour être traités (normalement par solidification/stabilisation ou désorption thermique), sauf pour les premières phases du forage, quand la boue à base d'eau « WBM » et les déblais sont déchargés dans le borbier directement (Etude d'impact environnemental et social des activités de forage de l'AL-2 Gassi Chergui).[8]

ChapitreII :

Etude bourbiers et leurs traitements

II . 1 Les bourbiers

Définition Le dictionnaire français Larousse, définit un bourbier comme une dépression du sol remplie d'une boue épaisse. 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, 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, ..) qui peuvent exister sur les sites de forage. Ces rejets sont généralement stockés dans des endroits appelés "bourbiers".



Figure 4 : Bourbiers avant l'opération de forage



Figure 5 : bourbier après l'opération de forage

II.1.2 -Les caractéristiques des bourbiers

Le borbier est une fosse septique sans toit qui est étanché par un plastique (liner) imperméable qui joue le rôle d'une plateforme pour le borbier, 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 voisines du sol d'autre part.

II.1.3-Influence des bourbiers sur l'environnement

Les borbiers (cuttings) sont principalement contaminés par des hydrocarbures gasoil ou pétrole, provenant de la boue à base d'huile et des métaux lourds Comme le plomb provenant principalement des additifs de la boue. [8]

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

:

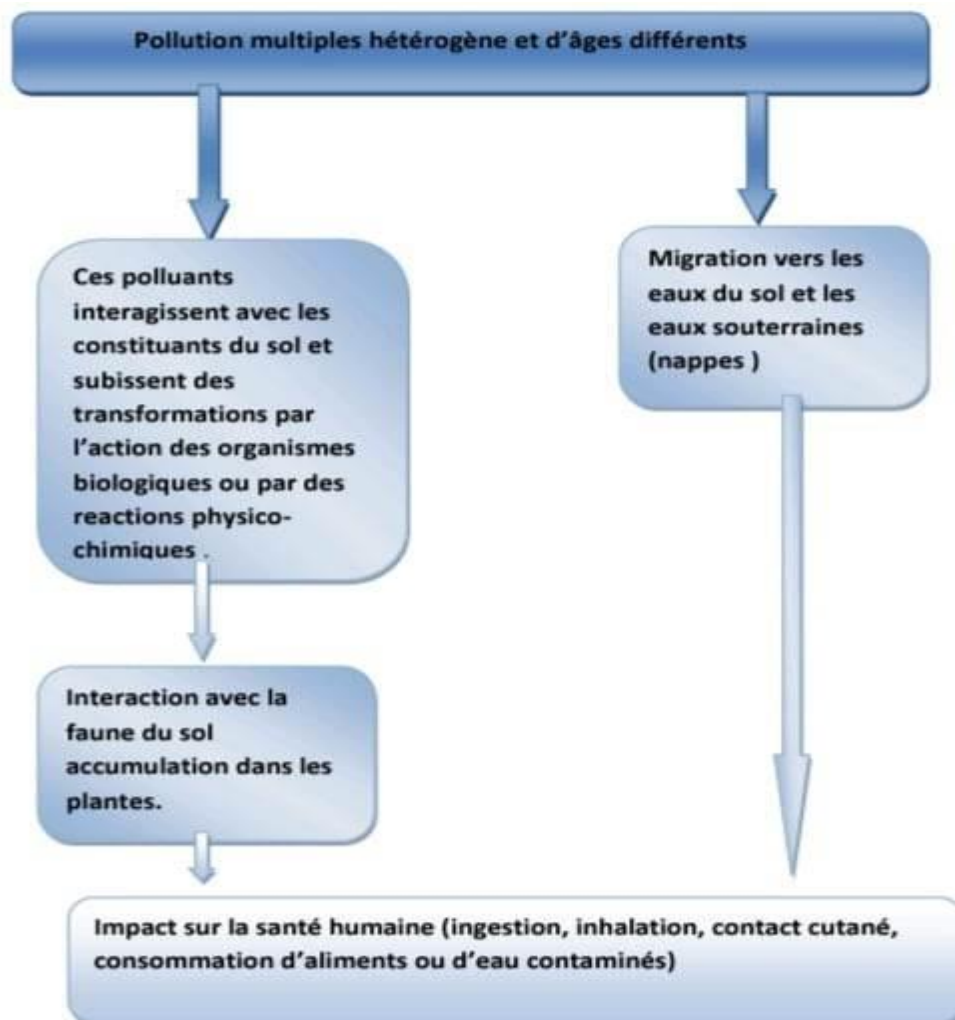


Figure 6 : schéma qui montre les impacts des borbiers sur l'environnement

II.1.1.3 Toxicité des Bourbiers

a. Les Métaux Certains contaminants tels que les métaux, sont susceptibles d'être toxiques de façon immédiate envers un être vivant. En raison de leurs propriétés chimiques (solubilité, état d'oxydation) les métaux se présentent sous différentes formes : ions, complexes et liés à divers ligands. Leur spéciation influe directement sur leurs toxicités et leurs biodisponibilités.

II. 1.2.2 Les hydrocarbures et les huiles

La stabilité des hydrocarbures aliphatiques est assez élevée, et leur dégradation dans l'environnement sous l'effet de la lumière ou des bactéries étant très lente. Dans le cas des hydrocarbures plus légers que l'eau, la quantité déversée doit être suffisante pour qu'il ait constitution d'une phase continue. Si non, la pollution se manifestera sous forme de gouttelettes d'huile piégées dans les pores constituant autant de micro-sources de pollution, par relâchement dans la phase d'eau de composants solubles. S'il y a constitution d'une phase 'huile' non miscible et continue, celle-ci va migrer vers la nappe sous l'influence de la gravité et des forces capillaires, ces dernières induisent de plus un étalement latéral.

La phase 'huile' en déplacement peut être enveloppée d'une phase gazeuse formée par la vaporisation des composants les plus volatils. Si la nappe est atteinte, les composants solubles passeront dans la phase d'eau et seront entraînés par convection et dispersion. La quantité de polluant restant à l'état de phases distinctes continuera de se déplacer lentement sous l'effet de ses propres gradients de pression en exerçant sur la nappe une action qui en déprima légèrement la surface.

II.1.2.3. Quelques métaux lourds et leurs toxicités

Les métaux lourds s'accumulent dans les organismes vivants et perturbent les équilibres et mécanismes biologiques, provoquant des effets toxiques à court et/ou à long terme. Ils peuvent affecter le système nerveux, les fonctions rénales, hépatiques et respiratoires. Ils peuvent causer des problèmes sérieux comme un retard de croissance et de développement, des perturbations des systèmes bio régulateurs responsables de troubles étiquetés fonctionnels ou psychosomatiques (syndrome fatigue chronique, fibromyalgie) des problèmes neuraux dégénératifs (Parkinson, Alzheimer) et finalement des lésions organiques et des cancers

- **Chrome**

Les déchets contenant du chrome sont considérés comme problématiques en raison de leur comportement dans les couches profondes du sol lorsqu'ils sont stockés dans des décharges. En milieu alcalin, on estime que la stabilité des chromates peut atteindre 50 ans, et qu'ils peuvent migrer vers les nappes aquifères, même à travers de sols cohérents. La combustion de boues contenant des composés chromiques doit être évitée en raison du risque de formation de chromates.

- **Cuivre**

Le cuivre est un élément naturel. Il est présent tout aussi bien dans la croûte terrestre que dans les océans, les lacs ou les rivières, sous forme de traces ou de minerais plus ou moins riches. Loin de représenter un quelconque danger, il est essentiel à toute forme de vie : les plantes, les poissons, les animaux et les êtres humains.

- **Cadmium**

Le cadmium est généralement présent dans l'environnement à de faibles concentrations, cependant, les activités humaines font que ces concentrations augmentent. Les tests de toxicité ont été réalisés sur les poissons et ont prouvé que le cadmium est toxique à des concentrations allant de 0,01 à 1 mg/L et que cette toxicité augmente en présence du cuivre

- **Mercur**

Le mercure est un métal très réactif dans le milieu où il se trouve (température, composition chimique...). Il peut former dans l'organisme des liaisons avec les molécules de la cellule vivante (acides nucléiques, protéines...), ce qui entraîne la modification de leur structure ou l'inhibition de leurs activités biologiques.

II.2. Principes de traitement des bourbiers pétroliers

Pour le traitement des bourbiers pétroliers, nous avons trois méthodes :

- Traitement biologique.
- Traitement par le procédé de Désorption thermique.
- Traitement par le procédé Stabilisation/Solidification.

II.2.3. Traitement biologique

Les traitements biologiques permettent la dégradation des substances organiques (huiles) contenues dans les particules solides, par l'intermédiaire de microorganismes spécifiques (bactéries, fungus) qui se développent naturellement et dans des conditions aérobies. Quelques conditions doivent être satisfaites pour favoriser l'action de ces microorganismes et augmenter la cinétique de biodégradation des composés organiques, à savoir : la température, la DBO (demande biologique en oxygène), l'humidité, le pH, les nutriments (phosphore, azote). Des inconvénients limitent l'utilisation de cette technique comme la longue durée du processus et le fait que son résultat est imprévisible



Figure 7 : traitement biologique du bourbier

II.3.3. Traitement par le procédé de Désorption Thermique

La désorption thermique consiste en l'extraction des polluants adsorbés par les déblais, sous l'action de la chaleur (de 250 à 600°C). Le procédé de la désorption thermique est une méthode permettant d'extraire physiquement les contaminants organiques des boues.

