

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

Université SAAD DAHLAB de Blida



Faculté des sciences de l'ingénieur
Département de chimie industrielle

PROJET DE FIN D'ETUDES POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER 2
EN CHIMIE INDUSTRIELLE
OPTION : EAU, ENVIRONNEMENT ET DEVELOPPEMENT DURABLE

Thème

**Traitement de la pollution engendrée par
les fluides de forage**

Présenté par :

BENKACIMI NACER

Encadré par :

Promoteur : Mr. CHEKNANE BENAMAR

Co-Promotrice : Mme. AIT SOURA Née

Née NECIB SALIHA

Promotion: 2012/2013

Résumé

Le but de ce travail est le développement et l'amélioration de la technique de traitement des déblais du forage pétroliers appelés « cuttings », ces derniers sont chargés de grandes concentrations d'hydrocarbures, et leurs dépôt direct dans la nature contamine directement les nappes phréatiques, le sol, l'air et tout l'ensemble environnemental à cause de leur grand pouvoir d'infiltration et ruissellement. En prenant l'exemple la zone de Hassi Messaoud, ou une grande partie des eaux souterraines est contaminée.

Dans nos expériences concernant de ce projet, on est arrivé à réduire la concentration des hydrocarbures dans ces déchets de 30% à 2.4% qui est largement au-dessous de la norme qui est égale à 5%, en utilisant le procédé de traitement par solidification/stabilisation de ces contaminants, en utilisant du ciment associé avec d'autres additifs.

Le déchet traité peut être réutilisé dans de différents autres usages.

Summary

The goal of this work is the development and the improvement of the technique of treatment of oil spoil of drilling called "cuttings", the latter is in charge of great hydrocarbon concentrations, and their direct deposit in nature directly contaminate the water tables, the ground, the air and all the environmental whole because of their great power of infiltration and streaming. By taking the example the zone of Hassi Messaoud, or most of groundwaters is contaminated.

In our experiments concerning of this project, one managed to reduce the concentration of hydrocarbons in this waste from 30% to 2.4% which is largely below the standard which is equal to 5%, by using the process of treatment by solidification/stabilization of these contaminants, by using cement associated with other additives.

Treated waste can be re-used in different other uses

ملخص

والهدف من هذا العمل هو تطوير وتحسين أسلوب المعالجة منقطع ، أنها هي المسؤولة عن تركيزات عالية "العقل" الحفر النفطية يسمى من الهيدروكربونات وإيداعها مباشرة في الطبيعة تلوث المياه الجوفية مباشرة التربة ، والهواء . والبيئة بأكملها بسبب قوتهم كبيرة من عمليات التسلل والجريان السطحي أخذ مساحة سبيل المثال من حاسي مسعود ، أوجزء كبير من المياه الجوفية ملوثة .

فإننا نرى في هذا المشروع ، وصلنا إلى الحد من تركيز المواد الهيدروكربونية في النفايات من 30 في المائة إلى 2.4% وهو أقل بكثير %، وذلك باستخدام طريقة 5 من المعيار الذي يساوي استقرار هذه الملوثات، وذلك باستخدام يرتبط مع / العلاج بواسطة التصلب . إضافات لإسمنت الأخرى .

ويمكن إعادة استخدام الصرف الصحي المعالجة في الاستخدامات الأخرى المختلفة

Sommaire

Introduction générale	1
 <u>CHAPITRE I</u> : Le forage et les fluides de forage	
Généralités sur le gisement de Hassi Messaoud (HMD)	3
I.1 Définition du forage	8
I.2 Principe du forage rotatif	8
I.3 Architecture d'un puits	8
I.4. Programme de tubage et cimentation	9
I.5 Généralités sur les fluides de forage	10
I.5.1 Définition des fluides de forage.....	10
I.5.2 Caractérisation des fluides de forage.....	10
1.5.2.1 Paramètres physique et chimiques.....	11
1.5.2.1.1 La Densité.....	12
1.5.2.1.2 La Rhéologie.....	12
1.5.2.1.2.1 La Viscosité.....	13
1.5.2.1.2.2 La Contrainte seuil.....	13
1.5.2.1.2.3 Gels et thixotropie.....	13
I.5.2.2 Propriétés de filtration des fluides de forage	14
I.5.3 Principales fonctions des fluides de forage.....	15
I.5.4 Composition des boues de forage.....	15
I.5.5 Types de fluides de forage.....	17
I.5.5.1 Les fluides de forage à base d'eau.....	17
I.5.5.2 Les fluides de forage à base d'huile.....	18
I.5.5.3 Les fluides de forage gazeux.....	18
1.5.6 Filtration et endommagement des formations.....	19

CHAPITRE II : Impacts des fluides de forage sur l'environnement et techniques de réhabilitation des sols

II. 1. Impacts des déblais de forage sur l'environnement.....	21
II.1.1 Introduction.....	21
II.1.2 Définition des déchets de forage.....	21
II.1.3 Catégories des déchets	22
II.1.3.1 Déchets Non Dangereux.....	22
II.1.3.2 Déchets Dangereux.....	23
II.1.4 Importants polluants générés par les activités de forage.....	23
II.1.5 Problématique liée à la conception d'un bournier.....	26
II.1.6 Libération des polluants.....	27
II.1.7 Impact des déblais de forage.....	27
II.1.7.1 Impact sur l'environnement.....	27
II.1.7.2 Impact sur la santé	29
II.1.7.3 Impact sur la faune et la flore	29
II.1.7.4 Impact sur la qualité de l'air.....	30
II. 2. Technique de décontamination des sols pollués.....	31
II. 2.1 Introduction	31
II. 2.2 Politique environnementale et législation	32
II. 2.2.1 Définition de la réglementation.....	32
II. 2.2.2 Législation et normes algériennes.....	32
II. 2.2.3 Considérations générale.....	33
II. 2.2.4 Normes internationales	33
II. 2.3 Hiérarchie de gestion des déchets.....	34
II. 2.4 Techniques de réhabilitation des sols pollués.....	34
II. 2.4.1 Les techniques physiques.....	37
II. 2.4.1.1 Les procédés par piégeage	37
II. 2.4.1.2 Les procédés par évacuation.....	37
II. 2.4.2 Les techniques chimiques.....	38
II. 2.4.2.1 Les méthodes de mobilisation et d'extraction.....	38
II. 2.4.2.2 Les réaction chimique.....	38
II. 2.4.3 Les techniques chimiques.....	38
II.2.4.3.1 Incinération.....	39
II.2.4.3.2 désorption thermique.....	39
II.2.4.4 Les techniques biologiques.....	39
II.2.4.4.1 Traitement en réacteur ou Bioslurry.....	39
II.2.4.4.2 biotertre et Landfarming.....	40
II.2.4.4.3 Phytoremédiation.....	40
II.2.5 Techniques de traitement utilisées à Hassi Messaoud.....	40
II.2.5.1 Traitement par solidification/stabilisation	41
II.2.5.1.1 Principe.....	41
II.2.5.1.2 Description du processus d'opération	43

II.2.5.1.2.1 La solidification.....	46
II.2.5.1.2.2 La stabilisation.....	46
II.2.5.1.2.3 Un liant hydraulique.....	46
II.2.5.1.3 Avantages et inconvénients du procédé.....	49
II.2.5.2 Traitement thermique.....	50
II.2.5.2.1 Principe.....	50
II.2.5.2.2 Avantages et inconvénients du procédé.....	53

CHAPITRE III : Partie expérimentale

III.1 Introduction	54
III.2 Matériels et méthodes expérimentales.....	55
III.2.1 Résistance à la compression libre.....	55
III.2.2 Distillation	55
III.2.3 Test de simulation à la lixiviation.....	56
III.2.4 Tests de simulation à l'attaques à l'acide.....	58
III.2.5 Tests pétro-physique (porosité et perméabilité).....	59
III.2.6 Spectroscopie à transformée de Fourier (FTIR).....	61
III.2.7 Spectroscopie d'adsorption atomique (SAA)	62
III.3 Optimisation de la quantité d'eau pour l'hydratation du ciment.....	64
III.4 Préparation des échantillons.....	65
III.4.1 Echantillon référence ciment.....	65
III.4.2 Echantillon ciment avec hydrocarbures.....	65
III.4.3 Echantillon ciment avec sable.....	65
III.4.4 Echantillon ciment avec baryte.....	66
III.5 Echantillonnage et caractérisation des cuttings bruts.....	66
III.5.1 Nature granulométrique des cuttings.....	66
III.5.2 Evaluation de la contamination par les métaux lourds.....	67
III.5.3 Caractérisation globale de l'échantillon.....	68

CHAPITRE IV : Résultats et discussions

IV.1 Résultats et discussions pour prétraitement

IV.1.1 résistance à la compression (solidification de la matrice).....	69
IV.1.1.1 Echantillon référence ciment.....	69
IV.1.1.2 Echantillon ciment avec hydrocarbure [HC] (gasoil).....	69
IV.1.1.3 Echantillon ciment avec sable.....	70
IV.1.1.4 Echantillon ciment avec baryte.....	71
IV.1.2 Porosité et perméabilité (tests pétro-physiques).....	72
IV.1.2.1 Echantillon référence ciment.....	72
IV.1.2.2 Echantillon ciment avec gasoil [HC].....	72
IV.1.2.3 Echantillon ciment avec sable.....	74
IV.1.2.4 Echantillon ciment avec baryte.....	76
IV.1 Résultats et discussions pour le traitement.....	78
IV.2.1 Optimisation de la concentration du ciment.....	78
IV.2.2 Optimisation de la concentration de chaux pour l'optimum de ciment.....	80
IV.2.3 Combinaison des optimums.....	81
IV.2.4 Tests d'acceptation de la stabilisation des métaux lourds.....	82
Conclusion générale.....	83
Références bibliographiques	84

Liste Des Tableaux

Tableau I.1 : Programme de tubage

Tableau I.2: additifs utilisés dans la formulation des fluides de forage.

Tableau I.3 : Compositions chimiques, quantités et information toxicologiques des fluides de forage au niveau de Hassi Messaoud

Tableau I.4 : Déchets de forage et impact potentiel

Tableau I.5 : Valeurs limites maximales des paramètres d'analyse

Tableau I.6: Synthèse des principaux traitements de dépollution

Tableau I.7 : Les réactifs utilisés dans le traitement de solidification

Tableau I.8 : Modes d'incorporation

Tableau III.1 : estimation du volume nécessaire à hydrater 10g de ciment

Tableau III.2 : évaluation du pourcentage d'huile par distillation

Tableau III.3 : Concentrations des différents métaux lourds dans l'échantillon brut

Tableau IV.1 variation de la résistance en fonction de la concentration de l'hydrocarbure

Tableau III.4 : évaluation finale de la contamination de l'échantillon

Tableau IV.2 : variation de la résistance en fonction de la concentration du sable

Tableau IV.4 : porosité et perméabilité du ciment hydraté sans additifs

Tableau IV.5 : porosité et perméabilité du ciment hydraté en la présence du gasoil

Tableau IV.7 : porosité et perméabilité du ciment hydraté en la présence de la baryte

Tableau IV.8: Variation de la teneur en huile en fonction de la concentration du ciment.

Tableau IV.9 : Variation de la teneur en huile en fonction de la concentration de la chaux

Tableau IV.9 : Variation de la teneur en huile en fonction de la concentration de la chaux

Tableau IV.10 : Variation de la teneur en huile en fonction de la concentration du sable

Tableau IV.11 : concentrations des métaux lourds avant et après traitement

LISTE DES FIGURES

Figure I.A : Localisation du réservoir de HASSI MESSAOUD

Figure I.B: Répartition des zones sur le champ de Hassi Messaoud.

Figure I.C : Stratigraphie du champ de Hassi Messaoud

Figure I.1 : Les différentes zones de pénétration du fluide de forage en circulation

Figure I.2 : Images réelles d'un borbier de forage récent.

Figure I.3:Echec du maintien des polluants

Figure I.4 : sauvetage d'un chameau piège dans un borbier

Figure I.5 : Préparation du terrain.

Figure I.6 :Phénomène d'encapsulation

Figure I.7 : Chargement des déblais

Figure I.8 : Mixeur d'inertage

Figure I.9 : Versement du mélange final dans la fausse réceptrice.

Figure I.10 : Remblayage du cutting traité dans les borbiers vidés

Figure I.11 : présentation du mode de traitement par stabilisation/solidification

Figure I.12 : Présentation du mode de traitement thermique

Figure I.13 : Rejets traités par traitement thermique

Figure III.1 : Distillateur à boue (ROTOR)

Figure III.2 : Etuve rotative

Figure III.3 : Filtre presse API

Figure III.4 : Spectromètre à transformée de Fourier (FTIR)

Figure III.5 : Spectrophotométrie d'Absorption Atomique (SAA)

Tableau IV.3 : variation de la résistance en fonction de la concentration de la baryte.

Tableau IV.6 : porosité et perméabilité du ciment hydraté en la présence du sable

IV.1 Résultats et discussions pour prétraitement

IV.1.1 Résistance à la compression (solidification de la matrice)

IV.1.1.1 Echantillons références ciment

Tableau IV.1 Résistance duciment hydraté sans additifs

Masse du ciment (Gr)	Résistance à la compression (Pound)
500	9200

D'après le tableau précédent, on remarque la résistance de la matrice de ciment (référence) est égale à 9200 Pound, qui est considérée comme la résistance du ciment hydraté sans contamination ni additifs.

IV.1.1.2 Echantillons ciment avec hydrocarbure [HC](gasoil)

Tableau IV.2 variation de la résistance du ciment en fonction de la concentration de l'hydrocarbure

Masse du ciment (Gr)	Concentration [HC](%)	Résistance à la compression (Pound)
500	00	9200
500	20	3600
500	30	1400

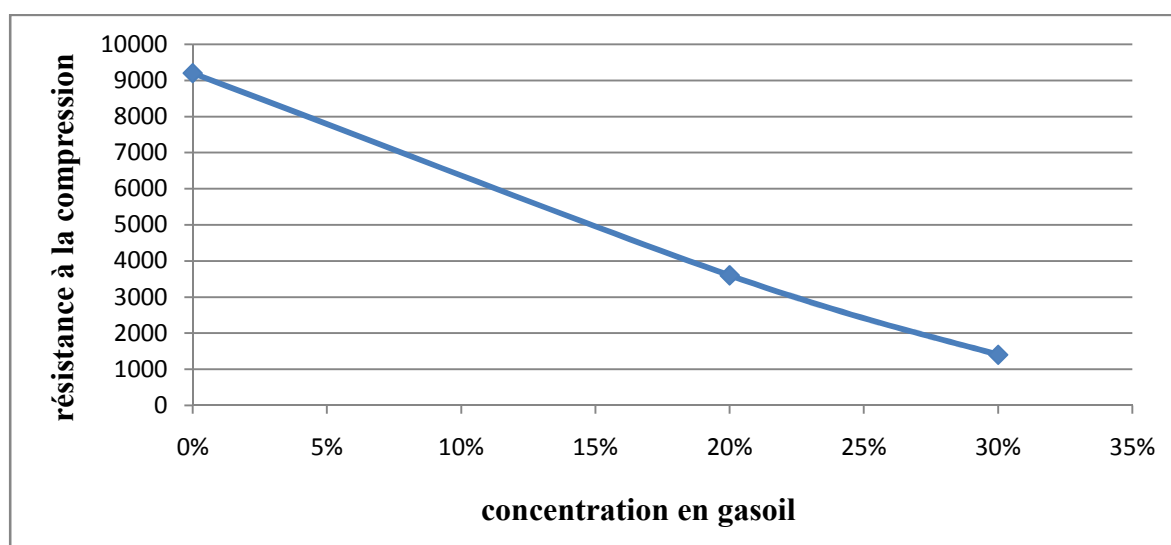


Figure IV.1: variation de la résistance du ciment en fonction de la concentration en gasoil

D'après la précédente courbe, nous remarquons que la résistance du ciment hydraté est inversement proportionnelle à la concentration en gasoil. Ce qui induit la friabilité de notre solide.

IV.1.1.3 Echantillons ciment avec sable

Tableau IV.3 : variation de la résistance du ciment en fonction de la concentration du sable

Masse du ciment (gr)	concentration du sable (%)	Résistance à la compression (Pound)
500	0	9200
500	1	5700
500	2	3900
500	2.5	3500
500	3	4200
500	4	7300
500	5	6200

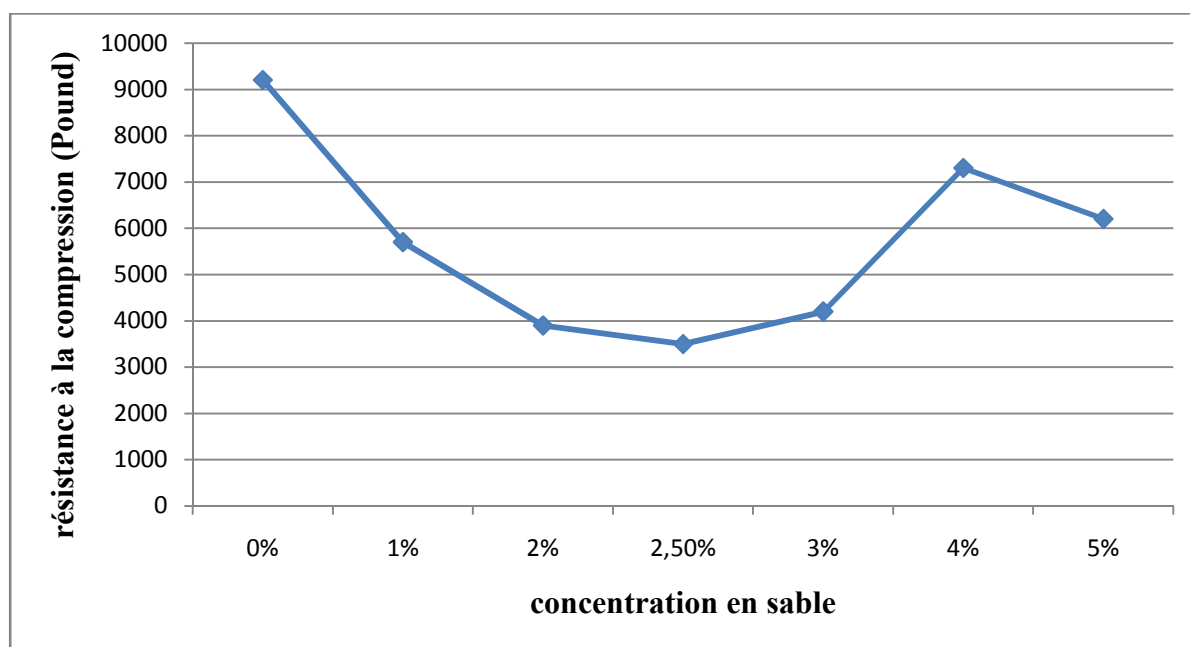


Figure IV.2 : variation de la résistance à la compression en fonction de la concentration du sable.

D'après la précédente courbe, nous remarquons que la résistance du ciment diminue chaque fois que la concentration du sable augmente, jusqu'en arriver à une concentration en sable égale à 2.5%, puis une claire proportionnalité entre les deux concentrations jusqu'à la valeur de 4% en sable, au-dessus de cette concentration la résistance reprend sa chute.

Le sable est considéré comme un solidifiant comme est le cas entre 2.5 et 4%, et il augmente la porosité et la perméabilité en causant une fragilité dans la résistance comme est le cas pour les deux intervalles, de 0 à 2.5% et de 4 à 5%.

IV.1.1.4Echantillons ciment avec baryte

Tableau IV.4 : variation de la résistance en fonction de la concentration de la baryte.

Masse du ciment (gr)	concentration de la baryte (%)	Résistance à la compression (Pound)
500	0	9200
500	1	3450
500	2	5900
500	2.5	7650
500	3	5100
500	4	3700
500	5	3100

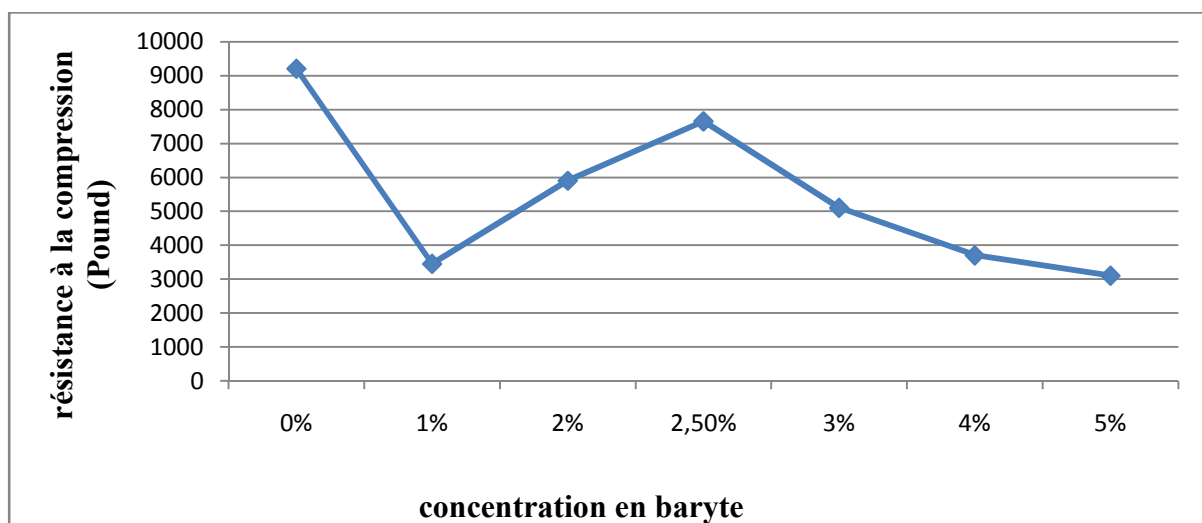


Figure IV.3 : variation de la résistance en fonction de la concentration en baryte

D'après la précédente courbe, on remarque que la présence de la baryte a fait baisser la résistance du ciment de 9200 à 0% jusqu'à 3450 à 1%, puis de 1 % on remarque une croissance dans la résistance jusqu'en arriver à son optimum en 2.5%. Après la courbe reprend sa chute pour les concentrations supérieures à 2.5%.

De cette interprétation, on conclue que la résistance soit maximale pour une concentration de baryte égale à 2.5% considérée comme optimum.

IV.1.2 Porosité et Perméabilité (Tests pétro-physiques)

IV.1.2.1 Echantillons références ciment

Tableau IV.5 : porosité et perméabilité du ciment hydraté sans additifs

Masse du ciment (Gr)	Porosité(%)	Perméabilité(mD)
500	11.130	0.0110

Pour cet échantillon, on prend les résultats de la porosité et la perméabilité du ciment seul comme référence pour les résultats des échantillons complexes suivants.

IV.1.2.2 Echantillon ciment avec gasoil

Tableau IV.6 : porosité et perméabilité du ciment hydraté en la présence du gasoil

Masse du ciment (gr)	Concentration du gasoil (%)	Porosité(%)	Perméabilité(mD)
500	0	11.130	0.0110
500	20	29.304	0.0182
500	30	26.525	0.0114

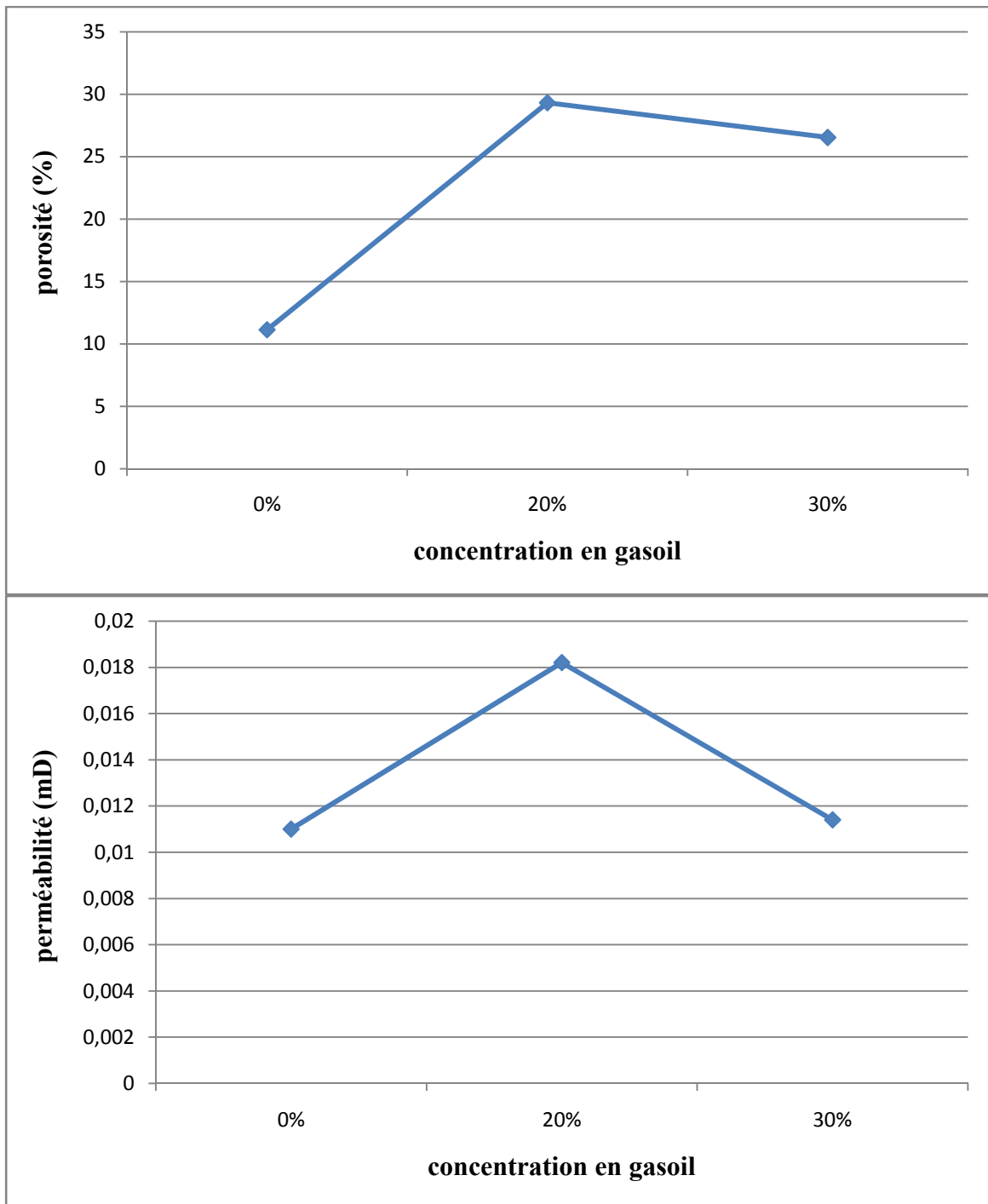


Figure IV.4 : variation de la perméabilité et de la porosité de la matrice en fonction de la concentration en gasoil

De ces deux courbes de perméabilité et de porosité, nous remarquons une proportionnalité entre les deux paramètres, évolution entre 0 et 20% ou le gasoil joue le rôle d'un colmatant pour les pores de la matrice du ciment, et une diminution au-delà de 20% et cela parce que le pouvoir du gasoil à empêcher les interactions hydrauliques entre les particules du ciment est supérieur à leur pouvoir de solidification et cela cause une friabilité des matrices de ciment.

IV.1.2.3 Echantillon ciment avec sable

Tableau IV.7 : porosité et perméabilité du ciment hydraté en la présence du sable

Masse du ciment(gr)	concentration de la baryte (%)	Porosité(%)	Perméabilité(mD)
500	0	11.130	0.0111
500	1	4.395	0.0104
500	2	2.346	0.0121
500	2.5	25.613	0.0520
500	3	3.567	0.0115
500	4	10.087	0.0174
500	5	18.652	0.0104

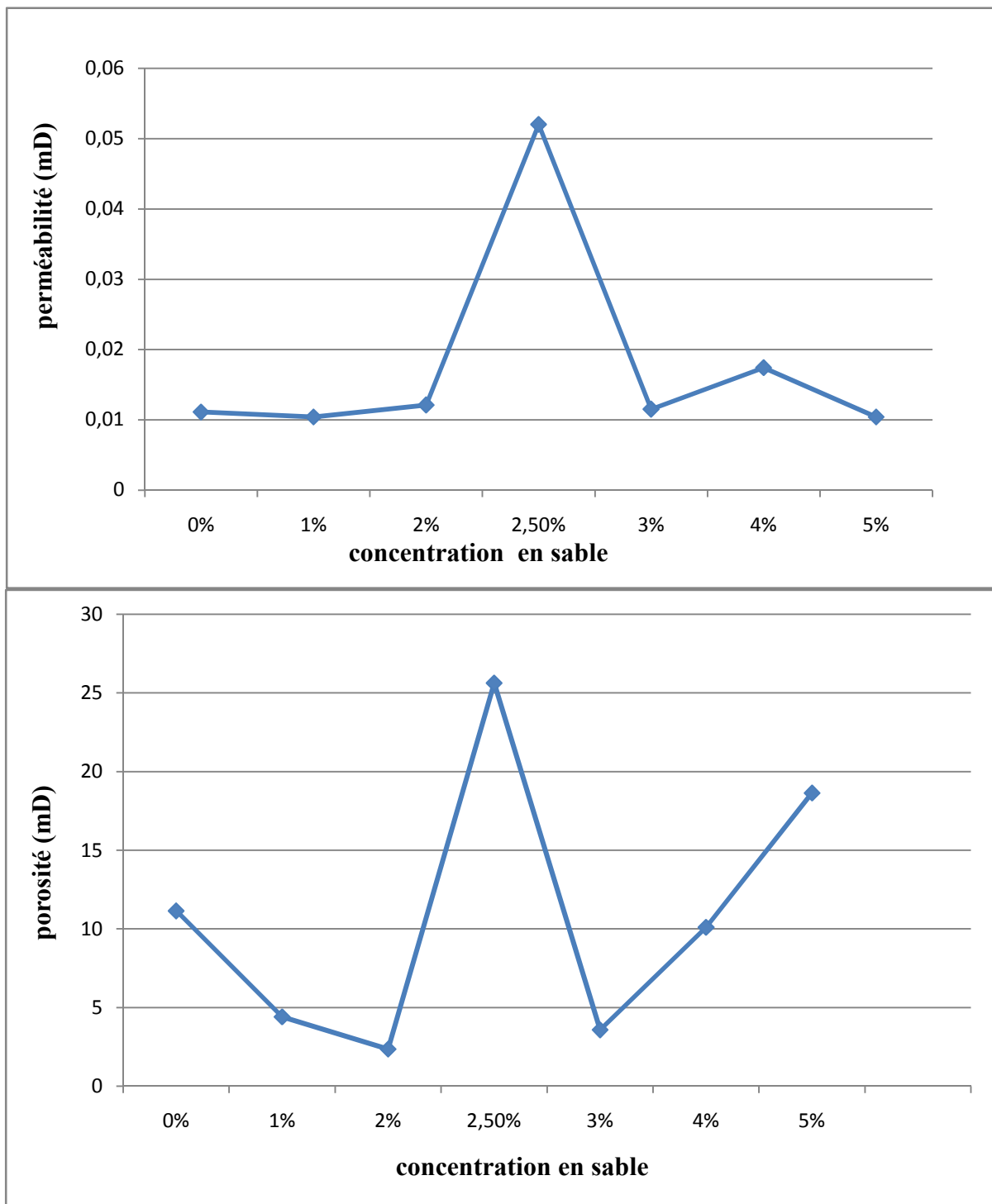


Figure IV.5 : variation de la porosité et de la perméabilité de la matrice en fonction de la concentration en sable

Pour ces deux courbes, on remarque toujours une proportionnalité entre l'évolution de la porosité et la perméabilité, une stabilité ou une légère diminution entre 0 et 2% où le sable joue le rôle d'un solidifiant, une augmentation considérable des deux paramètres de 2 à 2.5%, où le sable a fait augmenter la porosité et la perméabilité à cause de sa granulométrie qui est supérieure à celle du ciment. De 2.5 à 3% une diminution des deux côtés où le ciment joue le rôle d'un liant hydraulique entre les grains du sable. Au-delà de 3% on remarque une augmentation considérable dans la porosité due à la différence entre les deux granulométries, du ciment et celle du sable. Et pour la perméabilité une légère instabilité entre les deux rôles joués par le sable.

Dans ce cas, on prend la concentration du sable 2.5% en étant l'optimum.

IV.1.2.4 Echantillons ciment avec baryte

Tableau IV.8 : porosité et perméabilité du ciment hydraté en la présence de la baryte

Masse du ciment(Gr)	concentration de la baryte(%)	Porosité(%)	Perméabilité(mD)
500	0	11.130	0.0111
500	1	3.209	0.0114
500	2	3.203	0.0118
500	2.5	20.884	0.0116
500	3	3.550	0.0174
500	4	10.694	0.0000
500	5	29.985	0.0687

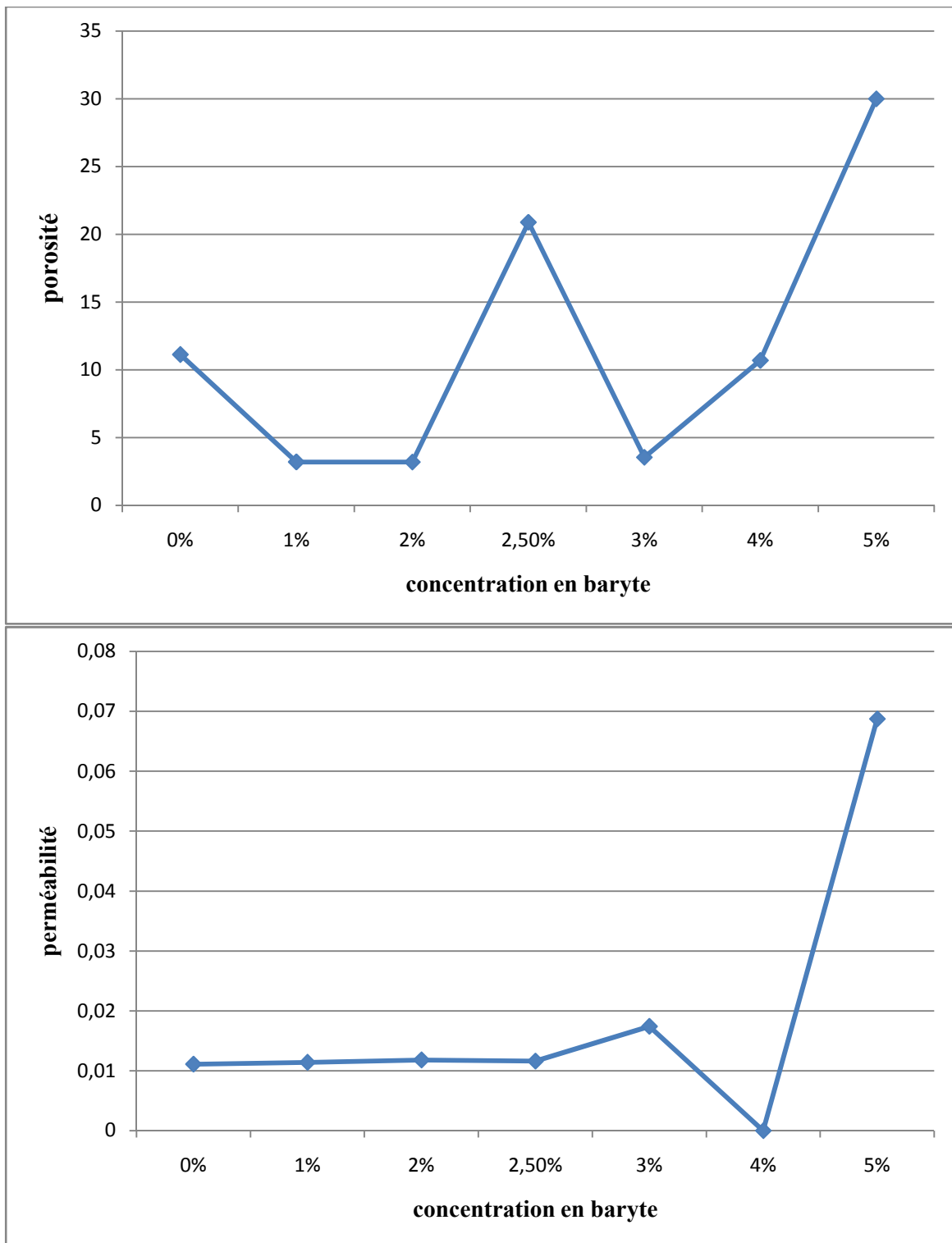


Figure IV.6 : variation de la porosité et de la perméabilité en fonction de la concentration en baryte

D'après la courbe de la porosité, on remarque une diminution entre 0 et 1% ou la baryte a joué le rôle d'un colmatant, tandis que pour la perméabilité est restée stable. puis une stabilité commune pour les deux jusqu'à 2% pour la porosité et 2.5% pour la perméabilité, suivi par une augmentation pour les deux paramètres où la baryte à cause de sa concentration élevée a permis la formation des pores au niveau des matrices de ciment causé par son pouvoir collant à la présence de l'eau

IV.2 Résultats et discussions pour le traitement

Avant de commencer l'interprétation des résultats, il nécessaire de préciser que le concentration des silicates est fixée à 8kg/m^3 de déblais, breveté par Sonatrach ; division forage.

IV.2.1 Optimisation de la concentration du ciment

Le tableau suivant représente la variation de la teneur en huile en fonction de la concentration du ciment.

Tableau IV.9: Variation de la teneur en huile en fonction de la concentration du ciment.