Ces boues contaminées sont placées dans une chambre fermée et chauffée jusqu'à ce que les hydrocarbures se volatilisent. La température et la durée de traitement sont réglées en fonction de la concentration, du niveau d'humidité et de la nature de la boue. Les hydrocarbures et les particules de poussières que renferment les gaz sont d'abord dirigés vers un appareil à oxyder, puis vers un filtre où elles sont retirées. Les boues traitées sont ensuite récupérées pour des divers usages (les boues traitées sont facilement valorisables comme matériel de remblais). Ce procédé ne génère ni odeur, ni déchet. Les avantages de ce procédé résident dans la possibilité de réutiliser des boues traitées et dans la récupération des hydrocarbures présents dans les boues. Tandis que ses inconvénients sont le coût (procédé onéreux) et son champ d'action qui ne couvre pas tous les types d'hydrocarbures.

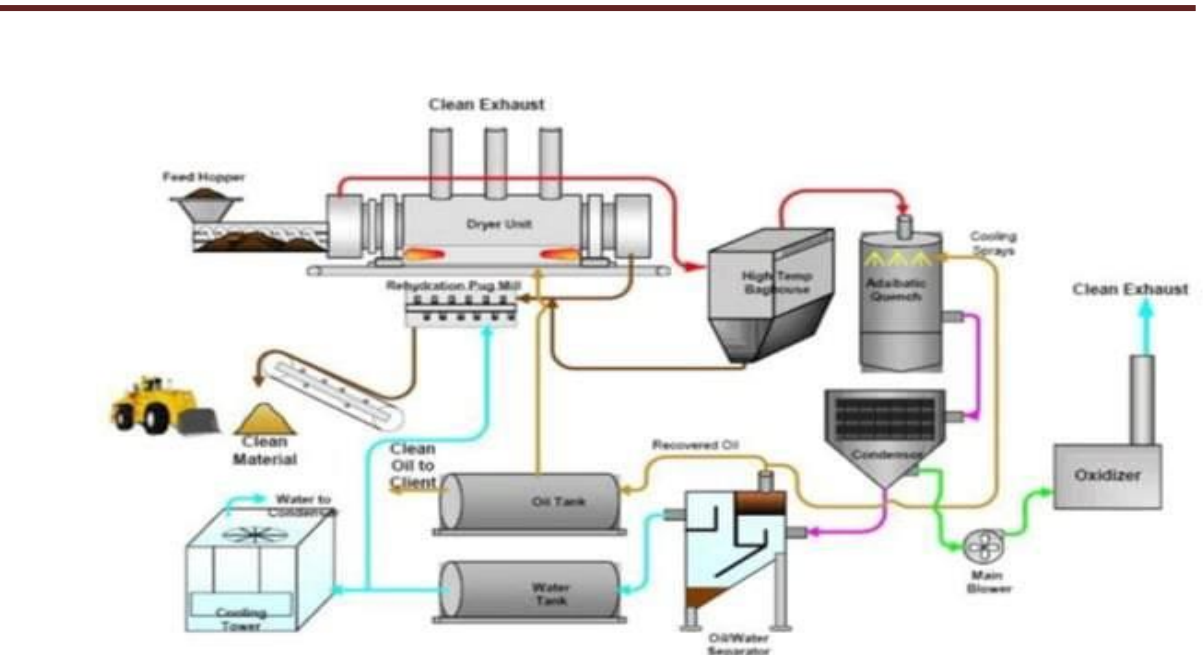


Figure 8 : schéma de fonctionnement thermique

II.3.4. Traitement par le procédé Stabilisation/Solidification

Le procédé Stabilisation/Solidification a pour but d'améliorer la rétention des polluants (hydrocarbures et les métaux lourds contenus dans les déblais) et de confère au matériau obtenu un certain niveau de durabilité structurale. Cette technique utilise les propriétés physico chimiques des ciments, utilisés comme liants hydrauliques, pour diminuer les risques sur l'environnement dus au relargage des éléments métallique ou radioactifs, etc.... [9].

Tableau 1 : Avantage et inconvénients des procédés de traitement des bourbiers pétroliers :

Type de procédé	Avantage	Inconvénients
Procédé biologique	- Faible coût de traitement - Faible production de sèches et d'effluents	- Longue durée du traitement (plusieurs mois, voire, dans certains cas, plusieurs années)
Procédé thermique	- Les déblais traités par ce procédé contiennent moins de 1% d'huile - Le pourcentage de solide dans l'huile récupérée est inférieur à 1% - L'eau récupérée est réutilisée pour réhydrater les déblais traités - Les déblais contaminés sont chauffés indirectement. par conséquent, cela réduit le risque d'émissions atmosphériques, de décharges de gaz acides, de particules fines et de produits de combustion incomplète	- Coûts plus élevés que pour le procédé de stabilisation-solidification
Procédé stabilisation / solidification	- procédé simple et rapide - Economique - Ne demande pas beaucoup d'équipements - permet de réduire le transfert des polluants vers l'environnement (95%)	- Augmentation du volume de produit solidifié par rapport au déchet initial - Nécessite un suivi méthodique des déchets traités - Risque d'explosion et d'incendie - permet à une partie de liquide de s'infiltrer

Chapitre III

Traitement par procédé stabilisation / solidification

III.1. Les procédés de stabilisation/solidification

Parmi les méthodes de traitement des déchets, la S/S est encore actuellement la technique la plus utilisée pour traiter les déchets radioactifs et dangereux [35], en raison de son faible coût, de sa facilité de mise en œuvre et de l'adéquation aux critères sélectifs, en vue de leur admission en centre d'enfouissement technique de classe (tableau. N°4 -Annexe I).

III.1.2.. Définition

Le procédé de S/S ou inertage vise à améliorer les qualités physiques et chimiques des déchets en vue de faciliter leur stockage

➤La stabilisation

Ou fixation chimique consiste à réduire le potentiel polluant des déchets ultimes. Il s'agit en effet de transformer les espèces chimiques polluantes en composés stables moins toxiques et moins solubles, ayant un potentiel polluant faible, ou en composés retenus par des mécanismes d'adsorption ou d'échanges d'ions. Cette rétention chimique des polluants se produit grâce à la formation de liaisons chimiques entre polluants et les composés de la matrice

➤La solidification

Est un processus qui permet de transformer les déchets ultimes en un solide de grande intégrité structurale, c'est-à-dire avec une faible perméabilité et de bonnes caractéristiques mécaniques ;La solidification ne modifie pas forcément le potentiel dangereux du déchet, mais le risque de dispersion des espèces toxiques dans l'environnement est limité au maximum et le contact déchet/environnement est réduit

III.1.2 Principe :

Les procédés de stabilisation/solidification des déchets reposent sur le principe de la réduction des rejets toxiques par ajouts des réactifs solides ou liquides .Ils permettent la solidification du déchet en solidifiât (masse solide) permettant d'une part de faciliter sa manutention et d'autre part, de limiter au maximum la dispersion du déchet dans l'environnement. Ils conduisent également à la stabilisation des espèces polluantes présentes dans le déchet (réduction de la mobilité).

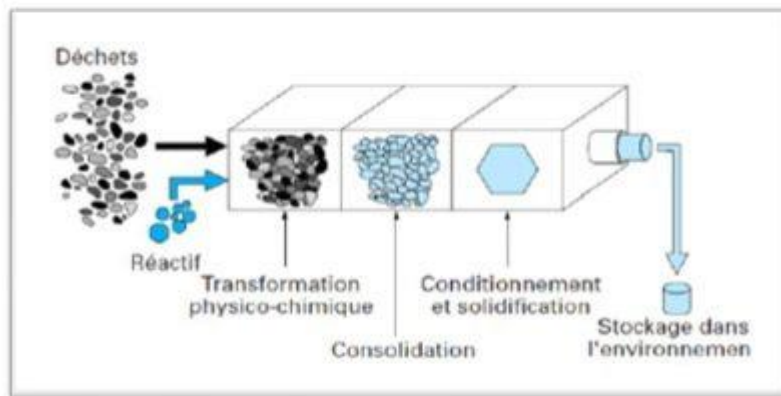


Figure 8 : procédé solidification

Il existe de nombreuses façons d'immobiliser des espèces chimiques à l'intérieur d'une matrice solide. Résume les principaux procédés, leur principe de base et les matières pour lesquelles ils peuvent être utilisés. L'United States Environmental Protection Agency (USEPA) a publié un guide référant à différentes sources d'information sur les procédés de stabilisation et solidification (USEPA, 1999).

Le présent document porte sur la stabilisation et la solidification avec des liants hydrauliques car c'est le procédé le plus souvent utilisé.

III.1.3. Les liants hydrauliques utilisés à HMD

- Silicate de sodium ($\text{SiO}_2 \text{Na}_2\text{O}$).
- Silicate de potassium ($\text{SiO}_2 \text{K}_2\text{O}$).
- Ciment.

• Silicate

Il donne un précipité insoluble en présence des métaux lourds et lorsqu'il réagit avec un cation polyvalent tel que : Calcium et magnésium, ces derniers forment un film imperméable autour des particules du solide.

- Ciment (Lie 2 éléments ensemble, réaction chimique avec H_2O)

✓ Hydraulique car il durcit au contact de l'eau (par hydratation) avec laquelle ils sont mélangé;

✓ Liant car il agglomère fortement les autres matières incorporées au mélange. Il enrobe et renforce la qualité du film du silicate suite à la réaction chimique avec le calcium libéré, le ciment utilisé réagit avec le calcium pour obtenir un produit silicate insoluble à la fin de

Cette opération et avec le temps ce mélange devient solide et dur, c'est ce qui forme un produit stable et inerte.

III.2.1. Les Différentes techniques de stabilisation

Les techniques de stabilisation se différencient principalement par la nature organique ou minérale des réactifs employés. Des additifs peuvent éventuellement être ajoutés afin de compléter l'action des liants la stabilisation regroupe plusieurs techniques telles que :

- La vitrification consiste à retenir des polluants dans une matrice vitreuse obtenue par traitement à haute température du déchet des ajouts peuvent éventuellement être faits ;
- La fixation physique consiste à encapsuler ou enrober les polluants du déchet ;
- La fixation chimique permet d'immobiliser les polluants dans une matrice grâce à la formation de liaisons chimiques entre les polluants et les composés de la matrice (exemple : complexation d'ions, insolubilisation des cations sous forme de silicates...) ;
- La solidification vise à donner aux déchets une certaine structure physique.

Cependant certaines techniques de traitement des déchets dangereux utilisent du bitume ou des thermoplastiques. L'utilisation des liants organiques permet uniquement une encapsulation. Ce traitement est très limité notamment par rapport à sa résistance face aux agressions extérieures. Les procédés de stabilisation utilisant des liants minéraux sont les plus étudiés, les plus connus et les plus avancés d'un point de vue technique. Les principaux réactifs utilisés sont des liants hydrauliques tels que les ciments, les bétons et la chaux. Très souvent, des adjuvants sont associés à ces liants hydrauliques. La stabilisation par ciment permet de traiter des mélanges de déchets solides, pâteux et mêmes liquides. Elle conduit à des matrices alcalines relativement résistantes au niveau mécanique, stable dans le temps et peu perméable.

Ces différents procédés de stabilisation présentent tous certains avantages et inconvénients. Tout d'abord il faut étudier la compatibilité du déchet avec le traitement envisagé et estimer les performances et le coût du traitement. Les procédés de stabilisation/solidification doivent donc répondre aux objectifs suivants :

- Transformer le déchet en un solide plus facile à transporter et à stocker ;
- Diminuer la surface d'exposition à l'environnement des contaminants ;
- Limiter la solubilité des contaminations en cas de contact avec un fluide lixiviant [10].

➤ La stabilisation/solidification d'un déchet à l'aide d'un liant bitumineux :

Consiste à fabriquer un matériau analogue à un enrobé bitumineux dans lequel des déchets se substituent aux agrégats. Ce matériau est viscoélastique, faiblement perméable, la matrice liante est caractérisée par une faible réactivité chimique. La caractérisation du déchet traité se résume à évaluer la résistance du matériau à l'action de l'eau notamment la solubilisation des polluants en fonction du contexte physico-chimique.

➤ **La liaison matrice ciment - granulat :**

Pour déterminer les performances mécaniques d'un béton, il est aisément imaginable de s'attacher aux propriétés de résistance de sa matrice ciment et à la compacité des granulats entrant dans sa composition. Pourtant, malgré la qualité de dureté du silex bien supérieure à celle du calcaire, un béton de gravier calcaire peut s'avérer plus résistant que son homologue de gravier siliceux. En effet, une part importante de la résistance d'un béton est fonction de la plus ou moins bonne adhérence de la matrice ciment sur la surface des granulats .

Les premières recherches sur la liaison matrice ciment - granulat montraient l'effet de la nature des composés à cette interface et l'intimité de leur liaison sur la résistance mécanique des bétons. Par la suite, deux catégories de systèmes d'étude ont été distinguées :

les bétons de granulats non poreux et les bétons de granulats poreux.

L'interface matrice ciment - granulat non poreux est constituée de deux couches de cristaux

Dont une poreuse, de faible cohésion avec une orientation préférentielle des cristaux qui

Constitue un point faible si le béton est soumis à des actions mécaniques. L'interface matrice

Ciment - granulats poreux ne présente ni zone de moindre cohésion, ni orientation préférentielle des cristaux.

➤ **Le béton Légers**

Les bétons légers sont des bétons renfermant de l'air. Leur masse volumique apparente est comprise entre 400 kg/m³ et 1 800 kg/m³ (tandis que celle des bétons « normaux » est comprise entre 2 200 kg/m³ et 2 500 kg/m³ En plus de leur légèreté, ils assurent une bonne isolation thermique et résistent mieux au feu que les bétons normaux .

La catégorie des bétons légers regroupe en fait les bétons caverneux (l'air est contenu

entre les granulats), les bétons cellulaires (l'air est contenu dans la matrice ciment) et les bétons de granulats légers (l'air est contenu au sein des granulats) . Pour notre étude,

Seule cette dernière famille présente un intérêt.

Nous abordons quelques caractéristiques communes des granulats légers avant

D'examiner le mode de fabrication et les propriétés des bétons dont ils font partie.

III.3. Critères d'admission des déchets :

III.3.1 Déchets solides :

En absence de réglementation algérienne des limite tolérées pour les rejets solides, on se réfère au décret français du 18 /12/1992 .

Publié dans le journal officiel français le 30/03/1993

Tableau 2 : valeurs limites des déchets solides industriels

N°	PARAMETRES	UNITE	Valeurs Limites
1	PH	-	4-13
2	Chrome total	mg/kg	70
3	Plomb Total	mg/kg	50
4	Zinc Total	mg/kg	200
5	Cadmium	mg/kg	5
6	Cuivre	mg/kg	100
7	Nickel Total	mg/kg	40
8	Arsenic	mg/kg	25
9	Sélénium	mg/kg	7
10	Mercure Total	mg/kg	2
11	COT	mg/kg	1000

III.3.2.Déchets Liquides

Décret exécutif n° 06-141 du 20 Rabie ElAouel 1427 correspondant au 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels :

Tableau 3 : valeurs limites des déchets liquides industriels

N°	Paramètre	Unités	Valeurs limites	Tolérances aux valeurs limites ancienne installation
1	Températures	°c	30	30
2	pH	-	6,5-8,5	6,5-8.5
3	MES	Mg/l	35	40
4	Azote Kjeldahl		30	40
5	Phosphore total		10	15
6	DCO		120	130
7	DBO5		35	40
8	Aluminium		3	5
9	Substances toxique bioaccumulable		0.005	0.01
10	Cyanures		0.1	0.15
11	Fluor et composés		15	20
12	Indice de pétroles		0.3	0.5
13	Hydrocarbures totaux		10	15
14	Huiles et graisses		20	30
15	Cadmium		0.2	0.25
16	Cuivre total		0.5	1
17	Mercure total		0.01	0.05
18	Plomb total		0.5	0.75
19	Chrome total		0.5	0.75
20	Etain total		2	2.5
21	Manganèse		1	1.5
22	Nickel total		0.5	0.75
23	Zinc total		3	5
24	Fer		3	5
25	Composés organiques chlorés		5	7

III.3.3.Génération de déchets

Les déchets liquides constituent un danger dont l'impact est considérable sur la qualité des eaux souterraines en cas d'infiltration). Les caractéristiques et l'extension de la contamination dépendraient des quantités et des types de déchets présents puis de la dynamique de l'aquifère.

En cas d'infiltration, les eaux souterraines seront polluées par une multitude de bactéries, microbes et autres polluants tels que les métaux lourds, les huiles, etc. (SONATRACH-division exploration, 2013).

III.4.1.Impact sur la faune et la flore

En général dans le désert les plantes ont des systèmes de racines très larges et elles poussent très lentement. Les dommages sur les plantes (soit aux plantes elles-mêmes, soit à leurs racines) sont souvent irréversibles ou alors elles mettent du temps à se régénérer. Les impacts sur la faune proviennent des impacts sur la végétation, étant donné que celle-ci fournit de la nourriture, de l'ombre et de la protection. La faune dépend directement de la végétation dans un environnement désertique, et des perturbations à cette végétation peuvent représenter un effet négatif indirect sur la faune locale. Les insectes, reptiles, mammifères et rongeurs utilisent la végétation pour leur protection et leurs besoins en eau et certains comme seule source de nourriture.

Le bournier peut aussi représenter un danger pour les animaux, car en effet, après avoir fini le forage du puits et l'avoir mis en production, l'appareil de forage est démonté et évacué et le bournier qui reste en attente d'être traité, constitue un véritable piège pour les animaux (fig. 5) (ERM, 2007).

III.4.2.Impact sur la qualité de l'air

La source principale d'impact sur la qualité de l'air de ces activités est l'émission de particules et de poussière et autres polluants atmosphériques (CO₂, CO,) (Boudjemaa, 2008).

III.4.3. Impact sonore (pollution sonore)

Les activités de forage génèrent du bruit environnemental produit par plusieurs sources pendant le projet. Les sources sonores les plus significatives sont les suivantes :

Utilisation des véhicules et machineries lourdes ;

Forage (carottage sismique et forage stratigraphique) ;

Génération de l'électricité sismique (Boudjemaa, 2008).

III.4.3.Les impacts positifs

Selon Kouadri. (1996) et après une communication orale avec M. Kadri, Nous avons relevés un seul impact positif lié à l'aspect socioéconomique. L'économie locale tirera des bénéfices des activités de forage dans la région de Hassi Messaoud. Durant le forage du puits, le nombre de personnes employées est estimé 130 intervenants et les activités de préparation du site nécessite le recrutement de 30 et 40 personnes. Le type d'employé inclura des expatriés et des algériens. Le projet aura un effet temporaire positif à l'économie de la région.

III.4.4. Classement des impacts environnementaux

Le plus grand impact de l'activité de forage et celui du déblai de forage contenant des résidus de boue (bourbier), caractérisé par un risque majeur. Donc les rejets présents dans le borbier générés par le forage présentent un risque potentiel pour la santé humaine et l'écosystème. En deuxième position arrivent les émissions atmosphériques, les travaux de terrassement et le trafic routier, caractérisés par un risque modéré.[11]

Chapitre IV :

Matériels et méthodes

IV.Introduction

Dans ce travail, nous avons prélevé des échantillons de borbiers avant et après traitement par solidification – stabilisation, en vue de réaliser les analyses suivantes après des tests de lixiviation

- Analyse de métaux lourds : ICP-MS
- Analyse de Mercure Hg : ICP-MS
- Analyse Hydrocarbures GC-MS

Cette étude a été réalisée au niveau laboratoire de géochimie minérale du division laboratoire ,(DLAB)SONATRACH sis à Boumer des .