Concentration du ciment (kg/m^3)	Volume de l'huile (ml)	Teneur en huile (%)
0	37.5	30
180	15.3	12.24
200	14.2	11.36
250	13	10.4
300	12	9.6

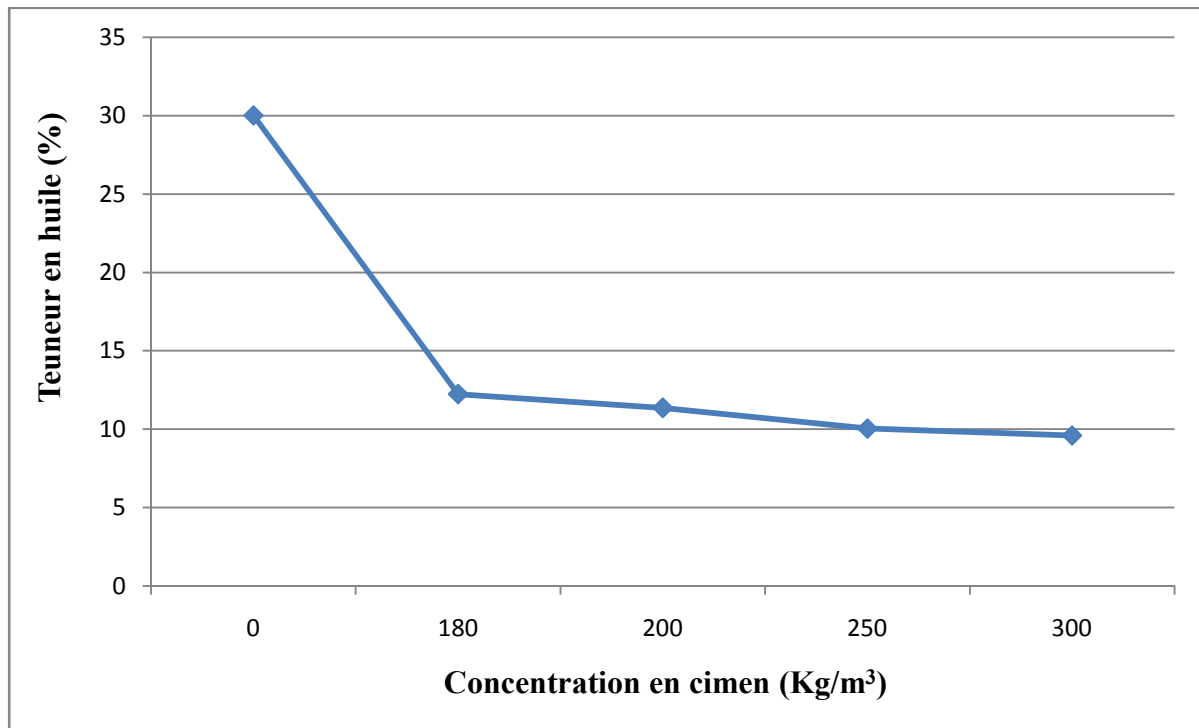


Figure IV.7 : variation de la teneur en huile en fonction de la concentration en ciment

De ce graphe, on remarque une proportionnalité inverse entre la teneur en huile et la concentration du ciment, une diminution considérable de 30% jusqu'à environ 11.36% de 200kg/m³, puis une légère diminution entre 200 et 300kg/m³ pour une quantité de ciment ragoutée équivalente à la moitié,

Dans ce cas-là, on prend la concentration 200kg/m³ comme optimum pour une rentabilité économique du traitement en minimisant au maximum la quantité de ciment utilisé,

On remarque que pour une concentration de ciment égale à 200kg/m³, la teneur en huile est égale à 11.36% toujours supérieur à la norme qui est égale à 5%. Pour faire baisser cette teneur on utilise de différents additifs,

Dans notre traitement, l'additif utilisé est la chaux, même le sable en étant un solidifiant.

IV.2.2 Optimisation de la concentration de chaux pour l'optimum de ciment

La concentration de Ciment est optimisée dans l'étape précédente à une concentration égale à 200kg/m^3 de déblais

Tableau IV.10: Variation de la teneur en huile en fonction de la concentration de la chaux

Concentration du ciment (kg/m^3)	Concentration de chaux (%)	Volume de l'huile (ml)	Teneur en huile (%)
200	0	14.2	11.36
200	1	8.80	7.04
200	2	3.0	2.40

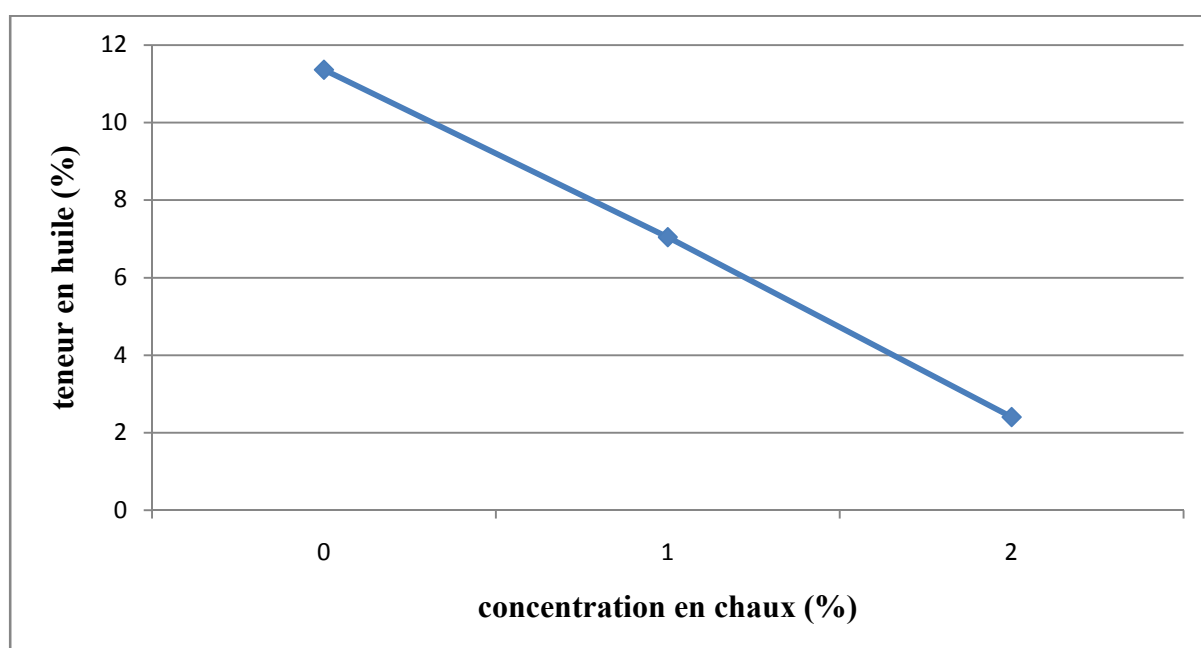


Figure IV.8 : variation de la teneur en huile en fonction de la concentration en sable

D'après ce graphe, on remarque que la teneur en huile diminue à chaque fois que la concentration en chaux augmente, jusqu'en arriver à une teneur de 2.40% pour une concentration en chaux égale à 2%

Une teneur de 2.40% en hydrocarbure (huile) est un résultat d'un meilleur traitement, en étant largement inférieur à la norme qui fixe le seuil maximal admissible à 5%.

IV.2.3 Combinaison des optimums

Le sable peut être utilisé comme solidifiant, dans le but de minimiser la quantité de ciment pour amoindrir le cout du traitement.

Dans les précédents tests de résistance à la compression, la concentration du sable a été optimisée à une valeur égale à 4%.

En combinons les deux optimums, celui de la chaux et celui du sable, les résultats du traitement étaient comme suit

Tableau IV.11 : Variation de la teneur en huile en fonction de la concentration du sable

Concentration du ciment (kg/m ³)	Concentration De chaux (%)	Concentration sable (%)	Volume de l'huile (ml)	Teneur en huile (%)
200	2	0	3.0	2.40
200	2	1	3.0	2.40
200	2	2	3.0	2.40

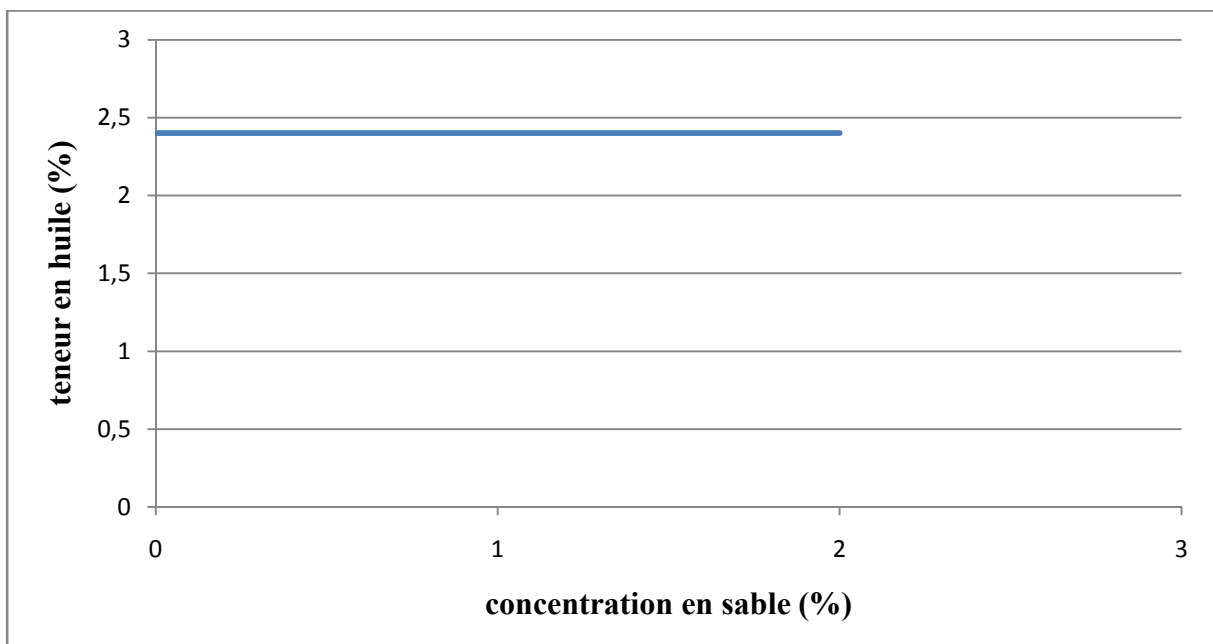


Figure IV.9 : variation de la teneur en huile en fonction de la concentration en sable

D'après le graphe, on remarque que la teneur en huile reste constante malgré l'ajout croissant du sable.

On conclue que l'ajout du sable n'influence guère le pouvoir du ciment à la rétention d'hydrocarbures malgré son pouvoir solidifiant dans les matrices de ciment, et cela est constaté avant d'arriver à la concentration optimale, donc son introduction dans notre traitement ne fait qu'augmenter le cout à cause de son poids ajouté et son volume.

Il est préférable éliminer la proposition de l'utilisation du sable tant que sa présence n'améliore pas notre procédé de traitement tant que notre traitement en la présence juste de la chaux donne un résultat largement inférieur aux normes, pour éviter le risque d'augmenter la perméabilité de nos matrices solidifiées à cause de sa granulométrie supérieur à celle du ciment.

IV.2.34 Tests d'acceptation de la stabilisation des métaux lourds

Après lixiviation de notre échantillon traité, les résultats de la spectroscopie d'adsorption atomique sont présents dans le tableau suivant.

Tableau IV.12 : concentrations des métaux lourds avant et après traitement

Eléments	Méthode d'analyse	Résultat d'analyse avant traitement	Résultat d'analyse après traitement	Valeurs limites
Cr (mg Kg)	SAA	0.2033	0.1310	50
Pb (mg Kg)	SAA	0.2957	0.1745	50
Zn (mg Kg)	SAA	0.1930	0.1120	250
Cd (mg Kg)	SAA	0.1109	0.0856	25

La présence des métaux lourds dans les bourbiers de forage est considérablement basse, avec des concentrations largement inférieures aux concentrations maximales admissibles fixées par les normes européennes.

Mais un traitement est toujours obligatoire; imposé par la division forage de Sonatrach pour diminuer au maximum la concentration des métaux lourds dans les cuttings traités.

Conclusion générale :

Après la finalisation de notre expérience. On pourra conclure que ;

La présence du sable dans les cuttings ne fait qu'augmenter le cout du traitement de nos cuttings.

Il faut toujours prendre en considération la présence de la baryte dans la boue utilisée lors du forage à cause de son inertie, car elle résulte dans nos cuttings dans le même état et les mêmes caractéristiques que dans la boue utilisée, sa présence dans le déchet traité cause une porosité et une perméabilité qui induit le relargage de nos polluants emprisonnés ou encapsulés.

La fiabilité des analyses de contrôle de qualité de traitement du procédé solidification/stabilisation est proportionnelle à la durée de séchage des déblais traités, soit il faut laisser le maximum de temps pour un meilleur séchage et une grande solidification des déchets encapsulés dans le ciment.

Le procédé de solidification/stabilisation est mieux adopté à la dépollution des sols contaminés par les hydrocarbures.

Dans le but de la valorisation de notre déchet traité, les matrices peuvent être utilisées dans les routes, les bordures des trottoirs et même ce déchet traité pourrai être utilisé autant que consolidant pour les sols sablés qui relie les routes principales et les unités de traitement au milieu du désert.

Le traitement on-line est strictement nécessaire pour alléger la contamination des cuttings et récupérer le max de gasoil réutilisé pour l'alimentation des engins.

Les techniques de solidification/stabilisation se développent en fonction des années, pour cela il est préférable que les capacités personnel technique soient ajour avec ce développement avec les formations spécialisées.

La réutilisation de la matière traitée contribue au développement durable dans le réaménagement des friches industrielles.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] YAICHE.S. Traitement par surfactants des déblais de forage contaminé par les hydrocarbures.(2011)
- [2] ASKRI.H. «Géologie de l'Algérie», contribution de SONATRACH Division exploration, centre de recherche et de développement et division pétroleum engineering and développement.(2003)
- [3] ASKRI.H. «Géologie de l'Algérie», contribution de SONATRACH Division exploration, centre de recherche et de développement et division pétroleum engineering and développement.(2003)
- [4] Arezki.B.Prescriptions générales de la protection de l'environnement, Division forage/DRMD, Hassi Messaoud.(2000)
- [5] NGUYEN J.P.Les techniques d'exploitation pétrolières, Le forage, éd. Technip, Paris.(1993)
- [6] SLIMANI.A. Forage pour non foreurs, Division forage, Département formation, Sonatrach.(2003)
- [7] YAICHE.Y. « Environmental Impact Assesment of the Drilling Activities in the HassiMessaoud Field», Faculty of Design and Technology, écoled'Engineering, Université de «The Robert Gordon University, Aberdeen».(2006)
- [8] DADA.A, Optimisation d'un procédé de traitement des boues de forage. Mémoir, université M'hamedBougaraBoumerdes. 2010/2011
- [9] Y. PEYSSON, "Solid/Liquid Dispersions in Drilling and Production".Rev. Vol. 59 (2004).
- [10] Manuel, MI-SWACO. Entreprise pétrolière Japonaise.
- [11] KHODJA.M, Les fluides de forage: Etude des performances et considérations environnementales. Thèse de doctorat.(2008)
- [12] FOURAR.K, Amélioration des propriétés rhéologiques des fluides de forage à base de biopolymères.
- [13] LOULACHI.A,Etude des performances dans un système mixte tensioactif- polymère dans les fluides de forage. Aspect stabilité des argiles et endommagement du réservoir. (2008 /2009)
- [14] MICHAEL J. ECONOMIDES, et al., "Petroleumwell construction", Edition John wiley& sons. 1988.

- [15] RYAEN C.G. et CHILLINGAR V. "Drilling fluids: state of the art", Journal de petroleum science and engineering 14.(1996),
- [16] Herzhaft B. « Les fluides de forage. «un exemple de fluides complexes industriels, 36ème colloque annuel du Groupe Français de Rhéologie. Marne la Vallée, France. octobre 2001
- [17] IDF (1988) Product data manual. Archives Division forage ,Sonatrach.
- [18] ADAM T., BOURGOYNE Jr.," Applied drilling engineering", series de "SPE Textbook".Vol 2. 1991.
- [19] Economides et al, « d'après LOULACHI ALI (2008 /2009) , Etude des performances dans un système mixte tensioactif- polymère dans les fluides de forage. Aspect stabilité des argiles et endommagement du réservoir. (1988)
- [20] NAVARRO A. "Environmentally Safe Drilling Operations".(1995)
- [21] BASHAT H., "Managing Waste in Exploration and Production Activities of the Petroleum Industry",(2003)
- [22] AREZKI B., Prescriptions générales de la protection de l'environnement, Division forage, Hassi Messaoud.(2000)
- [23] Sonatrach / Division Forage, DRILLING FLUIDS PROGRAM, HassiMessaoud. (2006).
- [24] Dossier technique et Réglementaire sur le traitement des bourbiers de forage et de workover (2011)
- [25] REIS J.Environmental Control in petroleum industry, Gulf Publishing Company, Houston, Texas.(1996)
- [26] CHERIFI M. Drilling waste management for environmental protection in HassiMessaoud field, Faculty de Design and Technology, école d'engineering, UniversitéThe Robert Gordon, Aberdeen.(2006),
- [27] CRAWLEY W.W. et BRANCH R.T. "Characterization of Treatment Zone Soil Conditions at a Commercial Non-hazardous Oilfield Waste Land Treatment Unit", Agence "Environmental Protection" premier colloque international sur l'exploration et la production de l'hydrocarbure et du gaz, New Orleans.(1990)
- [28] GRIEVE A., "Toxicity of drilling mud", Journal of Occupational Health 40(12), pp. 736-739.(1988)

- [29] MEANS J.C., WARD S.G., HASSETT J.J. et BANWART W.L. "Sorption of polynuclear aromatic hydrocarbons by sediment and soil". Sci. Technol.(1980),
- [30] SCRIBAN R., Biotechnologie, 5^{ème} édition, Tec.et doc, Lavoisier, Paris, France.(1999)
- [31] Etude d'impact environnemental et social des activités de forage du AZS-2Gassi Chergui, Algérie. 2007
- [32] MOSZKOWICZ.P. Solidification et Stabilisation des déchets. Laboratoire d'analyse environnementale des procédés et des systèmes industriels Institut national des sciences appliquées de Lyon.
- [33] Valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels : Décret exécutif n° 06-141. Journal officiel de la république algérienne. 23 avril 2006, N° 26.
- [34] Sonatrach / Division Forage, Experiments of treating the new online waste pits. Hassi Messaoud.(2010)
- [35] GABET S., Remobilisation d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) présents dans les sols contaminés à l'aide d'un tensioactif d'origine biologique, thèse de doctorat en chimie et microbiologie de l'eau, Université de LIMOGES.(2004)
- [36] DAMOU F., The Adaptability Study for the Use of Thermal Desorption and Solidification/Stabilization Processes for the Treatment of Drill Cuttings in HASSI MESSAOUD Field, Faculty of Design and Technology, School of Engineering, The Robert Gordon University, Aberdeen.
- [37] ROUDIER P. "Techniques de réhabilitation des sites et sols pollués", Techniques de l'ingénieur, Génie Civil, C5582.(2005)
- [38] COME J.M. et DUCREUX J., (2001), Dépollution par injection de tensioactifs d'un forage d'alimentation en eau potable contaminé par du fioul domestique, L'Eau, l'Industrie, les Nuisances, 240.
- [39] GALVEZ-CLOUTIER R. et LEFRANÇOIS P.J. (2005), Les sols contaminés par des métaux lourds : Distribution géochimique et techniques de restauration (Seconde partie), vecteur environnement, volume 38, numéro 4.
- [40] AKMOUCI-TOUMI S. (2009), Contribution à l'étude des boues de forage : Isolement et évaluation de la capacité de quelques souches microbiennes à dégrader le gasoil, Université BOUMERDES.
- [41] MRIDULA R.G. (2011), Thermal treatment services - TCC, Sonatrach, Document interne.

- [42] BALLERINI D. (1999), « Traitements biologiques des sols », Techniques de l'ingénieur, traité Environnement, G2 620.
- [43] COLLIN F. (2000), Pollution localisée des sols et sous-sols par les hydrocarbures et par les solvants chlorés, Comité de l'environnement de l'académie des sciences,
- [44] Etude de la vulnérabilité de la nappe phréatique à Hassi Messaoud aux rejets inhérents à l'activité de forage –mémoire de fin d'étude promotion 2009/2010- Ecole National Polytechnique.
- [45] COLLIN F. (2000), Pollution localisée des sols et sous-sols par les hydrocarbures et par les solvants chlorés, Comité de l'environnement de l'académie des sciences, rapport N° 44, éd. TEC et DOC.
- [46] BIRI M. Etude de la biodégradabilité des rejets de forage des puits de pétrole cas de Hassi Messaoud. Université des sciencesde la technologie Houari Boumediene.1996
- [47] Traitement des REJETS de forage Du gisement de Zarzatine REF:N°004/TVX/GSS/2009. SONATRACH, division forage, base 24 fevrier. Hassi Messaoud.
- [48] DESCHENES L. (1995), Impact de surfactants biologiques et du SDS sur la mobilisation et la biodégradation des HAP contenus dans un sol contaminé à la créosote, INRS-EAU, Québec, Canada.
- [49] United States Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response.
- [50] Exigences techniques de calibration de ciment et silicate dans le traitement par S/S par la compagnie Environnemental solution norme proposée par DIVISIONFORAGE, SONATRACH.
- [51] RezzagZouazi.S, Etude et optimisation du traitement des déblais de forage pétrolier au moyen du procédé de solidification/stabilisation, université de Ouargla, 2005.
- [52] P. MOTARD. Edition technique, Paris, archives de division forage, SONATRACH,base 24 fevrier.
- [53] Méthodes spectrométrie d'analyses et de caractérisation, Spectrométrie d'Absorption Atomique. Axe " Génie des Procédés", centre SPIN, Ecole des Mines de Saint-Etienne

INTRODUCTION GENERALE

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. [1]

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. [1]

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. [1]

Durant et jusqu'à la fin du forage, ces fluides et ces déblais sont rejetés dans une crevasse spécialement préparée appelée borbier. 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. [1]

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 borbiers et surtout les réserves stratégiques en eau que recèle le système des aquifères du Sahara Septentrional.

Actuellement, deux procédés de traitement des déblais contenus dans les borbiers de forage sont utilisés à Hassi Messaoud, à savoir la Solidification/Stabilisation (S/S) et la Séparation Thermique de Phases (TPS). 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). [1]

Dans l'objectif d'approcher l'équation performances-coût-environnement, ce manuscrit s'articule autour de trois chapitres distincts.

Dans le premier chapitre, 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 au niveau du champ de Hassi Messaoud, et leur importance technico-économique, la majeure partie de ce chapitre leur a été consacrée.

Dans le deuxième chapitre, après un tour 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.

Le troisième chapitre est consacré, à travers une série d'expériences, à l'étude du traitement par solidification/stabilisation en étudiant les performances des surfactants et additifs proposés et en optimisant, par plan d'expériences, les paramètres régissant le procédé de solidification/stabilisation.

Des conclusions et perspectives sont présentées pour clore ce manuscrit.

Généralités sur le gisement de Hassi Messaoud (HMD)

Introduction

Le gisement de Hassi Messaoud, est situé à 650 km au sud-est d'Alger et à 80 Km au Sud-Est de Ouargla, dans le bassin de OuedMya (Figure I). Un travail synthétique de la géologie de l'Algérie a été réalisé par.[2]

Il a été découvert en 1956 et mis en exploitation en 1958. Les dimensions du champ atteignent 2500 km avec une surface imprégnée d'huile d'environ 1600 km². Le 16 janvier 1956, la SN.REPAL a amorcé le premier forage MD#1, implanté à la suite d'une campagne sismique. Le 15 Juin de cette même année, ce forage découvrit à 3338 m de profondeur les grès du Cambrien productifs d'huile. Dès lors, les forages se développent et se multiplient sans cesse, jusqu'à arriver aujourd'hui à plus de 1200 puits.[2]

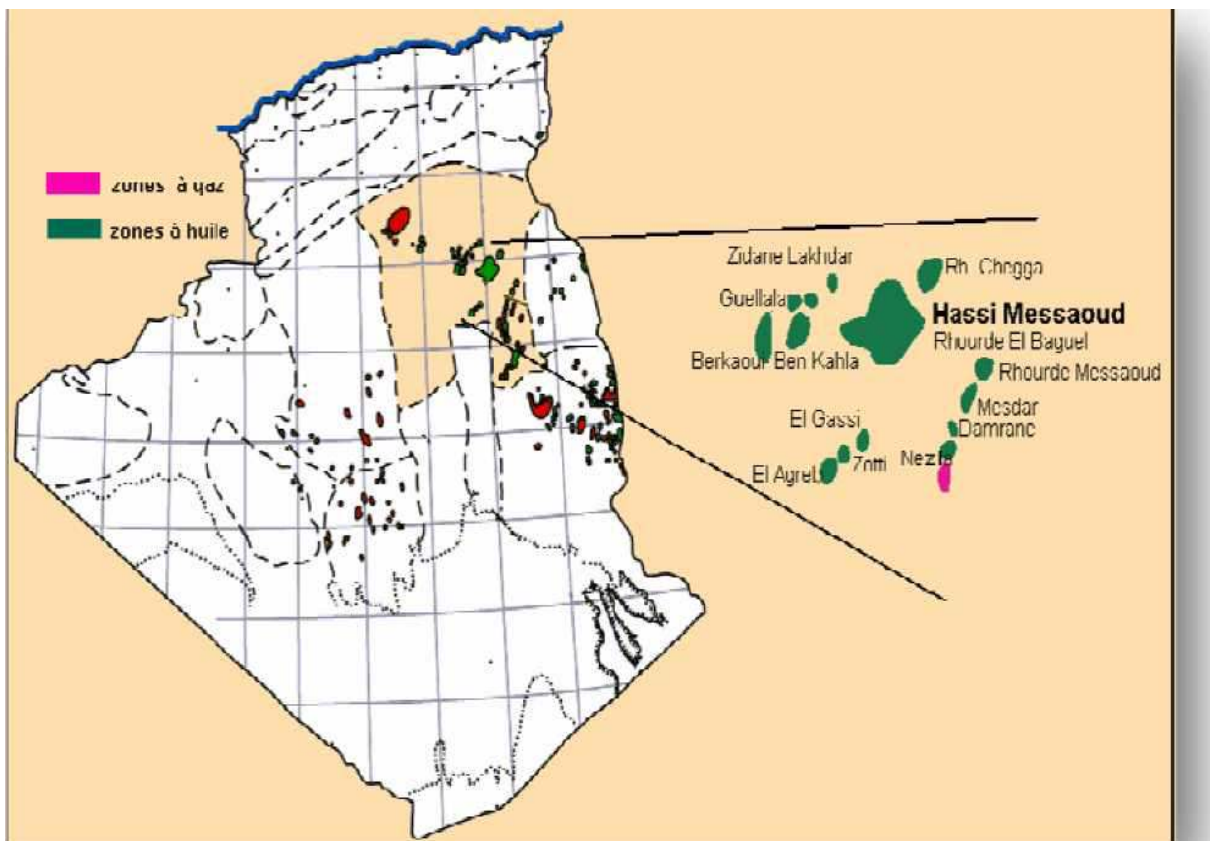


Figure I.1 : Localisation du réservoir de HASSI MESSAOU[22]

Caractérisation du réservoir

Plusieurs années après la mise en production du champ de Hassi Messaoud, il a été constaté que des ensembles de puits se comportent de manière indépendante les uns par rapport aux autres, d'où la définition de zones. Une zone de production est définie comme un ensemble de puits qui communiquent entre eux et non pas avec ceux des zones avoisinantes.

Il existe actuellement 25 zones de production plus ou moins étendues dans le champ (Figure I.2).

Toutefois il est important de souligner que le facteur pression ne peut être le seul critère de caractérisation des zones. La pression de gisement varie de 120 à 400 kg/cm² avec un rapport gaz/huile moyen de 219 m³/m³ sauf pour les puits en percée où le GOR peut atteindre 800 m³/m³ et plus. La porosité est faible : 5 à 10% avec une perméabilité très faible, s'étendant d'une valeur quasi nulle à 1 Darcy (D).[1]

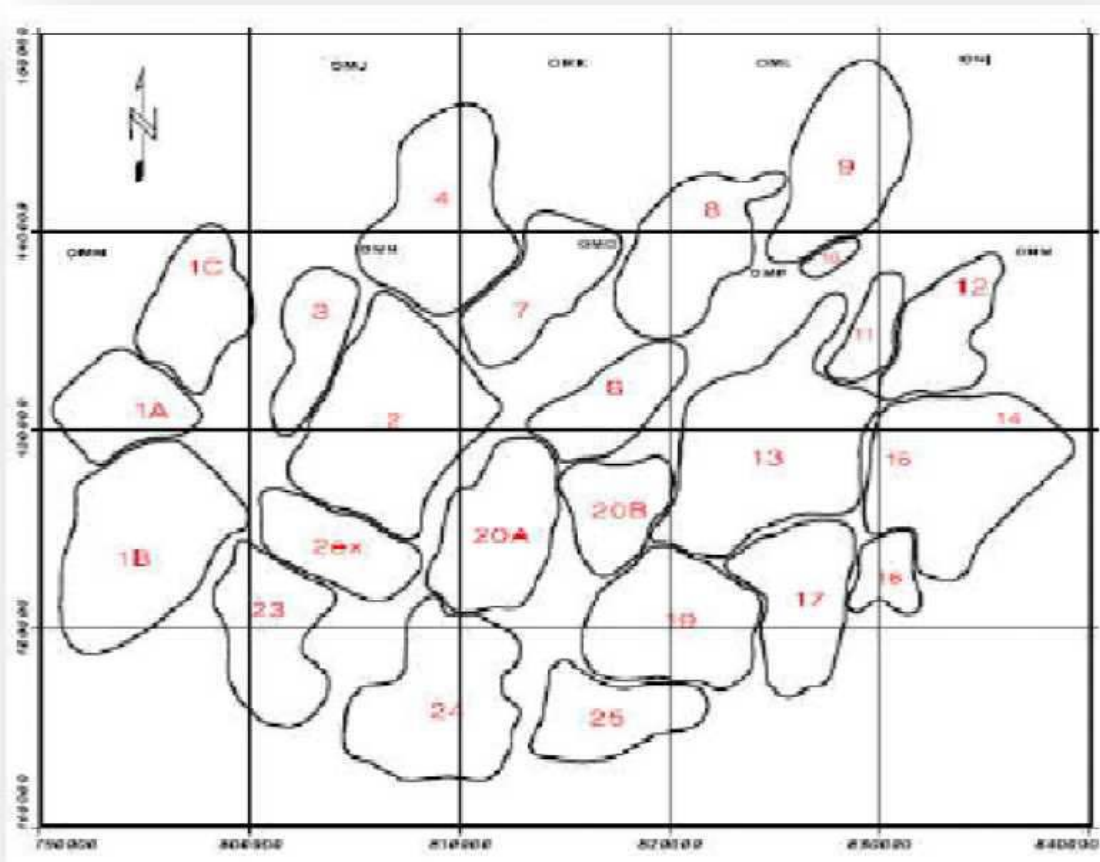


Figure I.2: Répartition des zones sur le champ de Hassi Messaoud.[1]

Au début de la reconnaissance du gisement, les grès de Hassi Messaoud (âge cambrien) ont été subdivisés en quatre zones : Ri, Ra, R2 et R3.[1]

- Zone Ri ou grès isométriques, habituellement très compacte D5 ou (R 70 - R 90), subdivisée en trois tranches 7, 8, 9.
- Zone Ra : niveau géologique cambrien anisométrique constituant le principal réservoir de Hassi Messaoud.; il est composé de bancs gréseux à ciment siliceux à silico-bitumineux, rarement argileux (kaolinite), délimités par des niveaux silteux d'extensions latérales variables.
- Zone R2 ; zone de grès quartzites, plus argileuse, d'une épaisseur moyenne d'une quarantaine de mètres. R2 est un réservoir secondaire par rapport aux réservoirs principaux Ra et Ri, cependant les réserves estimées sont considérables : il est réparti en deux unités : R2ab et R2c, composées essentiellement de grès grossiers anisométriques à ciment argileux illitique plus abondant.

Les qualités de réservoir se trouvent dans sa partie supérieure (R200-R300), R2ab (R200-R250).

L'exploitation du réservoir R2 s'est vue confrontée à une multitude de problèmes dus principalement à une répartition aléatoire de ses corps sédimentaires et une détérioration de ses qualités de réservoir par des phénomènes diagénétiques

- Zone R3 : Zone très grossière à microconglomératique très argileuse, sans aucun intérêt pétrolier (R300-R400).

Du point de vue sédimentologique, le réservoir est réparti en trois zones suivant des critères granulométriques : une zone grossière inférieure (Ra inférieure), une zone fine médiane (Ra moyen) et une zone grossière supérieure (Ra supérieure). Les périphéries de zones, les inter-zones et les hors-zones sont des régions de faibles caractéristiques pétrophysiques. Leur développement n'est concevable que par la mise en place de moyens non conventionnels (forages horizontaux ou reprises en "medium" ou "short radius"). La perméabilité horizontale moyenne est très faible (2 mD) et la perméabilité verticale très mauvaise. C'est la raison pour laquelle les puits "medium radius" ne sont pas des puits

CHAPITRE I

rigoureusement horizontaux, mais des puits inclinés à 87°, de façon à traverser le réservoir sur toute son épaisseur.[22]

Sur le champ de Hassi Messaoud, l'expérience montre que dans la même zone, avec une formation identique, en utilisant le même fluide, on peut rencontrer des problèmes différents. La figure I.3 donne une coupe stratigraphique ainsi que les phases du forage.

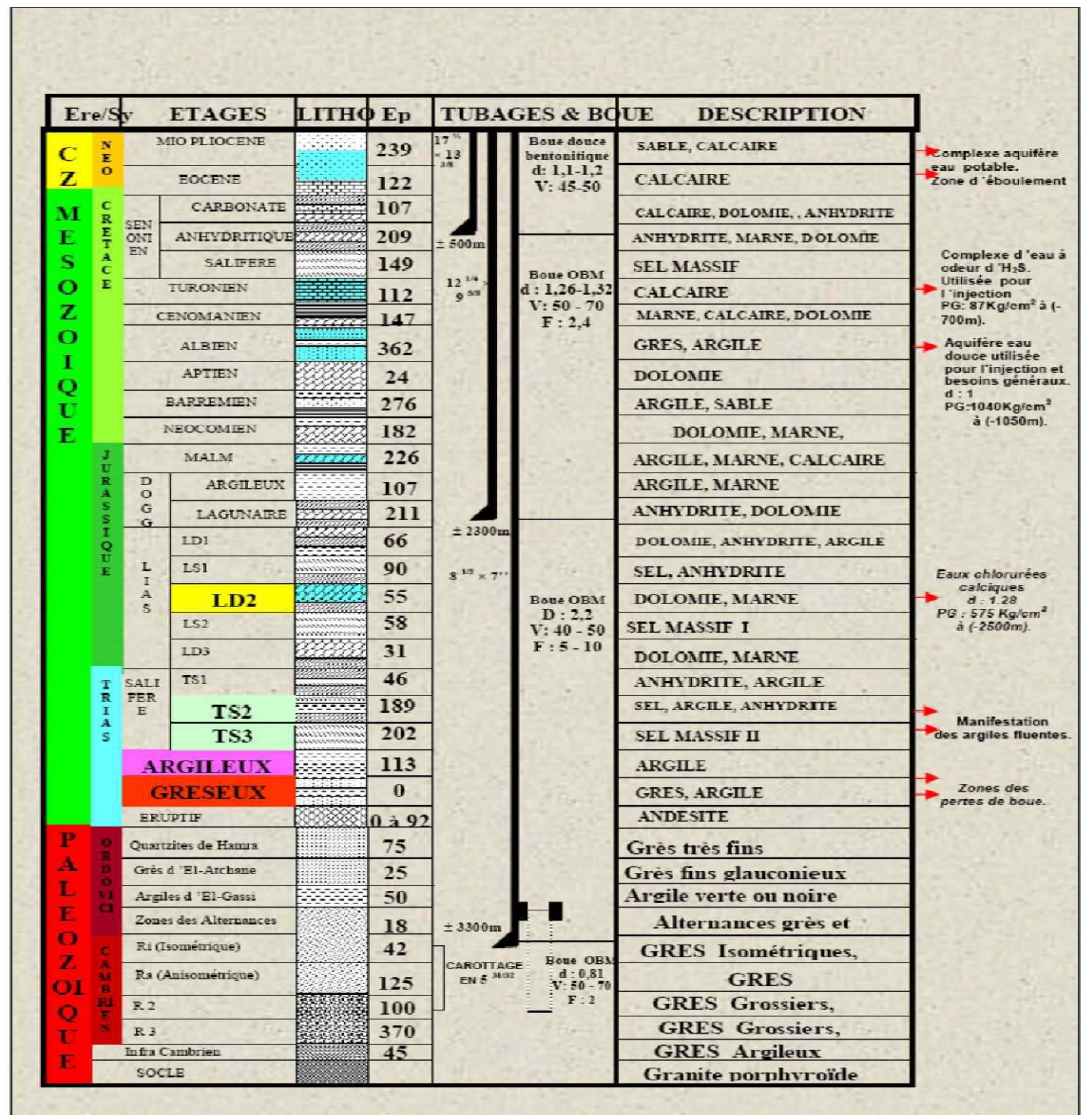


Figure I.3 : Stratigraphie du champ de HassiMessaoud[1]

I.1 Définition du forage

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 de 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. [2]

I.2 Principe du forage rotatif

Cette méthode consiste à utiliser des outils à molettes dentées ou des outils diamantés sur lesquels on appuie et que l'on fait tourner. L'action combinée du poids sur le trépan et de sa rotation permet, soit aux dents des outils à molettes d'écailler la roche, soit aux trépan diamantés de strier, de raboter et de détruire celle-ci.