Le traitement effectué est la stabilisation - solidification des borbiers en mélangeant une quantité de borbiers avec du ciment et des adjuvants ;

Les procédés de stabilisation/solidification doivent donc répondre aux objectifs suivants :

- transformer le déchet en un solide plus facile à transporter et à stocker ;
- diminuer la surface d'exposition à l'environnement des contaminants ;
- limiter la solubilité des contaminants en cas de contact avec un fluide lixiviant .

IV .1. Echantillonnage :

pour effectuer mon expériences, nous avons mélange plusieurs déblais de forage, qui sont prélevés d'un type borbier de région Houd Berkaoui (wet) PROCEDURE D'échantillonnage des sols pour l'analyse des polluants organiques et inorganique .

➤ But :

Cette méthode a pour objet de définir les lignes directrices d'une méthodologie d'échantillonnage des sols.

IV.1.2.Codification (étiquetage) :

L'échantillon doit être clairement étiqueté, afin de garantir l'unicité pour assurer la traçabilité.

Et contiendra les informations suivantes :

Type (nature) d'échantillon, Code de l'échantillon, Société de prestation, Date et lieu de prélèvement

IV.1.3.Méthodologie

➤ Généralités :

L'échantillonnage se doit de garantir que l'analyse de l'échantillon, ou du groupe d'échantillons, reflète le niveau de concentration du contaminant concerné à un instant et dans un lieu donné. Les résultats analytiques issus d'échantillons représentatifs reflètent la variation de présence et de concentration du polluant sur le site.

➤ **Stratégie d'échantillonnage**

L'objectif de l'échantillonnage à des fins d'analyse est d'obtenir des renseignements sur un milieu donné à l'aide d'échantillons représentatifs.

Une bonne planification de la campagne d'échantillonnage est nécessaire pour éviter les pertes de temps et les erreurs. Elle doit tenir compte du contexte et des objectifs du projet dans lequel l'échantillonnage doit avoir lieu, et qui consiste à :

Évaluer l'efficacité ou les effets d'une intervention ou d'un procédé de traitement ;

Vérifier le respect d'une réglementation.

Il existe plusieurs approches d'échantillonnage. Le choix doit se faire au moment de la planification de la campagne.

Les approches les plus utilisées lors d'une caractérisation des sols sont l'échantillonnage systématique, aléatoire simple, et ciblé. Illustre ces trois approches. Chacune d'elle peut être combinée pour donner plus de précision.

Echantillonnage aléatoire simple : qui consiste à prélever des échantillons à des endroits choisis au hasard sur le terrain, lorsqu'il s'agit d'un milieu statique (sol, résidus solides, etc.), ou à des périodes de temps choisies au hasard, lorsqu'il s'agit d'un milieu dynamique (rejets liquides, cours d'eau, convoyeur, etc.).

Ce type d'échantillonnage permet d'évaluer la contamination moyenne d'un milieu.

ALÉATOIRE SIMPLE

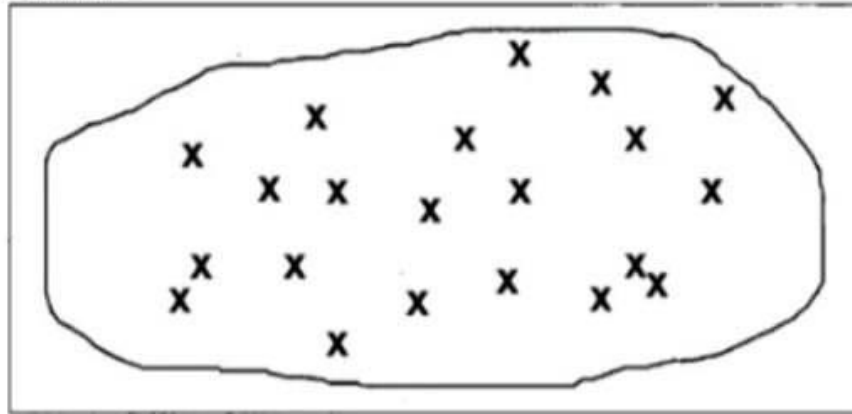


Figure 9 : aléatoire simple

IV.1.4. Prévention de la contamination

- Prendre des précautions lors de la manipulation de l'échantillon (ex. : porter des gants).
- Utiliser des matériaux (outil préleveur, contenants et cuillère pour homogénéisation, tamis, flaconnage) non contaminants vis à vis des substances à analyser (ex : polyéthylène ou polypropylène pour les métaux, verre ou inox pour les composés organiques).

Pour les mêmes raisons, l'outil préleveur ne doit pas avoir un revêtement altéré.

- Prévenir les sources extérieures de pollution (hydrocarbures par exemple).

IV.1.5. Matériels de prélèvement

Le choix du matériel à mettre en œuvre est fonction de nombreux paramètres dont les principaux sont les suivants et sans ordre d'importance :

accessibilité du terrain (accès, confinement, végétation, pente,...) ;

- couverture du sol (béton, asphalte, remblai) ;
- nature des sols (compacité, composition, hétérogénéité, présence d'une zone saturée,...) ;
- profondeur d'investigation ;
- volumes à prélever ;
- nature des polluants pressentis ;

- budgets disponibles ;
- sécurité du personnel de prélèvement ;
- préservation de l'environnement ;
- maîtrise des risques de contaminations...

Les différents équipements d'échantillonnage (pelles, truelles, carottiers, tarières, tubes, échantillonneurs, contenants intermédiaires, etc.) doivent être nettoyés entre chaque prélèvement.

L'échantillonnage nécessite l'utilisation de technique simples et d'un équipement facilement disponible et transportable.

Dans le cas de l'analyse des composés volatils, l'échantillon est placé tel quel et le plus rapidement possible dans le flacon prescrit par le laboratoire.

Tableau 4 : formulation pour le traitement de borbier wet

		Borbier de type wet
Fonction de produit chimique	Produit utilisés	concentration
Réactif principale	Ciment 42-5 (liant hydraulique)	150 g/l
Réactif secondaire	Silicate de sodium (liquide)	15ml/l
Additif	Tuf naturel	150g/l

IV.1.5.Choix du flaconnage

➤ Analyse organique

Pour l'analyse des micropolluants organiques, il faut éviter tout flacon en plastique, si les composés sont photosensibles, il est indispensable de ne prendre que du verre brun.

➤ Analyse inorganique

Pour les solides, prélever un échantillon représentatif d'un poids minimum de 500g dans un contenant de verre ou de plastique. Pour les échantillons liquides, prélever un volume minimum de 1 litre dans un contenant de verre ou de plastique.

Les flacons seront remplis de manière à laisser le moins de place possible à l'air et seront fermés de manière étanche.

Sachant que les analyses demandées sont les métaux lourds et les hydrocarbures totaux, il est possible d'utiliser un seul contenant pour regrouper ces paramètres. Le choix des flacons utilisés pour la conservation des échantillons devra être en verre ambré de 500 ml à bouchon

visse, ou à défaut, ceux-là peuvent être remplacé par des verres clairs entourés de papier d'aluminium.

Constitution de l'échantillon global représentant le lot

Tous les échantillons élémentaires ont le même volume à 10 % près ; on entend par là que l'étendue de la population des volumes des échantillons élémentaires est de 10 % par rapport à la moyenne. A chaque ajout d'un échantillon élémentaire, le volume global est mélangé afin d'homogénéiser l'ensemble. Au final, le volume ou le poids de l'échantillon global correspondra au moins au volume ou au poids analytique demandé par le laboratoire

IV.1.6. Conditions de stockage et transport

Les échantillons doivent être acheminés aux laboratoires dans les plus brefs délais. Il convient de prendre toutes les précautions afin de s'assurer qu'ils ne subissent aucune modification entre l'instant du prélèvement et celui de l'analyse.



Figure 10 : boues de forage sur Haoud Barkaoui

Le site concerné par l'échantillonnage avant traitement

Grande excavation appelée dans le jargon des foreurs bourbiers, réalisée dans le but de stocker la boue de forage chargée de déblais.



Figure 11: bourbier Type classique



Figure 12 : bourbier type wet

IV.2.1. Prétraitement des échantillons

Une fois les critères d'acceptation sont satisfaisants l'analyste doit procéder à la mise en solution totale de l'échantillon par essai de lixiviation selon la norme NF EN 12457-2 (Décembre 2002), et peut être résumé de la façon suivante:

IV.2.2. Protocole de lixiviation

Placer la prise d'essai d'une masse M_w correspondant à $0.090 \text{ kg} \pm 0.005$ de

Masse sèche M_s dans un flacon en verre ou en PP

Ajouter une quantité de lixiviant (L) permettant d'obtenir un rapport liquide-solide (S) = $10 / \text{kg} \pm 2\%$. Veillez à ce que le solide et le liquide se mélangent bien,

Placer le flacon bouché dans un dispositif d'agitation,

Agiter pendant $24\text{h} + 0.5\text{h}$

Pendant l'extraction, veillez à éviter la décantation de solides dans le flacon,

Laisser les solides en suspension décanter pendant $15 \text{ min} \pm 5 \text{ min}$

Filtrer la quasi-totalité de l'éluât sur un filtre à membrane de 0.45 um en utilisant un dispositif de filtration sous vide ou sous pression.

Diviser l'éluât en un nombre approprié de sous-échantillons pour les différentes

Analyses chimiques, et les conserver selon leurs exigences relatives.