La rotation de l'outil (trépan) est obtenue en faisant tourner l'ensemble des tiges de forage (tubes d'acier de 9 m de long raccordés par des joints filetés) qui relient le trépan à la surface. Grâce à la tige supérieure de section carrée ou hexagonale dite tige d'entraînement ou Kelly, qui s'engage dans un logement de même forme, solidaire d'une table de rotation, entraînée par un moteur, il est possible de faire tourner l'ensemble des tiges et du trépan [3].

Les puits sont forés verticalement, mais parfois ils doivent être forés avec une déviation de la verticale afin d'atteindre les cibles. Dans ce cas on parle de forage dévié ou dirigé.

I.3 Architecture d'un puits

Le profil d'un forage pétrolier dépendra de sa profondeur (qui peut varier de quelques centaines de mètres à plus de 6000 m) et de l'objectif. Pour des raisons techniques évidentes, il est impensable 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 communément appelé tubage.

Cette colonne de tubage est ensuite cimentée : la succession destubages cimentés correctement permet d'assurer un passage étanche jusqu'au réservoir [6]

I.4. Programme de tubage et cimentation

Le puits, une fois foré, doit être couvert pour empêcher les parois de s'effondrer. On descend alors les tubages (casing) et on les visse l'un dans l'autre jusqu'au fond du puits.

Ce tubage peut être une colonne complète qui remonte jusqu'en surface ou une colonne qui s'arrête plus bas appelée "colonne perdue" (liner).

Une fois le tubage compétemment descendu, on doit le cimenter pour bien le sceller dans le puits. Le ciment utilisé doit résister à la température élevée qui règne dans le puits. Ce ciment est mélangé à de l'eau à laquelle on ajoute des produits pour ajuster les caractéristiques du laitier de ciment. On injecte ensuite ce dernier dans le tubage. On le repousse après par la boue, jusqu'à ce qu'il ressorte à la surface par l'espace annulaire.

Le programme de tubage dans la région de Hassi Messaoud est comme suit

Tableau I.1 : Programme de tubage [7]

Diamètre du trou (pouces)	Diamètre du tubage (pouces)	Profondeur (m)	Intervalle de profondeur (m)
26"	18%"	0-500	500
16"	13%"	500-2200	1700
12 ^{1/4} "	9%"	2200-3200	1000
8%"	7" Liner	3200-3300	100
6"	Trou ouvert	3300-3400	100

I.5.généralités sur les fluides de forage

I.5.1.Définition des fluides de forage

Un fluide 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 du 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, ou ne compromettent pas le potentiel de production du gisement. [8]

I.5.2.Caractérisation des fluides de forage :

Tout comme la formulation des boues, le contrôle et la caractérisation des boues de forage sont réalisés selon des normes précises éditées par TAPI. Là aussi, il faut employer un appareillage spécifique et des protocoles particuliers.

Certaines mesures sont réalisées systématiquement sur tous les forages (viscosité, densité, filtration) et d'autres, selon le coût et les possibilités du forage (taux de gaz, alcalinité). Sur site, un responsable boue (appelé le « boueux ») est chargé du contrôle de la qualité de la boue. A partir des mesures réalisées et de ses connaissances, il corrige, si nécessaire, la composition de la boue en « temps réel » en ajoutant certains produits ou en reformulant la boue.

Les outils disponibles pour contrôler sur site la rhéologie de la boue sont de deux types : tout d'abord, un outil encore très largement utilisé est le viscosimètre Marsh ; le deuxième type d'appareil utilisé sur chantier est un rhéomètre rotatif (de marque FANN 35) réalisant une mesure de contrainte pour 2 ou 6 valeurs du cisaillement selon les appareils.

Deux autres mesures sont réalisées afin de caractériser la « thixotropie » de la boue : Gel 0 et Gel 10 qui sont des mesures de contrainte à très faible vitesse normalisée après, respectivement, 10 secondes et 10 minutes de repos. Ces mesures sont nécessaires et doivent être réalisées si on envisage une application au chantier pour une formulation de boue.

Les conditions existantes sur site doivent être prises en compte lors du contrôle des propriétés et posent des difficultés supplémentaires.

Deux exemples peuvent être donnés : tout d'abord, l'information tirée de la mesure est une information « retardée ». En effet, la boue circule dans le puits et une modification éventuelle de la rhéologie du fluide dans le puits ne sera détectée qu'au moment de la mesure en surface, il faut donc prendre en compte ce temps de remontée de la boue. D'autre part, la circulation dans le puits impose des valeurs élevées de pression et de température. Il est donc nécessaire de mesurer ou de prévoir la rhéologie des fluides aux hautes températures et pressions ainsi que la tenue des additifs soumis à ces conditions [8].

I.5.2.1 Paramètres physico-chimiques.

La viscosité est la principale propriété des boues de forage, mais la densité est la seconde. Dans l'opération de forage, la pression au fond du trou doit être contrôlée soigneusement. La pression dans le puits doit excéder la pression des formations géologiques et ne doit pas aller au-dessus de la pression de rupture des différentes roches forées.

En dessous de cette gamme de pression, les venues de fluide ou de gaz peuvent endommager l'opération de forage, et au-dessus d'elle, les pertes de boue ou l'instabilité mécanique du puits pourrait se produire.

Un produit sous forme de poudre (barytine ou calcaire) est ainsi employé comme matière de charge. Le mélange ou la dilution permet une commande précise de sa valeur.

A cause de cette pression de contre-balancement en conditions normales de forage, une diffusion du fluide dans les milieux poreux est possible. Pour diminuer autant que possible cette invasion, un produit de filtration appelée cake est formée sur les parois du trou foré. Ce film doit être de perméabilité faible et doit être facilement enlevé quand les opérations de cimentage ou d'accomplissement se produisent [9].

I.5.2.1.1 Densité

La densité est un paramètre important des boues de forage. Elle doit être suffisamment élevée pour contrebalancer la pression exercée par les venues d'eau, d'huile et de gaz et par conséquent les éruptions. Il ne faut pas également qu'elle dépasse la limite de résistance des parois du puits (formations traversées) pour ne pas les fracturer et pour ne pas avoir une perte de boue au cours de sa circulation.

La boue exerce une pression sur les parois du puits donnée par l'expression suivante [10] :

$$P = (h \cdot d) / 10$$

où :

P : Pression de la formation : en Kgf cm²

h : Profondeur de la couche traversé ; en m

d : Densité de la boue.

10 : Pesanteur.(fixé par Sonatrach, division forage).

I.5.2.1.2. Rhéologie

Les fluides de forage sont souvent des suspensions colloïdales qui ont un comportement complexe et variable suivant leur composition et les conditions d'utilisation. Ce sont le plus souvent des fluides non-newtoniens, visqueux ou viscoélastiques, éventuellement thixotropes. De nombreux modèles rhéologiques ont été proposés et traités dans l'industrie pétrolière, par plusieurs auteurs.

L'objectif principal des études rhéologiques est de caractériser et de quantifier les effets des interactions entre particules sur les propriétés macroscopiques des suspensions. Les caractéristiques rhéologiques les plus utilisées et recommandées par l'institut pétrolier américain (American Petroleum Institute. API) sont la viscosité, la contrainte seuil et la thixotropie [11]

I.5.2.1.2.1. Viscosité

La viscosité dépend avant tout de la teneur en solides contenue dans la boue et de la présence des polymères. Une augmentation de viscosité ne pourra donc être combattue que par l'élimination de solides.

D'un point de vue pratique, on définit deux types de viscosité: une viscosité apparente (VA) et une viscosité plastique (VP) souvent liée à la taille des particules, et à leur forme.

$$VA = L600 / 2$$

$$VP = L600 - L300$$

Où L600 et L300 représentent respectivement les lectures à 600 et 300 tr/mn sur le rhéomètre fann35.

I.5.2.1.2.2. Contrainte seuil

Les solides présents dans la boue de forage influencent un paramètre autre que la viscosité plastique, qui est la contrainte seuil, plus connue sous le nom anglais "yield value" ou "yield point", qui représente la résistance initiale à vaincre, pour que le fluide s'écoule.

Cette résistance est due aux forces électrostatiques attractives localisées à la surface des particules.

La mesure de cette résistance est une mesure dynamique.

La contrainte seuil dépend du type des solides présents et de leurs charges de surface respectives, de la concentration de ces solides, et du type et de la concentration des autres ions ou sels éventuellement présents. [11]

I.5.2.1.2.3. Gels et thixotropie

Une boue de forage laissée au repos édifie progressivement une structure qui augmente sa rigidité et qui peut être réduite par agitation. On appelle thixotropie le fait que ce phénomène soit non instantané et réversible.

Le caractère thixotrope d'une boue est évalué en mesurant le "gel 0" et le "gel 10". Le gel 0 représente la résistance du gel aussitôt après agitation de la boue. Ils sont mesurés à l'aide du viscosimètre (de marque Fann35) à une vitesse de 3 tr/min et exprimé en lb/1 0ft². Le gel 10 représente la résistance du gel après un repos de la boue de 10 minutes. [8]

I.5.2.2. Propriétés de filtration des fluides de forage

Les fluides de forage sont des suspensions composées d'une phase liquide et des particules solides. La filtration se réfère à la phase liquide du fluide de forage forcé à traverser la formation perméable causé par la différence de pression. Durant ce processus les particules solides sont retenues à la surface de la paroi, formant un cake de filtration. La perméabilité c'est la capacité d'un fluide à s'écouler à travers une formation poreuse.

Les systèmes de boue doivent être conçus pour sceller les zones perméables aussi vite que possible avec des cakes lisses et minces. Dans les formations de haute perméabilité avec de larges pores, toute la boue pourrait envahir la formation (selon la taille des particules solides de la boue). Dans de telles situations des agents de liaisons doivent être utilisés pour arrêter les pertes de boue.

La taille des agents de liaisons doit être la moitié de la taille des pores de la formation. On peut citer dans cette gamme, les carbonates de calcium, les dérivées de la cellulose et une large variété d'autres matériaux réducteurs de filtrat.

Deux sortes de filtrations ont lieu pendant le forage : la filtration statique pendant arrêt de la circulation du fluide, et la filtration dynamique au cours de la circulation du fluide qui entraîne une érosion du cake formé. Le volume du filtrat est fonction : [12]

- Du temps ;
- De la pression différentielle ;
- De la viscosité du fluide ;
- De la température ;
- De la distribution en taille des particules.

Les propriétés de filtration des fluides de forage sont évaluées et contrôlées par des tests API. Ce sont des tests en régime statique utilisant un filtre presse standardisé. Ces tests peuvent être réalisés à hautes pressions et hautes températures.

De nombreux travaux et études ont été sur la filtration et révolution de ses paramètres sous différentes conditions inhérentes au forage.[12]

I.5.3. Principales fonctions des fluides de forage

La plupart des manuels de fluide de forage listent entre 10 à 20 fonctions que le fluide de forage exécute tout en forant un puits [12]. En général, les principaux rôles du fluide de forage sont :

- Assurer la remontée des déblais du fond du puits jusqu'à la surface grâce à la circulation d'un fluide visqueux dans l'espace annulaire.

- Maintenir les déblais en suspension lors d'un arrêt de circulation dans le but d'empêcher la sédimentation des déblais grâce à la nature thixotropique du fluide afin de redémarrer le forage sans coincement.

- Refroidir et lubrifier l'outil de forage pour éviter l'usure rapide des pièces métalliques en mouvement.

- Maintenir les parois du puits en raison de la pression hydrostatique exercée par le fluide en écoulement qui est en général supérieure à la pression des formations forées, ce qui permet d'empêcher la déstabilisation des terrains et de contrôler la venue des fluides de formation traversée. Du fait de cette différence de pression, le fluide va filtrer dans les formations perméables et déposer un film sur la paroi appelé « cake de filtration».

Ce cake permet de réduire la perméabilité des parois et d'isoler le fluide de forage de la formation réservoir à moins que ce film ne devienne pas épais afin d'éviter une diminution du diamètre nominal du trou et un risque de coincement. [12]

I.5.4. Composition des boues de forage

Le choix de la formulation à utiliser va dépendre de la formation rocheuse à traverser, des contraintes environnementales et économiques ainsi que des possibilités d'approvisionnement sur place des produits à boue.

Différentes formulations peuvent être utilisées sur un même forage selon les couches géologiques traversées.

Les boues à l'huile donnent généralement de meilleurs résultats (meilleures lubrifications, minimisation de l'endommagement des formations productrices, résistances aux hautes températures) mais sont généralement plus chères et posent des problèmes écologiques [12].

Les propriétés que l'on exige des boues de forage sont multiples et peuvent parfois même être contradictoires. Les boues doivent, par exemple, être très visqueuses pour assurer la remontée des déblais, mais la viscosité ne doit pas être trop élevée afin de diminuer les pertes de charge dues à l'écoulement et éviter la fracturation de la formation. [12]

De nombreux composants multifonction sont donc ajoutés à la boue pour obtenir les propriétés désirées.

Il est possible de classer grossièrement ces composants en 20 catégories [13] représentées dans le tableau suivant :

Tableau I.2: additifs utilisés dans la formulation des fluides de forage. [13]

1	Contrôleur d'alcalinité	11	Lubrifiant
2	Bactéricides	12	«Décoiçant »
3	Anti-calcium	13	Inhibiteur de gonflement des ardes
4	Inhibiteur de corrosion	14	Produits facilitant la séparation
5	Anti-mousse	15	Stabilisateur haute température
6	Agent moussant	16	Défloculant
7	Emulsifiant	17	Viscosifiant
8	Réducteur de filtrat	18	Alourdissant
9	Floculant	19	Fluide de base aqueux (saumure)
10	Colmatant	20	Fluide de base oléagineux

I.5.5 Types de fluides de forage

Traditionnellement, les fluides de forage ont été classés en trois catégories selon le fluide de base utilisé dans leur préparation : l'air, l'eau ou l'huile [14].

I.5.5.1. Les fluides de forage à base d'eau WBM (Waterbasedmuds)

Ces fluides sont souvent désignés par "Water-BasedMuds" ou WBM. Ils sont dans la plupart des cas constitués par des suspensions de bentonites 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 l'eau sont choisies en prenant en compte les caractéristiques de la formation (activité de l'eau des formations argileuses, dissolution des formations salines).

Parmi les additifs on peut trouver :

- Des viscosifiants : argiles naturelles (souvent des bentonites), polymères synthétiques ou biopolymères.
- Des réducteurs de filtrat servant à consolider le cake de filtration pour limiter l'invasion par le fluide: amidons, carboxyméthylcelluloses ou CMC, celluloses polyanioniques (PAC), ou résines.
- Des inhibiteurs de gonflement et de dispersion des argiles : KCl, glycérol, silicates ou divers polymères comme le polyacrylamide partiellement hydrolysé (PHP A), les polyalkylène glycols (PAG).
- Des agents alourdissant comme la barytine ("baryte" ou sulfate de baryum $BaSO_4$) et la calcite (carbonate de calcium $CaCO_3$) qui sont les plus utilisés pour assurer à la boue une densité convenable.

Enfin pour réduire les problèmes de pertes et d'endommagement, des colmatants, additifs plutôt exotiques comme des granuleux (coquilles de noix), des fibreux (fibres de bois, canne à sucre), et des lamellaires (coquilles d'huîtres, céréales) sont utilisés.[15]

Ces fluides sont moins coûteux et moins polluants. Cependant ; la dégradation thermique des polymères utilisés dans ces formulations présente un inconvénient majeur pour le bon déroulement d'une opération de forage (domaine de stabilité thermique du xanthane 120°C - 138°C).

Il est possible de classer ce type de fluides en trois catégories :

- Boues douces (boues bentonitiques) ;
- Boues salées.
- Boues salées saturées.

I.5.5.2. Les fluides de forage à base d'huiles - OBM (Oilbasedmuds)

Les fluides à base d'huile sont des fluides dont la phase continue est une huile minérale (pétrole brut, fuel, gasoil ...) 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 à émulsion inverse : avec moins de 5% d'eau, on a des boues à l'huile [16].

Ces fluides sont souvent désignés par "Oil-BasedMuds" ou OBM.

La phase continue la plus utilisée jusqu'à ces dernières années était le gasoil, 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 [16].

I.5.5.3. 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 ajoutés intentionnellement. Le gaz peut être de l'air, du gaz naturel, de la mousse ou du brouillard [17].

Leurs utilisations est indispensable dans le cas où différents problèmes aient lieu pendant le forage, par exemple :

- Les fluides à base d'air : Utilisés pour éviter des problèmes de perte de boues lors de leur circulation, ou dans le forage de formations sous pression, ainsi que du fait qu'ils soient légers.

- Les fluides à base de mousse : Dans le cas où les formations à forées sont fracturées, ou quand le forage à l'air est impossible du fait des faibles pressions développées par ce dernier.[17].

I.5.6. Filtration et endommagement des formations

La connaissance des causes et l'importance du phénomène de colmatage des abords du puits par la boue de forage présente un intérêt évident. En effet, elle doit permettre, dans la mesure du possible de prévenir l'endommagement catastrophique, par le choix d'un fluide adéquat et de conditions de mise en œuvre convenable.

Nous rappelons ici que concernant le colmatage, les facteurs à prendre en compte sont liés :

- A la roche (perméabilité, porosité, répartition des pores, nature minéralogique, mouillabilité) ;
- Aux fluides qu'elle contient (nature, propriétés chimiques, caractéristiques physico-chimiques, pression, température) ;
- A la boue elle-même (composition, caractérisation idéologiques) et à ses éléments de filtration. au cake (épaisseur, perméabilité, résistance mécanique, grosseur des particules) et au filtrat (nature, propriétés chimiques et physico-chimiques).

Lorsque le fluide de forage se trouve en contact avec une surface nouvellement foré, il pénètre immédiatement dans celle-ci. Puis, la pénétration étant limitée, certains pores sont obstrués par des particules en suspension dans le fluide et celles résultant du broyage de la roche par l'outil, c'est-à-dire, lors de formation du cake interne. Cette obstruction dépend des dimensions relatives du pore et de la particule.

Des particules plus petites atteignant le domaine colloïdal susceptible de boucher les pores les plus fins et les interstices entre les fractions les plus grossières déjà déposées.

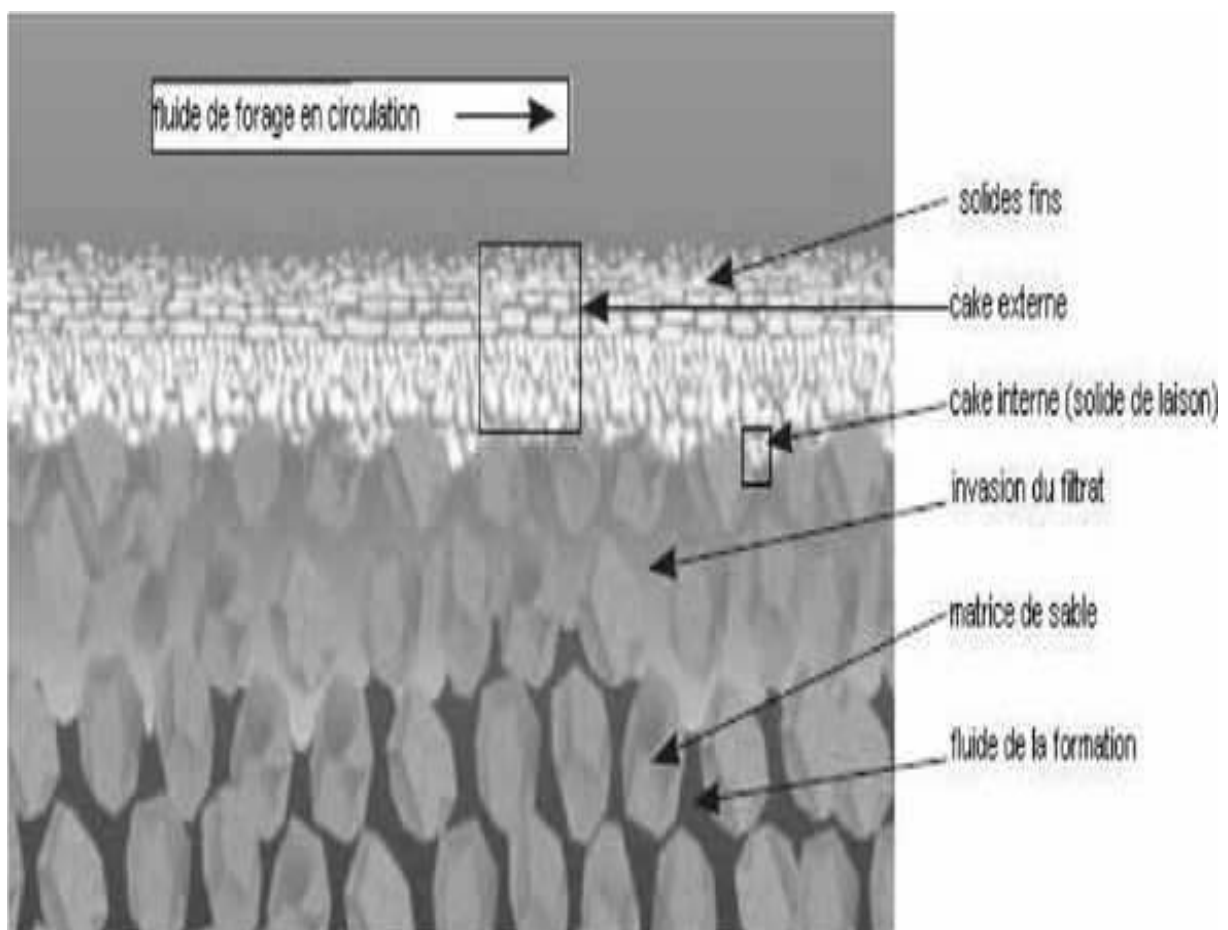
L'obstruction du milieu poreux est d'autant plus rapide que la concentration en particules susceptible, de la provoquer est plus élevée.

Une fois l'obstruction amorcée, les éléments les plus fins sont à leur tour retenus.

Seule la phase liquide envahit la formation, tandis que la phase solide se dépose à l'extérieure, le long de la paroi, en constituant le cake externe.

Comme le montre la figure(I.4), différentes zones peuvent être distinguées du puits vers la formation :[17].

- Le cake externe qui tapisse la paroi.
- Le cake interne qui s'étend sur une épaisseur équivalente à quelques diamètres des grains.
- La zone envahie par le filtrat lors de la pénétration immédiate.



FigureI.4 : Les différentes zones de pénétration du fluide de forage en circulation [17]

Chapitre II

Impacts des déblais de forage sur l'environnement et techniques de réhabilitation des sols

II.1. Impacts des déblais de forage sur l'environnement

II.1.1 Introduction

Les fluides de forage à base d'huile présentent un intérêt pratique et économique considérable, en particulier pour le forage des zones argileuses sensibles, des puits fortement déviés ou horizontaux, ou lorsque les températures élevées sont rencontrées.

Leur utilisation intensive en fait une source importante de pollution. Des quantités assez considérables sont rejetées chaque année dans le désert. Ses huiles sont à 90 % rejetées sous forme d'huile absorbée sur les déblais de forage.

La détermination de l'impact de cette pollution sur l'environnement a fait l'objet de nombreuses recherches qui ont mis en évidence les effets perturbateurs sur l'environnement établi près de la plate-forme de forage.[20]

Parmi les plus grands problèmes causés par la pollution due au forage, la contamination des nappes phréatiques et aquifères. Dans la région de HASSI - MESSAOUDSES ses nappes constituent une source d'eau importante, qui alimente les champs d'agriculture ainsi que les habitants de la région, de façon constante.

A l'échelle mondiale la meilleure connaissance de ses effets a eu pour conséquences une évolution rapide et très restrictive des législations sur l'utilisation des boues à base d'huile.

Ces restrictions sont actuellement plus au moins sévères, elles ont tendance à s'harmoniser sur les bases des plus restrictive .On observe ainsi l'interdiction des rejets en mer des déblais forés en boue à l'huile pour les puits de la mer du nord, ou bien même l'interdiction des boues à l'huile comme en CALIFORNIE et au DANEMARK .

Donc l'industrie pétrolière s'est trouvée confrontée à une évolution extrêmement rapide, des législations se traduisant par des conditions limitatives sur les additifs chimiques autorisés, et sur les rejets de déblais.[20].

II.1.2 Définition des déchets de forage (déblais de forage)

Les déblais de forage sont de petits morceaux de roche qui sont éjectés par l'action du trépan au fond du puits. La plupart des trépans 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 récupérés pour être traités (normalement par solidification/stabilisation ou désorption thermique).[20].

II.1.3 Catégories des déchets

Il existe fondamentalement deux catégories de déchets issus de l'activité pétrolière: Déchets Non Dangereux; et Déchets Dangereux.

II.1.3.1 Déchets Non Dangereux

La définition d'un déchet de forage non dangereux, comme reconnue par la plupart des agences environnementales, est donnée comme suit [21]: Est considéré comme déchet non dangereux tout résidu d'installation de traitement, d'approvisionnement, tout matériel jeté qui ne cause pas ou ne contribue pas de manière significative à un risque actuel ou substantiel à la santé humaine ou à l'environnement une fois incorrectement traité transporté, débarrassé ou autrement contrôlé et qui ne présente aucune des caractéristiques relatives à la dangerosité : toxicité, explosivité, corrosivité...etc. ».

Un déchet dangereux est défini comme étant tout liquides ou solides qui, en raison de sa quantité, de ces caractéristiques physiques, chimiques ou infectieuses engendrer des risques à la santé humaine ou à l'environnement une fois incorrectement traité, stocké, transporté ou disposé [22].

Le déchet peut être classifié comme dangereux quand il répond à l'une des deux conditions :

- Le déchet est spécifiquement régulé par une autorité gouvernementale ou organisation internationalement identifiée.
- Le déchet possède une ou plusieurs des quatre caractéristiques dangereuses suivantes: inflammabilité, corrosivité, réactivité ou toxicité.

II.1.4 Importants polluants générés par les activités de forage

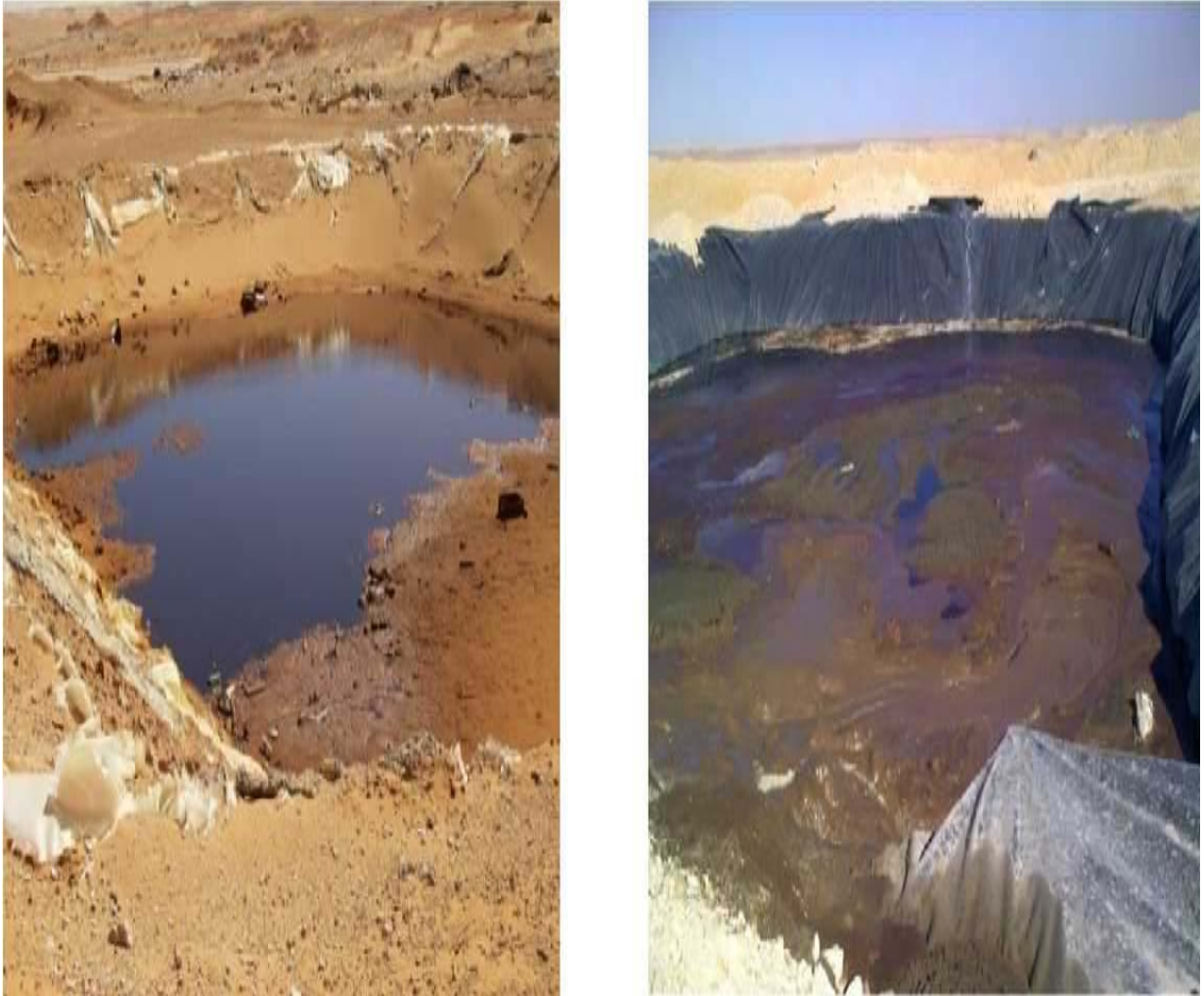
À la sortie du puits, le fluide de forage remonte chargé de déblais. Ces derniers, séparés du fluide de forage par tamisage, passent par des centrifugeuses et sont rejetés dans une grande excavation, réalisée à cet effet, appelée : Bourbier. Il se trouve que ces rejets gardent en rétention des quantités importantes du fluide porteur.[22]

Le bourbier de forage contient des contaminants dits polluants actifs. Ces contaminants sont appelés ainsi en raison de leurs propriétés physico-chimiques qui leur confèrent un caractère polluant direct préjudiciable à l'environnement. Les principaux contaminants susceptibles d'être rencontrés sont :[22]

- Les hydrocarbures,
- Les métaux lourds,
- Les sels

En effet, du point de vue toxicologique, ces types de produits ont un impact nuisible à l'environnement et ont pour origine :

- La formation géologique (déplacements des minéraux contaminés et fluides de la formation vers la surface).
- Les déchets liés aux composants de la boue de forage et qui sont classifiés comme étant des substances dangereuses, sont:[22]
 - Produits toxiques (tensioactifs, biocides et amines, métaux lourds et sels).
 - Produits faiblement toxiques (carbonate de calcium, barte, polymères).



FigureII.1: Images réelles d'un bourbier de forage récent.[23]

Le tableau présente la composition chimique, les quantités et les informations toxicologiques du fluide de forage utilisé pour forer un puits sur le de site Hassi Messaoud. [24]

Tableau II.1 : Compositions chimiques, quantités et information toxicologiques des fluides de forage au niveau de Hassi Messaoud. [24]

Nom commercial du produit	Composition chimique	Quantité (Tonnes)	Fonction	Information toxicologique
Baryte	Sulfate de baryum	1180.84	Agent alourdissant	Impact réduit
Bentonite	Argile montmorillonite	117.36	Viscosifiant et contrôleur de filtrat	Impact réduit
Soude caustique	Hydroxyde de sodium	1.956	Modificateur de pH	LD50=500 mg/Kg
Polysal	Dazometde Thiadiazine	6.52	Réducteur de perte de fluide	Non disponible
Versatrol	Gilsonite	6.84	Réducteur de perte de fluide	Impact réduit
Sel	Chlorure de sodium	95.766	Sel pour saumure d'accomplissement	LD50=3000mg/Kg
Lime	Hydroxyde de calcium	14.3	Source de Calcium, modificateur de pH	LD50=7340 mg/Kg
VG-69	Petite quantité de quartz et de silice cristalline	24.145	Inverseur d'émulsion, viscosifiant pour fluide de forage	LD50>20000 mg/Kg
VERSAMUL	Huile minérale, alcool méthylique, résidus de distillation du pétrole	4.56	Emulsifiant	LD50>5000 mg/Kg LC50=1.6 mg/l/4h
VERSACOAT	Huile minérale, alcool méthylique, résidus de distillation du pétrole	20.974	Emulsifiant	LD50>5000 mg/Kg LC50=1.6 mg/l/4h
VERSAWET	Non disponible	13.5605	Agent mouillant	Impact réduit

II.1.5 Problématique liée à la conception d'un bournier

Sur le plan environnemental, en plus des pertes de circulation des fluides pendant et après le forage, le bournier, en tant que collecteur des produits liquides et solides issus du forage, représente une grande source de pollution et de danger.

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, appelée : Bournier. Il se trouve que ces rejets gardent en rétention des quantités importantes du fluide porteur par un phénomène appelé : enrobage ou encapsulation.

Lorsque c'est une OBM qui est utilisée, on mesure le pourcentage massique d'huile sur les déblais ou OOC% (Oil On Cutting). Le OOC% dépend de la nature de la roche, des caractéristiques du fluide, de la taille et de la forme des déblais. [25]

Un bournier à Hassi Messaoud, en fin de forage, peut contenir jusqu'à 600 m³ de gasoil perdu par encapsulation. Ces quantités de gasoil se trouvent par la suite « lessivées » par Faction des eaux de rejets qui peuvent atteindre jusqu'à 12000 m³ dans un seul bournier à Hassi Messaoud.

Les hydrocarbures non solubles dans l'eau se retrouvent en flottation sur la surface de l'étendue d'eau, alors que les hydrocarbures solubles dans l'eau se verront entraînés en profondeur par infiltration du fluide vecteur, en l'occurrence l'eau de rejet. [25]

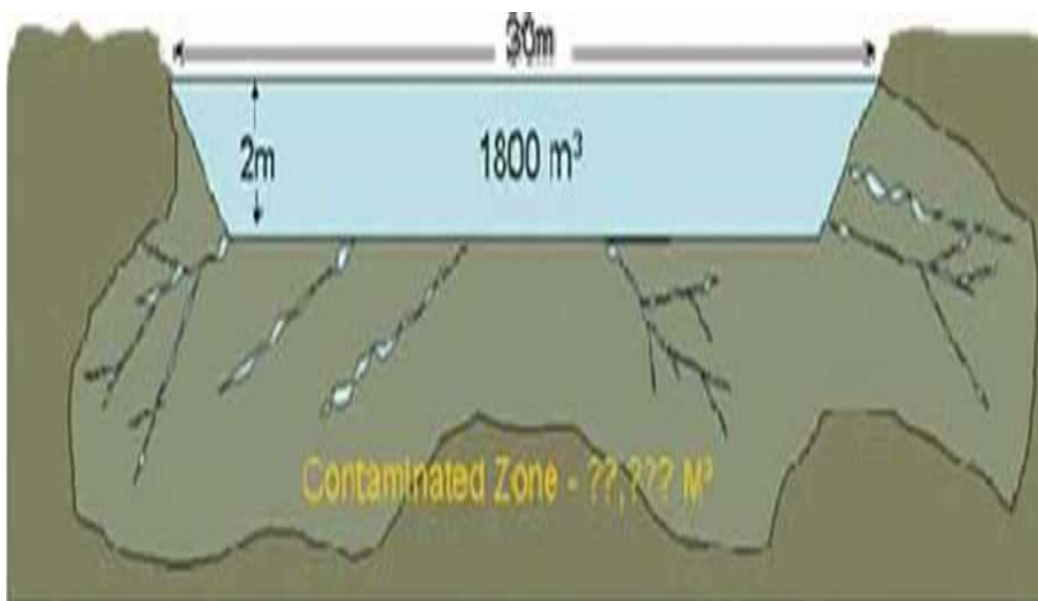


Figure II.2:Echec du maintien des polluants

II.1.6 Libération des polluants

Les impacts environnementaux des activités de forage seraient minimaux si les déchets demeuraient à leurs points de rejet. Malheureusement, ces déchets peuvent être transportés d'un point à un autre selon certaines voies de migration. La libération des polluants contenus dans la source vers l'environnement ne s'effectue pas de façon homogène, et elle dépend aussi bien des polluants que de la nature des solides porteurs. Elle s'effectue par les vecteurs suivants : [26]

- Ruissellement des eaux de pluie ou de surface à la surface de la zone polluée, ou du tas de solides pollués ; les polluants sont alors convoyés par l'eau, jusqu'à infiltration dans le sol ;
- Infiltration des eaux de pluie ou de surface à travers la surface de la zone polluée, ou de tas de solides pollués, puis dans la zone non saturée sous-jacente ; les polluants sont alors convoyés par l'eau percolant vers les nappes ;
- Dispersion aérienne des polluants (poussières au vent, évaporation des polluants volatils), suivie de retombées sur les sols environnants sous forme de pollution diffuse.

II.1.7 Impacts des déblais de forage

II.1.7.1 Impacts sur l'environnement

L'impact primaire des déchets de forage sur l'environnement est l'exposition des organismes à la toxicité de ces déchets [27]. La toxicité d'une substance est définie comme étant sa concentration dans l'eau résultant en la mort de la moitié des organismes en une durée donnée. La toxicité entre de trois manières dans les déchets de forage : dans la composition chimique de la boue, dans son stockage et dans les déblais de forage. La composition de la boue est le contribuant le plus important parce qu'elle inclut des produits intentionnellement ajoutés aux fluides de forage pour maintenir ses propriétés.