Figure 13 : masse sèche dans un flacon



Figure 14 : dispositif d'agitation



Figure 15 : Filtration



Figure 16 : pH mètre



Figure 17 : bourbier avant traitement



Figure 18 : bourbier après traitement

IV.2.3. Dosage des métaux lourds par spectrométrie de Masse associée à un plasma d'argon à couplage inductif (ICP-MS) :

- **Spectrométrie de masse associée à un plasma d'argon à couplage inductif (ICP-MS) :**

L'ICP-MS utilisé pour cette étude est de marque Agilent Technologies (Agilent série 7700x), il a été reçu au laboratoire de géochimie minérale en février 2015. Voir figure Cet appareil est équipé d'une pompe péristaltique, d'un nébuliseur concentrique type Meinhardt, et d'une chambre de nébulisation type Scott, ainsi qu'une torche en quartz. La puissance est fournie par une génératrice haute fréquence de 27 MHz. L'interface se compose de deux cônes en nickel percés en leur centre d'un trou respectivement de 1mm pour le sampler et de 0.4mm pour le skimmer. La série 7700 est dotée d'une nouvelle cellule de collision/réaction octopolaire de troisième génération ORS (Octopole Reaction System) utilisant l'hélium comme gaz réactif. Ainsi qu'un quadripôle à barreaux hyperboliques, placé sous un vide de 3×10^{-6} mbar et moins pour le mode no gaz, et cela grâce à une pompe turbo moléculaire haute performance à deux étages et une pompe primaire externe. Le détecteur utilisé est un multiplicateur d'électrons à dynodes séparées. L'ensemble du système est piloté par le logiciel Mass Hunter. L'alimentation en gaz est réalisée à partir d'argon en bouteilles à 99,9999%

Minimum de pureté.

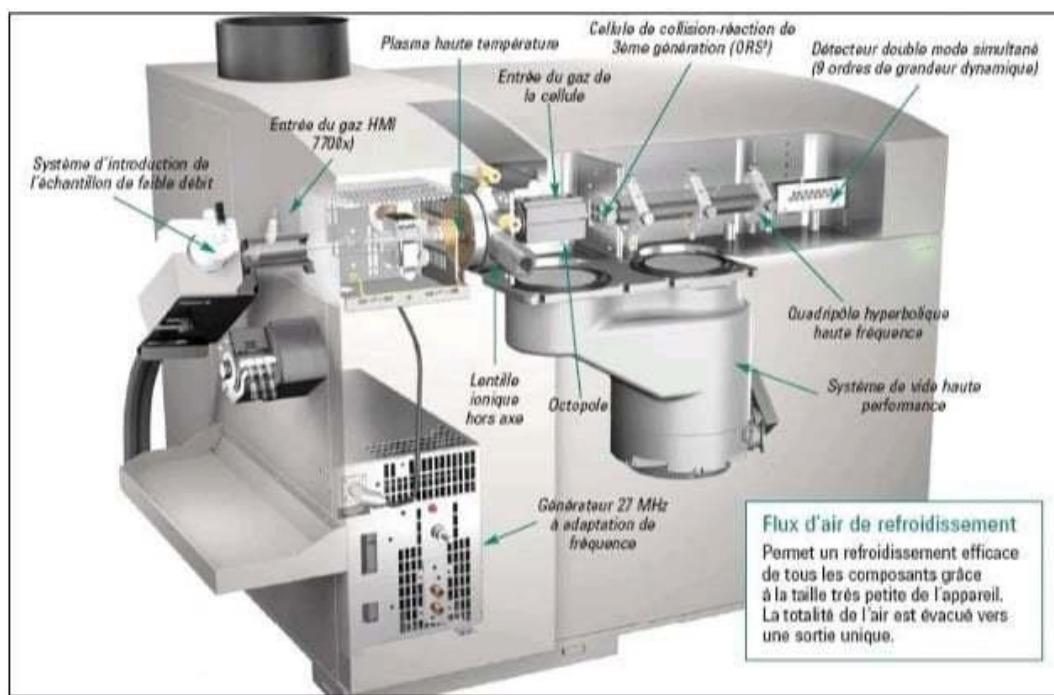


Figure 19 : ICP-MS Agilent série 7700x

Mise en pratique d'une analyse en ICP-MS a) Vérification du bon fonctionnement de l'ICP-MS Il est impératif de vérifier le bon fonctionnement de l'équipement avant de réaliser une analyse. Un test est effectué quotidiennement afin de vérifier l'état de l'appareil et d'éviter tout dysfonctionnement. Cette opération appelée « tune » consiste à modifier certains paramètres réglables (débit de gaz, vitesse de la pompe, tensions des lentilles de focalisation,.....) de manière à optimiser la réponse de l'appareil. Le tune est effectué à partir

De solution (Tuning solution) contenant 1µg/l des éléments Li, Y, Ti, Co, Mg et Ce. Ces éléments ont été choisis en fonction de leur masse afin de couvrir la totalité du spectre de masse du tableau périodique. Cette opération est effectuée à chaque démarrage de l'appareil.

b) Caractéristiques spécifiques de l'ICP-MS série 7700x Agilent-Technologies :

L'ensemble des conditions opératoires est détaillé dans le tableau (4) :

Tableau (5) : Principales caractéristiques de fonctionnement de l'ICP-MS 770x (Agilent)

caractéristiques	ICP-MS 7700x (Agilent technologie)
Système d'introduction l'échantillon	
Type de pompe Type de nébuliseur Type de chambre de nébulisation Débit de l'échantillon	Pompe péristaltique à 3 canaux Concentrique type Meinhardt (verre borosilicaté) Chambre de Scott (quartz) 0.2 mL.min ⁻¹
Paramètre ICP	
Puissance RF Torche Température du plasma Débit gaz plasmagène Débit gaz auxiliaire Débit gaz de nébulise	1550W Trois tubes concentriques en quartz mono-pièce (8000-10000)K 15 L.min ⁻¹ 0-1,0 L.min ⁻¹ 0,8-1,3L.min ⁻¹
Cellule de collision / réaction (ORS)	
Géométrie	Octopôle
Système de vide	
Pression interface Pression analyseur	Mode standby (0,3-5) pa Mode analysais (250-490) pa 3 x 10 ⁻⁶ mbar et moins en mode no gaz
Spectrometre de masse	
Cône sampler Cône skimmer Analyseur Gamme de masse Vitesse de balayage	Ni Ø 1 mm base en Cu Ni Ø 0,4 mm Quadripôle à barreaux hyperboliques 2-260uma > 3000 uma/s
Paramètres d'acquisition	
Mode d'acquisition Mode de collection des ions Détecteur	Quantitatif Comptage d'ions Multiplicateur d'électrons à dynodes discrètes

IV.2.4.Préparation d'une séquence d'analyse

- **Etalonnage et standards de références**

L'étalonnage des appareils (ICP-MS, FAAS) est classiquement effectué à l'aide de solutions « étalons » préparées à partir de solution mères du commerce, et cela par dilution successive dans de l'eau distillée ultra-pure jusqu'à la concentration désirée. Les solutions mères que nous avons utilisées pour préparer les gammes d'étalonnage ayant servi à l'analyse des métaux lourds par ICP-MS nous ont été fournies par la société Agilent technologies à l'achat de l'équipement. Le catalogue des éléments contenus dans chacun des différents lots et les concentrations afférentes sont présentées dans le tableau (5).

Tableau 6 : Composition et teneurs des solutions mères utilisées pour les gammes d'étalonnage

Nom	Type	Elément	conc	Matrice
Calibration standard 2A Agilent	Multi élément	27éléments : As, Ba, Be ,Ca ,Cd ,Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, K ,Li ,Mg, Mn ,Na, Ni, Pb, Se, Sr, Ti, U,V,ZN	10mg /l	5%HNO 3
Calibration standard 2A -HG Agilent technologie	Multiélément	Hg	10mg/l	5%HNO 3
Lead standard solutionMerck	Mono-élément	Pb	100mg/l	5%HNO 3 (0 ,5N)
Cadmium standard Solution Merck	Mono-élément	Cd	100mg/l	5%HNO 3 (0 ,5N)
Nickel standard Solution Merck	Mono-élément	Ni	100mg/l	5%HNO 3 (0 ,5N)
Chromium standard Solution Merck	Mono-élément	Cr	100mg/l	5%HNO 3 (0 ,5N)
Copper standard Solution Merck	Mono-élément	Cu	100mg/l	5%HNO 3 (0 ,5N)
Zinc standard	Mono-	Zn	100mg/l	5%HNO 3

Solution Merck	élément			(0,5N)
----------------	---------	--	--	--------

• Préparation d'une séquence d'échantillons

Chaque séquence d'échantillons commence par un blanc d'analyse, ce dernier permettra de retirer le bruit de fond, suivi d'un blanc de réactifs, lequel correspond à un essai réalisé dans les mêmes conditions que les échantillons mais avec comme prise d'essai de l'eau déminéralisée. Il permet de vérifier que les réactifs utilisés ne sont pas contaminés. Chaque série d'analyse débute par des solutions étalons, ces dernières sont des solutions dont la concentration en chaque élément est connue, une proportionnalité doit être respectée pour le

passage d'un étalon à un autre pour chaque élément. Ces gammes d'étalonnages sont préparées à partir de solutions multi ou mono élémentaires certifiées.

L'étalonnage réalisé est de type externe. Une lecture des solutions de contrôle qualité interne (CQI) est réalisée après la courbe de calibration. Ils sont ensuite relus tous les « n » échantillons et cela dans le but de vérifier une éventuelle dérive du signal au cours de l'analyse. Ces solutions sont préparées à partir de solutions multi ou mono élémentaires certifiées.