La source des polluants renferme le baryum, le chrome (des réducteurs de viscosité et inhibiteurs de corrosion), le mercure et le cadmium (des impuretés de la barytine), le plomb et le diesel (des déblais des boues à base d'huile) et l'arsenic. La toxicité de divers produits chimiques utilisés pendant les activités de forage change de manière significative, de non toxique à extrêmement toxique.

Pour la plupart des boues de forage, le sodium a le potentiel d'impact le plus élevé sur l'environnement quand il est déversé dans les bourbiers. Les métaux lourds sont également concernés, bien que leur capacité à contaminer les aquifères est limitée par leur basse concentration et basse solubilité [29].

L'impact potentiel qui peut résulter des activités de forage sur l'environnement est montré dans le tableau II.2. Le risque de contamination du sol, spécialement par les fluides de forage est très haut.

Ceci peut engendrer un changement des caractéristiques physico-chimiques du sol car les sols du désert sont fragiles et leur capacité à se réhabiliter est très faible. Les températures élevées, le manque de végétation et de précipitations aggravent le problème.

Le risque de contamination des aquifères dépend de leur profondeur et des caractéristiques du sol (perméabilité, porosité, etc...). Pour des aquifères plus profondes, le risque de contamination est réduit par la longueur du trajet à parcourir par le polluant. Cependant, les eaux souterraines sont très près de la surface d'où un très haut risque de contamination

Tableau II.2 : Déchets de forage et impact potentiel [26].

Classe	Définition	Catégorie du risque
A	Risque intolérable	37-45
B	Risque majeur	28-36
C	Risque modéré	19-27
D	Risque mineur	10-18
E	Risque négligeable	1-9
F	Risque insignifiant (aucune interaction)	0
P	Possibilité d'impact positif	-

II.1.7.2 Impacts sur la santé

Les sols contaminés par les hydrocarbures présentent un danger lors d'un contact direct avec l'homme ou lors de leur transfert dans la chaîne alimentaire par le phénomène de bioaccumulation [32]. La toxicité des hydrocarbures vis-à-vis des personnes et de l'environnement dépend de leur structure et de leur concentration.

Parmi les effets sur la santé qui peuvent être associés aux fluides de forage, des irritations dermiques, respiratoires et même des effets cancérigènes, notamment dus aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) [30]. En plus des effets toxiques, mutagènes et cancérigènes des HAP, on note de sérieux problèmes concernant leur oxydation, leur bioaccumulation et leur adsorption dans le sol [31].

II.1.7.3 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 aux plantes (soit aux plantes elles-mêmes, soit à leurs racines) sont souvent irréversibles ou prennent longtemps 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 indirect négatif sur la faune locale. Les insectes, reptiles, mammifères et rongeurs utilisent la végétation pour leur protection et leurs besoins en eau.

Le borbier peut aussi représenter un danger pour les animaux, en effet après avoir fini le forage du puits et l'avoir mis en production l'appareil est démonté et évacué, il ne reste que le borbier en attente d'être traité qui constitue un piège pour les animaux.[32]

La photo ci-dessous montre le sauvetage d'un chameau bloqué dans un borbier



Figure II.3 : Sauvetage d'un chameau piégé dans un bourbier

II.1.7.4 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.

La préparation d'un emplacement (figure II.4) peut nécessiter des mouvements de terres considérables et du transport de matériel de construction des carrières.

La photo montre les activités typiques de préparation d'un emplacement dans le désert.

Des émissions des gaz de combustion sortent des pots d'échappement des véhicules et de la machinerie lourde utilisée dans les activités de construction de pistes, routes, et préparation de sites. Ces émissions contiennent du monoxyde de carbone, oxydes d'azote et dioxyde de soufre.

L'électricité nécessaire aux activités de forage sera fournie par des groupes électrogènes situés dans les plateformes de forage

La consommation maximale de diesel dans un emplacement donnée est de 3 m³/jour pendant les travaux civils et 5m³/jour pendant les activités de forage.

La combustion de cette quantité de fioul est limitée mais peut produire des effets localisés dans la qualité de l'air.

Les activités analysées ici ne représentent pas d'émissions en continu, et peu après la fin du projet ces émissions vont diminuer considérablement, voire disparaître. [31]



Figure II.4 : Préparation du terrain. [31]

II.2 Techniques de décontamination des sols pollués

II.2.1 Introduction

La prise de conscience des menaces qui pèsent sur l'environnement a conduit à entreprendre diverses initiatives et à fournir des efforts soutenus pour tenter d'enrayer la dégradation de l'environnement. Mais la situation est complexe et les difficultés à surmonter sont nombreuses. En effet, le nombre important de sites industriels pollués à réhabiliter, suite aux opérations de forage, d'exploration et d'exploitation, constitue depuis quelques années un souci majeur pour les entreprises travaillant dans le domaine.

Des besoins importants apparaissent ainsi en matière de stratégie d'intervention visant la restauration progressive de ces sols contaminés.

II.2.2 Politique environnementale et législation

II.2.2.1 Définition de la réglementation

L'arrêté du 18 décembre 1992, qui fixe les conditions de « stockage de certains déchets industriels spéciaux ultimes et stabilisés », a précisé les définitions essentielles suivantes :

Les déchets ultimes sont des déchets, résultant ou non de processus de traitement de déchets, qui ne sont plus susceptibles d'être traités dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de leur caractère polluant ou dangereux.[32]

Un déchet est considéré comme stabilisé quand sa perméabilité à l'eau et sa fraction lixiviable ont été réduites et quand sa tenue mécanique a été améliorée de telle manière que ses caractéristiques satisfassent aux critères d'admissibilité des déchets stabilisés dans les centres de stockage, suivant la réglementation en vigueur.

II.2.2.2 Législation et normes algériennes

La réglementation Algérienne ne dispose pas de lois très strictes en rapport avec le traitement des effluents industriels. Les seuls textes légaux existants à ce jour, parle seulement de contrôle des rejets comme le stipule le Décret exécutif n° 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 avril 2006, définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels [33], de façon a :

Contrôler les valeurs limites de leurs rejets par moyen d'unités spécifiques destinées à faire leur traitement, connue l'indique l'article 4 du même décret (voir annexe 1) : Toutes les installations générant des rejets d'effluents liquides industriels doivent être conçues, construites et exploitées de manière à ce que leurs rejets d'effluents liquides industriels ne dépassent pas à la sortie de l'installation les valeurs limites des rejets (voir annexe 2), et doivent être dotées d'un dispositif de traitement approprié de manière à limiter la charge de pollution rejetée.

Obliger les opérateurs à effectuer des procédures de contrôle et d'analyse de leurs rejets, et même fournir des explications en cas de non-respect des limites indiquées (annexe 1: article 6, 8, 9, & 10). [33]

II.2.2.3. Considération générales

Il est évident qu'il n'existe aucune législation environnementale liée spécifiquement aux activités d'exploration et de production pétrolières en Algérie (telle que le pourcentage d'huile sur des déblais).

Quelques législations existent mais ne sont pas appropriées à ce genre d'activité. Par conséquent, certaines normes internationales spécifiques à la protection de l'environnement comme la protection des eaux et la gestion des déchets ont été adoptées par Sonatrach.

II.2.2.4. Normes internationales

L'arrêté du 18/12/1992, agissant en tant que norme européenne, publié au Journal officiel de la République Française le 30/03/1993, est la norme suivie par SONATRACH, pour le traitement des déblais de forage.

Cet arrêté définit les paramètres qui devraient être analysés et leurs limites maximales à ne pas dépasser pour que les déblais puissent être rejetés dans la nature.

Ces valeurs limites sont données dans le tableau suivant. En cas de non-respect de ces valeurs il convient de traiter ces déblais avant leur rejet.

Tableau II.3 : Valeurs limites maximales des paramètres d'analyse [34]

Eléments	Abréviation	unité	Méthode d'analyse	Valeur limite
Hydrocarbures totaux	HC	0/	FTIR	2.5
Chrome total	Cr	mg/Kg	SAA	50
Plomb	Pb	mg/Kg	SAA	50
Zinc	Zn	mg/Kg	SAA	250
Cadmium	Cd	mg/Kg	SAA	25
Nickel	Ni	mg/Kg	SAA	50
Arsenic	As	mg/Kg	SAA	5

II.2.3. Hiérarchie de gestion des déchets

En se plaçant sur un plan prospectif, la réflexion sur la gestion d'un déchet ne doit pas se limiter à la seule recherche d'une solution immédiate au problème posé par son existence. Sa production n'est pas toujours une fatalité et des voies stratégiques sont à explorer et qui peuvent conduire à modifier profondément la nature du déchet et les quantités produites pour un procédé donné.

La hiérarchie mise en place classe les stratégies de gestion des déchets selon leurs opportunités et vise à extraire le maximum d'avantages pratiques des déchets.

La gestion et le contrôle des déchets, selon l'ordre de préférence, reposent sur les principes suivants:

1. L'évitement, dans la mesure du possible, de produire des déchets ;
2. La prévention et la réduction de la production et de la nocivité des déchets à la source;
3. La valorisation des déchets par leur réemploi, leur recyclage ou toute autre action visant à obtenir, à partir de ces déchets, des matériaux réutilisables ;
4. Le traitement devrait seulement être considéré après épuisement des options de valorisation;
5. La disposition est la dernière option et devrait être confiée à un organisme spécialisé.

II.2.4. Techniques de réhabilitation des sols pollués

Comme nous l'avons cité précédemment, les rejets présents dans le borbier, générés par les activités de forage présentent des effets portant atteinte à la santé de l'homme, de façon directe ou indirecte, et à l'environnement de manière globale.

Dans cette optique, plusieurs techniques de traitement sont recommandées, mais chacune d'elles a été critiquée à cause de son coût ou de son inefficacité. 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.[35]

Le choix d'une méthode particulière de dépollution va dépendre, au préalable de :

- Certains paramètres comme le type de polluant et de la variabilité de son comportement (volatilité, adsorbabilité, polarité...),

- De la diversité des conditions locales (nature du sol, de la nappe, accessibilité, disponibilité de surfaces utilisables à proximité, zone urbaine ou non),
- De voir s'il s'agit d'une pollution récente ou ancienne, de son étendue ou non. En plus, il faudrait tenir compte des exigences économiques et administratives. [35]

En fonction de ces différents aspects, trois grandes catégories d'actions peuvent être menées [35]

- Le confinement, qui consiste à isoler la pollution à l'aide d'ouvrages étanches,
- Les méthodes ex situ, qui consistent en l'excavation des sols contaminés. On parlera de méthode "hors site" si le sol est évacué vers un centre de traitement spécialisé, ou de méthode "sur site" si le sol excavé est redéposé sur le site pour être traité,
- Les méthodes in situ, pour lesquelles l'opération de dépollution s'effectue sans excavation du sol. Cette option est souvent choisie pour traiter des sites en activité ou lorsque la zone polluée est trop étendue pour avoir recours à l'excavation

La dépollution peut être mise en œuvre en utilisant les techniques suivantes :

- techniques physiques,
- techniques chimiques qui font appel à un principe réactionnel (action d'un solvant, oxydation...) pour transformer le polluant en un composé moins toxique et inerte vis-à-vis de l'environnement,
- techniques thermiques qui consistent à chauffer le matériel contaminé pour en extraire le polluant et le détruire,
- techniques biologiques qui favorisent la biodégradabilité des produits.

Tableau II.4: Synthèse des principaux traitements de dépollution [39] ; [40].

Technique	Principe du traitement	Estimation du coût (€ ¹)	Avantages et Inconvénients	Durée de traitement	Rendements
Pompage-écrémage	Pompage des produits flottants sur la nappe	20 à 80	Elimination rapide de la pollution	Durée brève	50 %
Pompage et traitement	Entraînement des polluants avec l'eau	20 à 160	Risque de dissémination de la pollution	3 à 18 mois	Varie avec la solution lavante
Confinement	Excavation et mise en décharge	600 à 1000	Isole la pollution, Dégradation du sol		
Stabilisation	Injection de produits liants pour fixer la pollution	20 à 200	Technique désuète Dégradation du sol		
Incinération	Incinération en four tournant à haute température	270 à 1100	Technique efficace mais coûteuse et toxicité des fumées émises		Jusqu'à 99 %
Vitrification	Fusion du sol	180 à 400	Pas de réapparition de tapis végétal	Rapide : 3 à 5 t.h ⁻¹	
Traitement chimique	Ajout d'oxydants pour les rendre moins nocifs	10 à 100	Procédé non spécifique		50 à 95 % suivant le HAP
Bioterre et Landfarming		45 à 80	Facile à mettre en oeuvre et à contrôler, mais peu rapide	12 à 24 mois	Jusqu'à 80 % suivant le HAP

II.2.4.1 Techniques physiques

II.2.4.1.1 Procédés par piégeage

II.2.4.1.1.1 Confinement

Le confinement consiste à isoler la source de pollution à l'aide de matériaux argileux et/ou synthétiques. Ils sont utilisés en couverture, en parois verticales et horizontales. En règle générale, le site est recouvert de manière à éviter le lessivage et reste sous surveillance à l'aide de piézomètres [35].

II.2.4.1.1.1 Solidification-stabilisation

La solidification-stabilisation s'applique principalement sur des sols excavés. La solidification consiste à mélanger un liant et de l'eau au sol pollué afin d'obtenir un matériau dur, très peu perméable et stable dans le temps, au sein duquel le polluant sera piégé. La stabilisation consiste à réduire la mobilité d'un polluant dans le sol. Avec ces deux techniques, les polluants ne sont pas détruits mais les risques pour l'environnement sont réduits.[36]

II.2.4.1.2 Procédés par évacuation

II.2.4.1.2.1 Excavation

L'excavation n'est pas un procédé de traitement proprement dit. En effet, le traitement, quand il a lieu, intervient avant ou après l'excavation. L'excavation est la méthode la plus simple à mettre en œuvre et qui permet de supprimer rapidement une source de pollution locale. Généralement, les terres excavées sont acheminées vers un centre de traitement spécialisé ou vers un centre d'enfouissement technique [37].

II.2.4.1.2.2 Pompage et traitement

Le pompage et traitement permettent de confiner hydrauliquement la pollution et de procéder à une décontamination en surface de l'eau pompée afin de pouvoir la réinjecter. Cette technique nécessite souvent l'ajout de tensioactifs pour favoriser la désorption des HAP [38]. En effet, de nombreux auteurs ont démontré en laboratoire l'inefficacité de cette méthode sans ajout de tensioactifs.

II.2.4.2. Techniques chimiques

Elles ont pour but de détruire les polluants ou de les transformer en une forme moins nocive pour l'environnement, en provoquant des réactions chimiques entre le polluant et le réactif ajouté.[38]

II.2.4.2.1.Méthodes de mobilisation et d'extraction

Le lavage chimique consiste à extraire ou à séparer les polluants d'une matrice contaminée par l'intermédiaire de processus chimiques. Une solution aqueuse, à laquelle peuvent être incorporés divers solvants organiques, est mélangée à la matrice contaminée afin d'y dissoudre, solubiliser et/ou concentrer les contaminants. Le choix des solvants constitue le point clé de toute réussite d'opération de lavage [39].

II.2.4.2.2.Les réactions chimiques

Elles permettent de transformer les polluants en des composés moins toxiques et de mobilité différente. Ce type de traitement est habituellement appliqué sur site. L'oxydation est la seule méthode applicable aux HAP car la réduction ne se fait que sur des produits halogénés.

En pratique, peu d'oxydants peuvent être utilisés car ils sont très sensibles au pH et la forme sous laquelle ils sont disponibles n'est pas nécessairement compatible avec un traitement à grande échelle. Les plus utilisés pour traiter les HAP sont l'ozone (O₃) et le peroxyde d'hydrogène (H₂O₂). Dans tous les cas, les oxydants n'ont pas une action spécifique, et une partie est consommée par des réactions avec la MO des sols, altérant donc ces derniers. Ces réactions induisent un coût supplémentaire [39]

II.2.4.3. Les techniques thermiques

Deux techniques ex situ sont utilisées, l'incinération et la désorption thermique et sont employées pour la décontamination des sols pollués par les produits organiques. Ces technologies consistent à utiliser les hautes températures pour détruire les polluants.

II.2.4.3.1.Incineration

L'incineration est la technique la plus ancienne et repose sur la combustion des déchets du sol. Les hautes températures détruisent les polluants ou les volatilisent. Notons que les métaux demeurent dans les cendres ou les vapeurs. Cette technique est extrêmement coûteuse et les fumées toxiques qui se dégagent lors de la combustion nécessitent d'importants traitements qui engendrent des surcoûts [38].

II.2.4.3.2.Désorption thermique

La désorption thermique consiste, une fois les terres contaminées excavées à les introduire dans une unité de désorption (communément appelée «four») où elles seront chauffées jusqu'à des températures de l'ordre de 500 °C. Cette augmentation de température a deux buts[38]:

- Favoriser la désorption des contaminants fortement adsorbés sur les particules du sol.
- Augmenter la tension de vapeur des composés peu volatils afin de pouvoir les volatiliser et les extraire en phase gazeuse.

II.2.4.4. Les techniques biologiques

Les procédés biologiques permettent de dégrader les polluants par l'action de microorganismes (bactéries, champignons...) et peuvent être utilisés seuls ou en complément d'une autre technique. La décontamination par voie biologique consiste donc à stimuler un phénomène naturel pour en augmenter le rendement afin de détruire le polluant organique qui sera utilisé comme source de carbone.

La décontamination se fait in situ en introduisant dans le sol les éléments nécessaires au développement de la biomasse ou bien ex situ en traitant le sol excavé [39].

II.2.4.4.1.Traitement en réacteur ou Bioslurry

Le principe consiste à réaliser et faciliter la biodégradation dans un contenant installé sur le site, en ajoutant au sol les nutriments nécessaires aux micro-organismes. Le sol est excavé et subit diverses opérations de broyage, tamisage et d'homogénéisation ; il est ensuite mélangé à de l'eau, généralement en proportions de 30 % en poids par rapport au volume et

introduit dans le réacteur par pompage. Différents modes de fonctionnement sont possibles, en continu ou en discontinu. Cette technique s'adresse à des sols pollués par des substances peu biodégradables, type HAP, et pour des sols généralement difficiles à traiter comme les sols argileux [39].

II.2.4.4.2. Bioterre et Landfarming

Le bioterre et le landfarming regroupent toutes les applications qui mettent en œuvre des tas de terre contaminées de différentes hauteurs, y compris ceux qui ont été additionnés de matières végétales (composts). Pour cela, le sol est étalé après excavation sur une grande surface imperméable, sur une épaisseur de quelques dizaines de centimètres et la terre est ensuite retournée avec d'éventuels ajouts favorisant la biodégradation [41]

II.2.4.4.3. Phytoremédiation

Certaines plantes permettent de transformer (phytoremédiation) ou stabiliser (phytostabilisation) les polluants dans les sols. Les racines de celles-ci sont étroitement associées à une microflore bactérienne et fongique [41].