IV.2.5 .Mesure de la concentration Après l'analyse de l'échantillon, un spectre de masse est obtenu. La mesure du signal, et de ce fait la déduction de la concentration de l'élément obtenue par intégration du pic en retranchant l'intensité des blancs à ceux des échantillons. Il existe une proportionnalité, entre le signal et la concentration de l'élément présent dans l'échantillon, dans une certaine plage de concentrations, qui dépend des conditions d'analyses. La linéarité doit être observée pour les solutions étalons. Une droite d'étalonnage est validée lorsque le facteur de corrélation est au moins égale à 0,95.

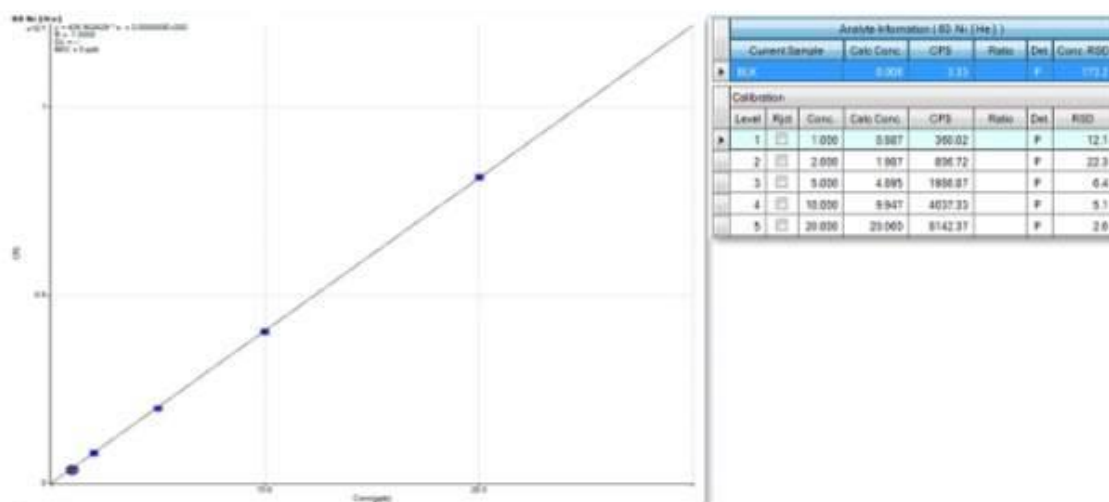


Figure 20 : Exemple de courbe de calibration (élément Ni)

Acceptation d'un résultat Une fois la lecture des échantillons faite, on vérifie que les résultats sont situés dans le domaine d'analyse. Ainsi, si la concentration d'un échantillon est supérieure à la concentration de l'étalon le plus haut de la gamme d'étalonnage, on réalise une dilution lors de la relance de l'échantillon. Il faut également vérifier que le RSD (Relative Standard Deviation en anglais) est inférieur ou égal à 5%. Le RSD correspond au pourcentage d'erreur entre « n » lectures. Il est défini selon l'expression suivant :

$$RSD\% = \frac{\sigma \text{ (mg/L)}}{M \text{ (mg/L)}} .100$$

IV.2.6.Comparaison par essais inter-laboratoires

Domaines d'application

➤ **Les essais inter-laboratoires sont de deux types :**

- les études collaboratives qui sont relatives à une seule méthode. Ces études sont réalisées pour la validation initiale d'une nouvelle méthode afin d'en définir principalement l'écart type de reproductibilité inter laboratoires SR-inter (méthode). La moyenne m pourra également être donné.
- les chaines de comparaison inter laboratoires, ou essais d'aptitude. Ces essais sont réalisés pour la validation d'une méthode adoptée par le laboratoire, et le contrôle qualité en routine. La valeur fournie est les moyens inter-laboratoires m, ainsi que l'écart type de reproductibilité inter laboratoires et inter méthodes SR-inter. Dans le cadre de sa participation à une chaîne d'analyse, ou dans une étude collaborative, le laboratoire peut exploiter les résultats pour étudier la justesse d'une méthode afin d'assurer initialement sa validation, et son contrôle qualité en routine. Si les essais inter laboratoires se font dans le cadre d'une organisation certifiée, ce travail de comparaison pourra permettre le raccordement de la méthode.

IV.2.7.Protocole de base et calculs

Pour obtenir une comparaison suffisante, il convient d'utiliser un nombre minimum de 5 matériaux d'essai. Pour chaque matériau d'essai, sont fournis deux résultats :

La moyenne de tous les laboratoires ayant produits des résultats significatifs (m). L'écart type de reproductibilité inter-laboratoires (SR-inter). Les matériaux d'essai sont analysés avec p répliques par le laboratoire, ces répliques étant réalisées dans des conditions de répétabilité. p

doit être au moins égal à 2. Pour chaque matériau d'essai, le laboratoire calcule le Zscore donné par la formule suivante :

$$Z_{score} = \frac{m_{lab} - m}{S_{R-inter}}$$

Si tous les Zscore sont inférieurs à 2, les résultats de la méthode étudiée pourront être jugés identiques à ceux obtenus par les laboratoires ayant donné des résultats significatifs.

Le Zscore est la position du résultat de chaque laboratoire par rapport à la valeur de référence (m) relativement à la dispersion des résultats (SR-inter). Le Zscore permet d'évaluer la justesse du résultat (également appelé biais du laboratoire). Le résultat est d'autant plus satisfaisant que le Zscore est proche de 0. Inversement plus le Zscore s'écarte de 0, moins le résultat est satisfaisant. Le signe du Zscore : (+) Le laboratoire a tendance à majorer le résultat (-) Le laboratoire a tendance à minorer le résultat

$Z_{score} < 2$: Résultat satisfaisant (non différent de l'ensemble des autres)
 $2 < Z_{score} < 3$: Résultat discutable (légèrement différent de l'ensemble des autres)
 $Z_{score} \geq 3$: Résultat non-satisfaisant (notablement différent de l'ensemble des autres).

IV.3 .1.Dosage des métaux lourds et Mercure Hg :

Par Spectrométrie de Masse associée à un Plasma d'argon à Couplage Inductif (ICP-MS) La spectrométrie de masse est une technique instrumentale d'analyse reposant sur la séparation, l'identification et la quantification des éléments constitutifs d'un échantillon en fonction de leur masse. Elle est basée sur le couplage d'une torche à plasma générant des ions et d'un spectromètre de masse qui sépare ces ions selon leur masse. Elle permet le dosage de la quasi-totalité des éléments simultanément. L'analyse des échantillons par ICP-MS peut être divisée en quatre étapes : induction- nébulisation, ionisation, séparation en masse, détection.

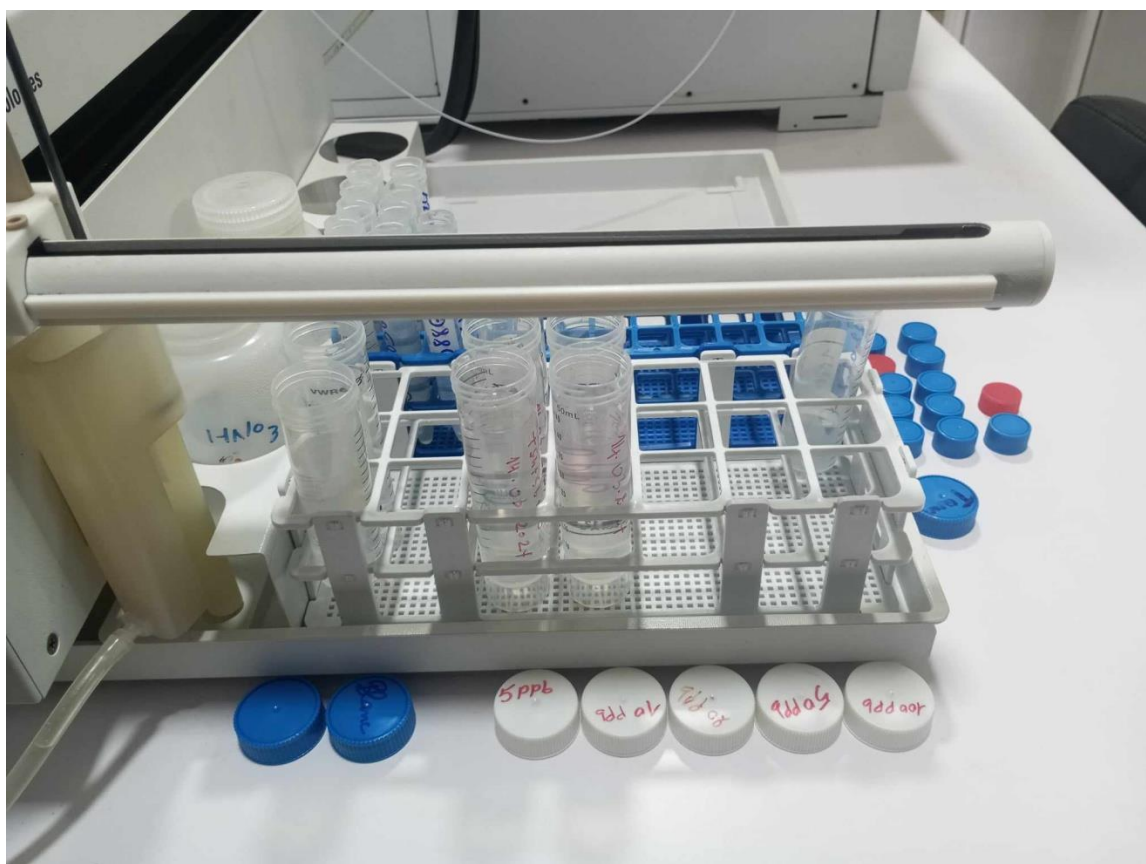


Figure 21 : Analyse de métaux lourd et Hg



Figure 22 : spectromètre de masse associé à un plasma d'argon à couplage inductif (ICP-MS)

IV.3 .2. Analyseur d'hydrocarbures CPG :

Pour la quantification de la concentration d'hydrocarbures totaux (HT) on utilise l'analyseur d'hydrocarbures CPG CLARUS 580.



Figure 23 : Analyseur d'hydrocarbures CPG CLARUS 580

➤ **Réactif :**

- n-hexane (C₆ H₁₄). Sulfate de sodium anhydre (Na₂ SO₄) stocké dans un dessiccateur ; Silicate de magnésium (MgSiO₃), appelé aussi Floris il, actif anhydre ; n-décane (C₁₀ H₂₂).n-tétracontane(C₄₀ H₈₂) ; Mélange étalon de n-alcanes ; Acide chlorhydrique (HCl) ; Acétone (CH₃ COCH₃) ; Hélium ; Hydrogène ; Air sec ; Azote.
- Solutions préparées - Solution mère du solvant d'extraction Dissoudre 20 mg de n-tétra contane dans l'hexane, puis ajouter 20 µl de n-décane et diluer avec l'hexane jusqu'à 1000 ml, la conserver hermétiquement fermée dans un réfrigérateur (4 °C à 8 °C) pendant 06 mois au maximum. • Solution fille du solvant d'extraction Diluer la solution mère dix fois avec l'hexane.
- • Mode opératoire
- 1. Ex traction - Acidifier l'échantillon à pH 2 en ajoutant de l'acide HCL si cela n'a pas été fait sur le lieu de prélèvement ;
- - - - Ajouter 50ml de solution fille du solvant d'extraction et un barreau aimanté, fermer la bouteille et agiter vigoureusement minimum pendant 30min à l'aide d'un agitateur magnétique ; Retirer le bouchon et le remplacer par le micro-séparateur ; Ajouter suffisamment d'eau pour permettre la récupération de la couche d'agent d'extraction du micro-séparateur ;
- Purification - Transférer la phase d'agent d'extraction dans une petite colonne remplie de 2 g de Floris il et recouvrir d'une couche de 2g de sulfate de sodium ; - Laisser percoler la phase d'agent d'extraction, suivi par 10 ml supplémentaires d'hexane, à travers la colonne, dans une ampoule à décanter ;
- Rincer la colonne avec environ 10 ml d'hexane.



Figure 25 : La purification de la phase organique

➤ **Concentration :**

Concentrer l'extrait purifié jusqu'à l'obtention d'un volume d'environ 6 ml avec le rota-vapeur ; Concentrer l'extrait de 6 ml jusqu'à l'obtention d'un volume de 1ml à l'aide d'un léger courant d'azote ; Transférer une aliquote de l'extrait final dans un Vial pour l'analyse par chromatographie en phase gazeuse.



Figure 26 : concentration par rota-va

Chapitre V

Résultats et discussion

Introduction

Dans cette partie, nous allons analyser tous les résultats des borbiers de type wet à base d'huile des rejets pétroliers HAOUD BERKAOUI avant et après traitement par solidification_ stabilisation avec du ciment.

On a fait un prélèvement de deux échantillons

Echantillons de rejets pétroliers région HAOUD BERKAOUI, avant et après traitement .La concentration des différents éléments est exprimée en ppm (mg/), à l'exception de celle du mercure qui est exprimée en ppb (Hg/).

Tableau 6 : comparaison entre échantillon 1 et la valeur limite des rejets pétroliers de la région HAOUD BERKAOUI avant et après traitement.

éléments	Cr(T)	Mn	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb	Hg	Hydrocarbure CPG
ECH1 November2023 Avant traitement (mg/l)	<0.001	0.060	0.001	0.004	<0.01	0.001	<0.001	<0.001	<0.1	29.27
ECH1 November2023 Traitement (mg/l)	0.060	<0.001	0.001	0.007	<0.01	0.001	<0.001	<0.001	<0.1	0 .945
Valeur limite (mg/l)	0.5	1	0.5	0.5	3		0.5	0.5	0 .01	10

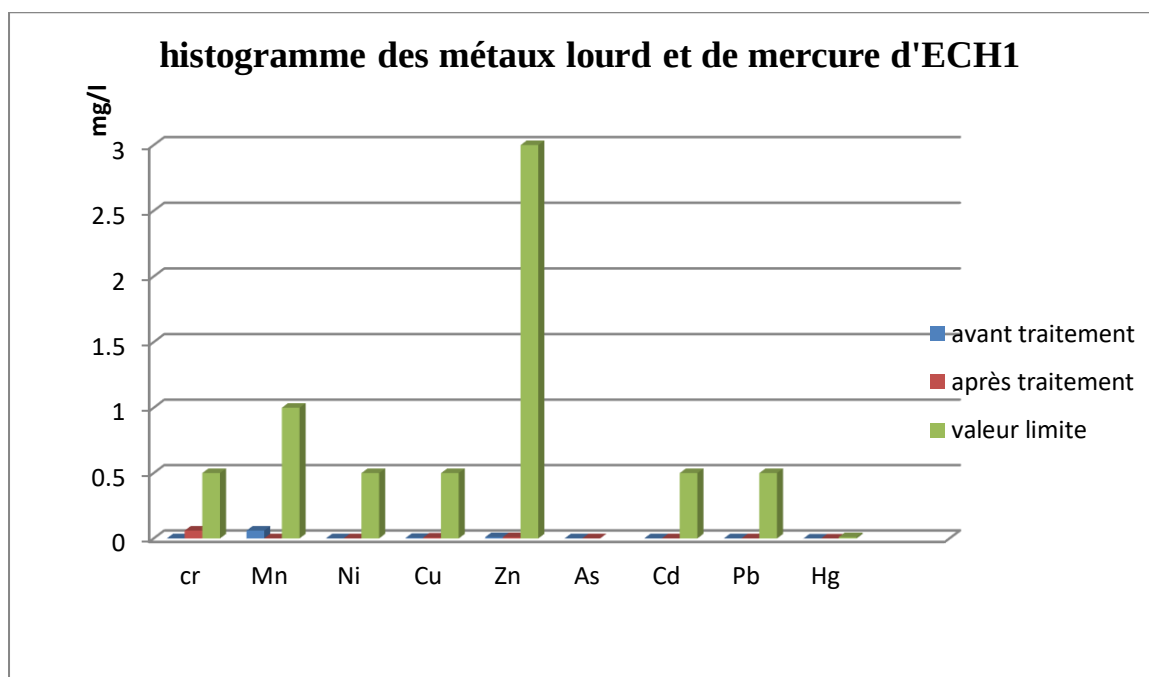


Figure 27 : Histogrammes des métaux lourds et du Mercure de l'ECH1

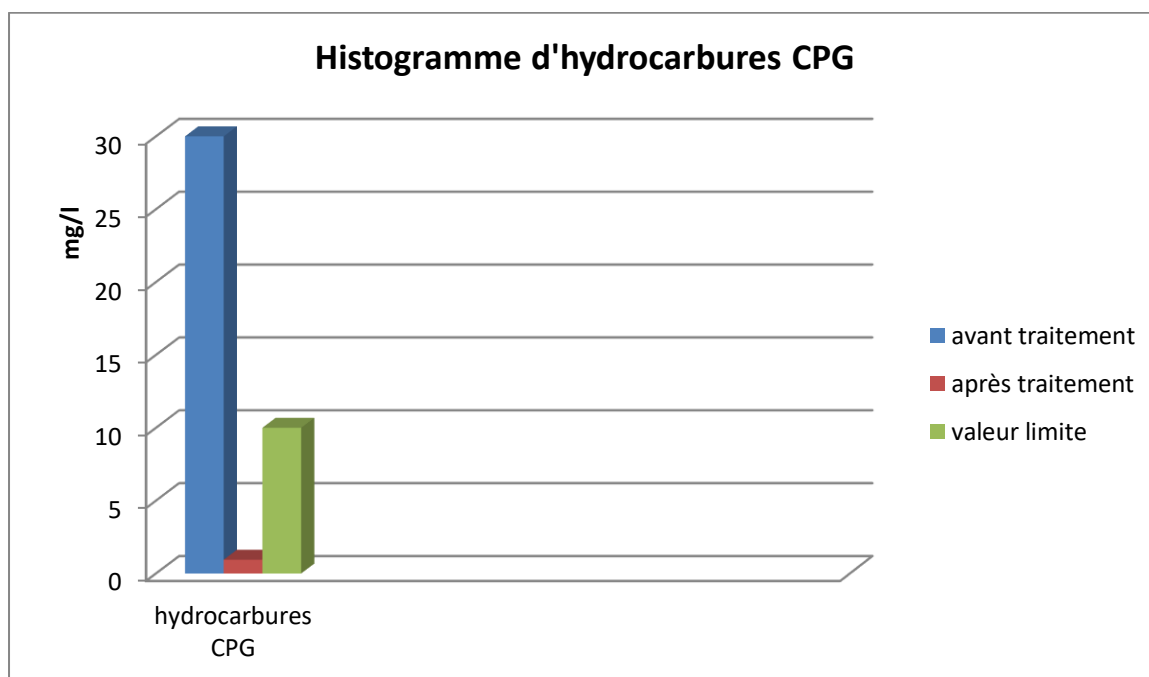


Figure 28 : Histogramme des Hydrocarbure CPG l'ECH

Tableau 8 : comparaison entre échantillon 1 et la valeur limite des rejets pétroliers de la région
HAOUD BERKAOUI avant et après traitement

éléments	Cr(T)	Mn	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb	Hg	Hydro carbur e CPG
ECH2 November2023 Avant traitement (mg/l)	<0.001	0.060	0.002	0.005	<0.01	<0.001	<0.001	0.004	<0.1	47.20
ECH2 November2023 Traitement (mg/l)	0.121	<0.001	0.002	0.002	<0.01	<0.001	<0.001	0.001	<0.1	3.524
Valeur limite (mg/l)	0.5	1	0.5	0.5	3		0.2	0.5	0.01	10

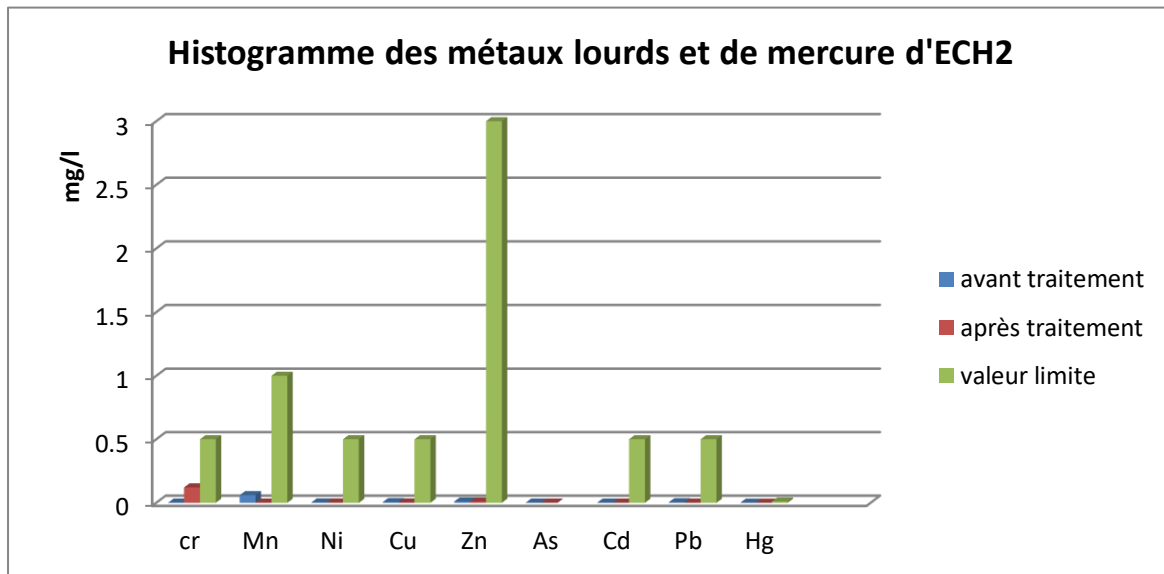


Figure 29 : Histogramme des métaux lourds et du Mercure de l'ECH2

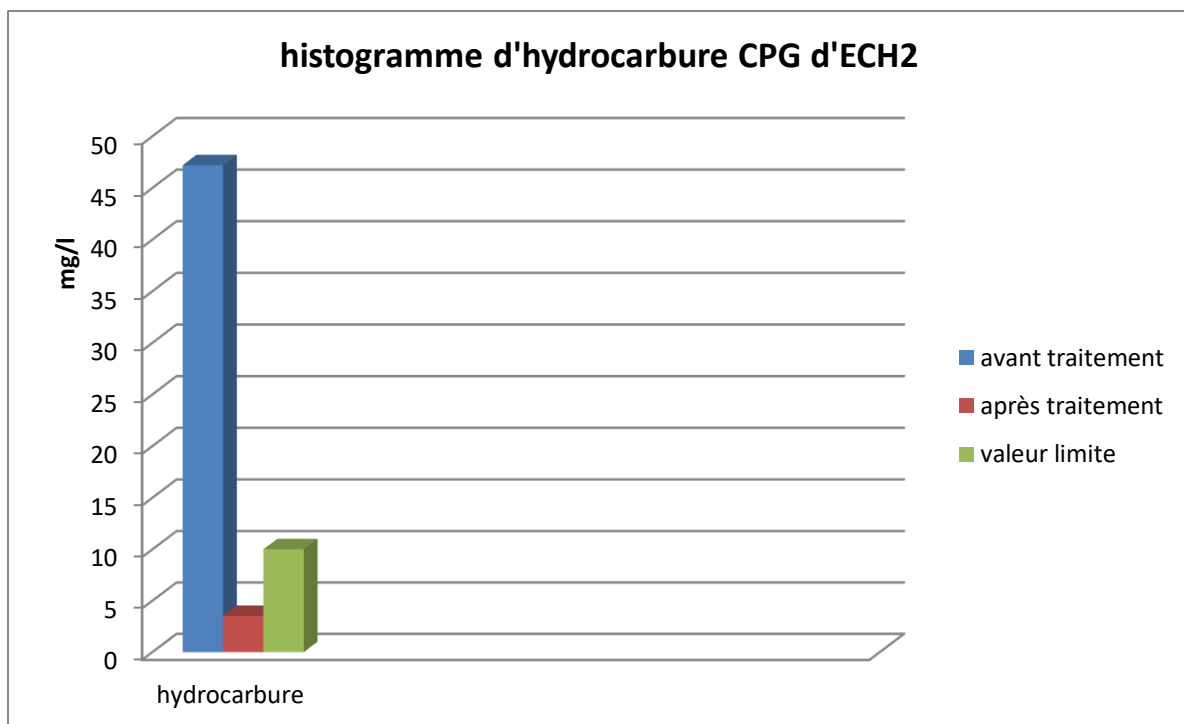


Figure 30 : Histogramme des hydrocarbures CPG de l'ECH2

➤ **Résultats de dosage du Mercure (Hg)**

D'après les résultats obtenus pour le dosage du mercure, on constate que le mercure est présent en traces dans tous les échantillons. En outre, toutes les concentrations sont

inférieures à la limite tolérée par le décret français. Ainsi, ces déblais ne représentent pas une contamination importante par le mercure.

➤ **Résultats de dosage des métaux lourds**

D'après les résultats d'analyse les valeurs des concentrations des métaux lourds dans les lixiviats de borbier wet avant et après traitement sont inférieures aux valeurs limites acceptables fixées par le décret français. D'où on conclut que les borbiers ne représentent pas une source de pollution par les métaux lourds.

➤ **Résultats de dosage des Hydrocarbure CPG :**

D'après les résultats, on constate que les échantillons sont chargés en hydrocarbures car les valeurs de teneurs des hydrocarbures avant traitement sont supérieures à la valeur limite par la réglementation Française (réglementation appliquée par la SONATRACH) , ce sont des échantillons présentant un risque de toxicité sur l'environnement et la santé publique.

Ces teneurs en hydrocarbures après traitement par solidification – stabilisation ont nettement baissées et sont conformes à la norme.

Conclusion générale

D'après les résultats obtenus au terme de cette étude, nous affirmons que le borbier WET présente une source de pollution en hydrocarbures très importante pour l'environnement et suite au traitement par stabilisation solidifications, ces concentrations se sont atténuées jusqu'à correspondre à la norme.

Par contre les concentrations en mercure et en métaux lourds se sont avérées au dessous de la norme avant et après traitement, donc il n'y a aucun risque sur l'environnement.

A partir des résultats de métaux lourds, de mercure, des hydrocarbures, nous avons conclu que le traitement stabilisation/solidification des borbiers réduit réellement et efficacement les polluants organiques et minéraux.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] H. Slimani, Etude préliminaire sur la valorisation d'un déblai de forage polluant par incorporation dans une matrice cimentaire, Mémoire de Master II, 2017, UMBB, Boumer dés.
- [2] F. Benziada, La Réglementation et la Protection de l'Environnement au sein de l'Activité Forage, Mémoire de Magister, 2010, Université d'Oran.
- [3] N. Benkacimi, Traitement de la pollution engendrée par les fluides de forage, Mémoire de Master II, 2013, USD, Blida.
- [4] Master en génie des procédés Spécialité génie chimique Intitulé étude des performances d'un système de fluide de forage à base d'eau et optimisation de la concentration d'un inhibiteur de gonflement des argiles
- [5] Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie Filière : Ecologie et Environnement Spécialité : Ecologie fondamentale et appliquée Intitulé : Traitement des fluides de forage par la méthode stabilisation/solidification au niveau du champ de Hessi Mess aoud
- [6] Master en génie des procédés Spécialité génie chimique Intitulé étude des performances d'un système de fluide de forage à base d'eau et optimisation de la concentration d'un inhibiteur de gonflement des argiles
- [7] Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie Filière : Ecologie et Environnement Spécialité : Ecologie fondamentale et appliquée Intitulé : Traitement des fluides de forage par la méthode stabilisation/solidification au niveau du champ de Hessi Mess aoud
- [8] Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de master ; Spécialité Management de la qualité ; thème Etude des méthodes de traitement des boues de forage : considération environnementale ; faculté des sciences de l'ingénieur. Boumer des
- [9] Mémoire de fin d'études ; en vue de l'obtention du diplôme de master en : domaine : science de la matière ; présenté par : BELKHAIRI AMEL ; AOUGACI RACHIDA ; thème caractérisation des bourbier de forage traités par le procédé stabilisation / solidification
- [10] Mémoire de fin d'études ; en vue de l'obtention du diplôme de master ; département génie des procédés ; Option génie chimique ; présenté par HAMDY AMINA ;OUADAH MANEL ; thème étude de l'efficacité des traitements des bourbiers par méthode de solidification stabilisation
- [11] Mémoire de fin d'études ; en vue de l'obtention du diplôme de master ; Domaine : sciences de la nature et de la vie ; Filière : écologie et environnement ; présenté par CHOUAOUA MAROUA ; IDAMI CHAHRAZED ; Université des frères MENTOURI

COSTANTINE. Intitulé : traitement des fluide de forage par la méthode stabilisation /solidification au niveau de champ de HASSI MESSAOUD