II.2.5. Techniques de traitement utilisées à Hassi Messaoud

À chaque fin de puits, le traitement des déchets de forage est exigé afin de réduire leurs impacts potentiels sur l'homme et l'environnement. Deux méthodes de traitement sont actuellement utilisées à Hassi Messaoud : La solidification-stabilisation et le traitement thermique.[42]

II.2.5.1 Traitement par Solidification-stabilisation

II.2.5.1.1.Principe

Ce procédé consiste à stabiliser au moyen d'un produit chimique (dissilicate de sodium) toute les concentrations d'hydrocarbures et de métaux lourds contenus dans les déblais et a solidifier ces déblais par du laitier de ciment. Ce procédé de traitement est opéré au moyen d'un équipement approprié.

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, du fait qu'a un certain niveau de PH donné, les métaux sont précipités tels les hydroxydes et demeurent en capsulés a l'intérieur de la matrice de l'amalgame ou partiellement insérés dans la structure cristallisée ; ce phénomène est appelé l'encapsulation.

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. [45]

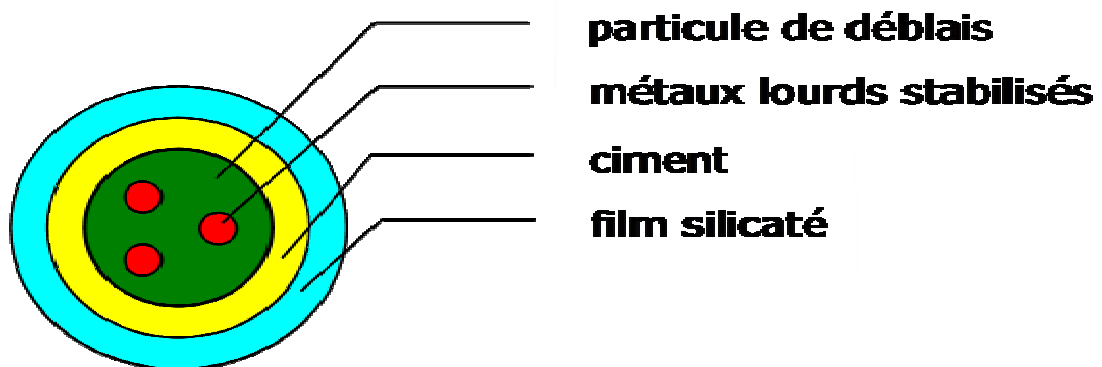


Figure I.6 :Phénomène d'encapsulation

Le dissilicate de sodium étant livré sous forme de granulés solides que l'on solubilise dans l'eau, sa concentration à l'usage varie selon le taux de pollution des sols à traiter.

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 II.5 : Les réactifs utilisés dans le traitement de solidification

Fonction du produit	Nature (composé)	Nom commercial	Concentration (kg/m ³)
Réactifs	Oxyde de calcium 64% Oxyde de silicium 21% Oxyde d'aluminium 5.5% Oxyde de fer 4,5% Oxyde de magnésium 2.4% Sulfates 1.6% Autres 1%	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%

II.2.5.1.2. Descriptions du processus d'opérations

1. Les déblais sont chargés à l'aide d'une pelle mécanique, et déchargés dans la trémie d'alimentation de l'unité, lequel est muni d'un double convoyeur :



Figure II.5 : Chargement des déblais

2. D'ici, les déblais sont conduits mécaniquement par un autre convoyeur oblique vers le mixeur d'inertage, où s'effectue le mélange avec le laitier de ciment et la solution silicatée ;



Figure II.6 : Mixeur d'inertage

3. Le laitier de ciment est préalablement préparé dans un mixeur spécial pour fixer la densité requise en régulant la quantité de ciment nécessaire par rapport à la typologie des sols à traiter. Le laitier de ciment est convoyé par une vis sans fin vers le mixeur d'inertage :

4. La solution silicatée est préalablement préparée dans deux bacs mixeurs spéciaux qui fonctionnent par alternance, et dont le débit est contrôlé par une valve.

La solution silicatée est pompée vers le mixeur d'inertage et l'ajout avec les déblais et le laitier de ciment est effectué par un système de vaporisation :

5. Le mélange (déblais /laitier de ciment/solution silicatée) rejeté par le mixeur d'inertage est versé dans une fosse réceptrice préalablement aménagée :



Figure II.7 : Versement du mélange final dans la fosse réceptrice.

6. Le produit traité est chargé par pelle mécanique puis déposé sur une aire de séchage

7. Après trois jours de séchage, le produit traité ayant atteint le stade de maturation, est prêt à être remblayé vers les bourbiers vidés au moyen d'une pelle mécanique : cette opération ne peut toutefois être effectuée qu'après la réalisation des analyses sur les échantillons traités.

[46]

Les unités de traitement capables de traiter dans la pratique et en moyenne de 120m³ /jour à raison de 20h³ 'heure.



Figure II.8 : Remblayage du cutting traité dans les bourbiers vidés

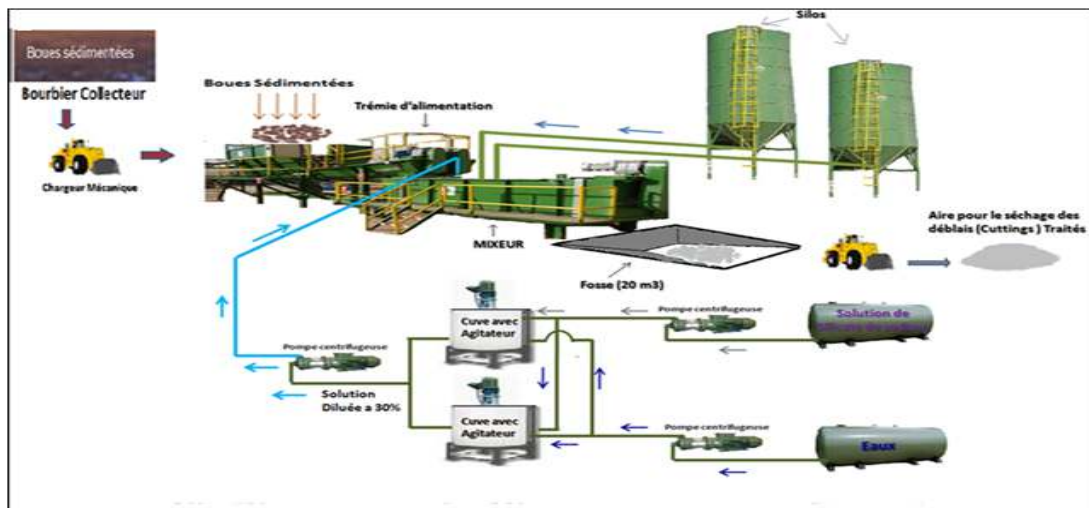


Figure II.9 : présentation du mode de traitement par stabilisation/solidification

II.2.5.1.2.1 Solidification

Le mélange déchet-réactifs doit faire prise dans le temps afin d'obtenir une masse solide. Ce processus permet une transformation du déchet en un solide massif sans modification du potentiel intrinsèque de danger du déchet.

Le but est de conférer au déchet une structure physique massive afin de limiter au maximum la possibilité de sa dispersion dans l'environnement. En effet plus la perméabilité du déchet solidifié est faible et sa surface exposée petite, plus la migration des espèces chimiques solubles est ralentie durant la lixiviation.

Ce résultat est obtenu en utilisant des liants hydrauliques et/ou en activant le déchet si celui-ci est hydrauliquement réactif. [47]

II.2.5.1.2.2 La stabilisation

Les espèces chimiques présentes dans le déchet doivent être immobilisées. Ce processus consiste en une rétention physique et/ou chimique des espèces polluantes dans une matrice solide. En ajoutant les réactifs adéquats, certaines espèces, selon leur nature chimique, peuvent être transformées en composés peu solubles ou retenues par des mécanismes d'adsorption ou d'échange d'ions et par d'autres réactions chimiques. La stabilisation fait donc appel à l'ensemble des traitements physico-chimiques.

Le produit de ces deux fonctions peut limiter la dispersion de polluants dans le milieu naturel. Un des procédés les plus utilisés actuellement consiste à incorporer les déchets ultimes dans une matrice cimentière (liants hydrauliques) qui réalise en même temps la Stabilisation et la Solidification [47]

II.2.5.1.2.3 Un liant hydraulique

C'est une poudre minérale qui forme avec l'eau une pâte faisant prise et durcissant progressivement. Les ciments sont des liants hydrauliques, formés de constituants anhydres, cristallisés ou vitreux. Ils résultent du broyage et de l'homogénéisation de divers composants qui sont essentiellement :

- Clinker, produit obtenu par cuisson (clinkérisation), constitué en majeure partie de silicates et d'aluminates de calcium anhydres :
- Le silicate tricalcique, $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, que l'on écrit C_3S
- Le silicate bicalcique, $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, que l'on écrit C_2S
- L'aluminate tricalcique, $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, que l'on écrit C_3A
- L'alumino-ferrite tétracalcique, $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, que l'on écrit C_4AF ;
- Laitier de haut fourneau, produit granulé obtenu par refroidissement brusque de la scorie en fusion provenant du traitement des minerais de fer en haut fourneau;
- Pouzzolanes, produit d'origine volcanique composé des roches de silice, d'alumine et d'oxyde de fer;
- Cendres volantes, résidu de la combustion en central thermique ayant une teneur élevée en chaux;
- Fillers, produits inertes obtenus par broyage de certaines roches naturelles ou non.
 - Les principales catégories de ciment sont classées ci-après CPA : Ciments Portland Artificiels. Ils contiennent au moins 97 % de clinker et éventuellement 3 % de filler.
 - CPJ : Ciments Portland composés. Ils sont constitués d'au moins 65 % de clinker, le reste étant l'un ou plusieurs des constituants énumérés ci-dessus.
 - CLC : Ciments au laitier et aux cendres. Ils contiennent 25-60% de clinker, 20-45% de cendres volantes et 20-45% de laitier avec 3% de filler.
 - CHF : Ciments de haut fourneau. Ces ciments contiennent entre 40-75% de laitier, 3% de filler, le reste étant du clinker.

CLK : Ciments de laitier au clinker. Ils contiennent au moins 80% de laitier, 3% de filler, le reste étant du clinker.[49]

L'hydratation du ciment est complexe. Les mécanismes de l'hydratation des ciments Portland ont été les plus étudiés.

Lorsque du ciment est mélangé avec de l'eau dans les proportions adéquates, les constituants anhydres se transforment en composés hydratés. Deux mécanismes d'hydratation peuvent être observés. Le premier se passe en solution, les composés cimentiers se dissolvent en ions dans la solution et de nouveaux composés se forment par précipitation. Le second correspond à des réactions à l'état solide, les composés réagissent avec les précipités en phase solide.

Hydratation du ciment en présence de polluant

Les liants hydrauliques les plus utilisés pour la stabilisation/solidification des déchets sont des ciments Portland, des ciments de laitier au clinker et d'autres déchets ayant une propriété pouzzolanique. L'hydratation du ciment en présence des déchets contenant des polluants est complexe.

Pendant l'hydratation du ciment deux principaux phénomènes ont lieu. Le premier, les espèces polluantes sont piégées dans la structure du ciment, cela diminue physiquement leur mobilité.

Le second, elles peuvent réagir avec une autre espèce cimentière pendant les réactions de l'hydratation, cela peut changer la spéciation chimique et les rendre moins solubles et moins mobiles. Les principaux phénomènes d'immobilisation des constituants contenus dans les déchets sont les suivants:[47]

- Absorption des ions dans et adsorption sur la surface de C-S-H
- Précipitation des hydroxydes insolubles grâce à la grande alcalinité de la matrice cimentière
- Incorporation dans des composés cristallins de ciments hydratés ;
- toutes les réactions possibles sont résumées dans le Tableau.
- Développement de silicates hydratés, de sels basiques contenant du calcium, etc.

Tableau II.6 : Modes d'incorporation

Mode d'incorporation	Exemple
Substitution du calcium	Sr, Ba, Pb
Substitution de l'hydroxyle	Br ⁻ , I ⁻
Substitution du SO ₄	CrO ₄ ²⁻ , SeO ₄ ²⁻ , etc.
Occupation dans les micropores	molécules organiques

Les silicates de soude

Silicates de soude utilisés comme additifs dans les procédés de solidification/stabilisation. Une solution de silicate de soude est alcaline par nature (pH entre 11 et 13).

Les acides, les chlorures, bicarbonates, certains organiques et les sels de métaux lourds comme le Ca, le Cu ou le Pb, réagissent avec les silicates de soude pour former des gels amorphes. Ce type de gel est assez instable. Ces gels ont une grande surface spécifique et peuvent agir en tant qu'absorbants spécifiques. Avec le temps, le gel se contracte, craque et se dissout facilement dans une solution fortement alcaline.

Le phénomène de contraction est le mécanisme le plus important de la détérioration des gels de silicates. Leur durée de vie est limitée au contact de l'air ou d'un sol basique.[49]

II.2.5.1.3. Avantages et inconvénients du procédé

Avantages

- Processus simple et facilement adaptable à la plupart des endroits,
- Bas coût de la main-d'œuvre,
- Réduction de la lixiviation des métaux lourds par rapport aux solides non traités,
- Stabilisation des métaux lourds,

Inconvénients

- Les hydrocarbures, les sels et les métaux lourds ne sont pas éliminés,
- Possibilité de réapparition des hydrocarbures, des sels et des métaux lourds qui ne sont pas éliminés,
- Les sels et les hydrocarbures affaiblissent la matrice ce qui augmente la possibilité de lixiviation,
- Les matériaux de réparation peuvent avoir des concentrations élevées en métaux lourds,
- Le volume des déchets est potentiellement augmenté,
- Les systèmes basés sur le ciment ne sont pas applicables à des solides contenant des teneurs élevées en matières organiques,

Augmentation des coûts si les déchets traités sont transportés par un autre service de disposition

II.2.5.2 Traitement Thermique

II.2.5.2.1.Principe

Les rejets (cuttings de forage) sont transportés à partir des bourniers vers l'unité de traitement à l'aide des camions, et stockés dans un bassin bétonné pour éviter la contamination des sols.

Ce type de traitement permet de traiter les cuttings. de récupérer le gasoil, et l'eau.

Les cuttings sont transportés à l'aide d'un rétro chargeur vers une grille qui retient tout élément dont le diamètre est supérieur à 10 cm tels que (le plastique, les pierres...).

Les cuttings sont, ensuite, convoyés vers le débourber. four rotatif contenant quatre brûleurs alimentés au gasoil (souvent récupéré du processus). Les déblais de forage sont portés à des températures comprises entre 250°C et 550°C, selon les types de contaminants en présence.

Elles séjournent une vingtaine de minutes en moyenne dans le four et 2 à 3 minutes à des températures supérieures à la température de volatilisation des polluants organiques présents dans les déblais contaminés. Dans ces conditions, les polluants organiques sont transformés en phase gazeuse et. Donc, séparés des terres. Les terres traitées sont recueillies en aval du four. [49]

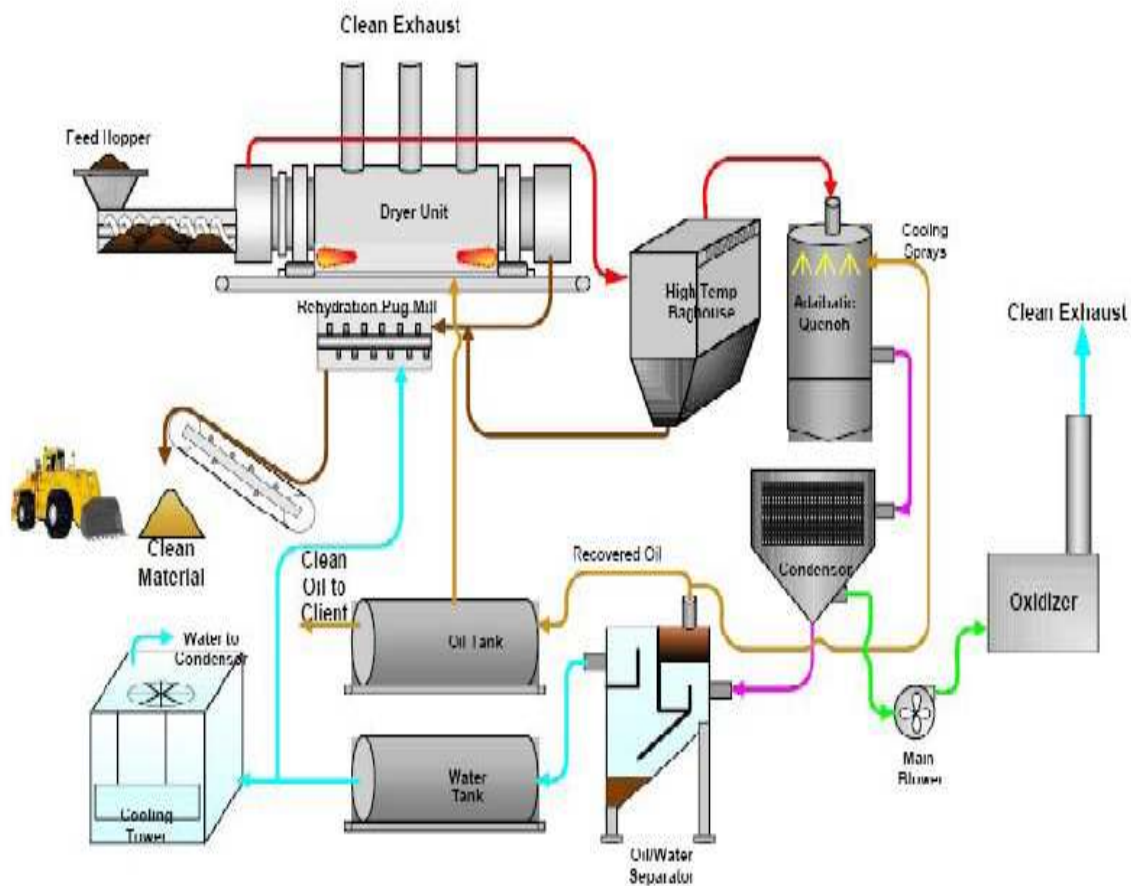


Figure II.8 : Présentation du mode de traitement thermique.



Figure II.9: Rejets traités par traitement thermique

Les sols dépollués contiennent une quantité inférieure à 1% de OOC%(en niasse).Les résidus sont refroidis et humectés pour éviter toute émission de poussière dans l'atmosphère pour protéger le personnel des risques d'inhalation de ces poussières ;

Les émanations de gaz sont refoulées vers des filtres afin d'éliminer toute trace de poussière, ensuite liquéfiées et cela par refroidissement dans deux condensateurs ou l'on a séparation physique de l'eau, de l'huile et des gaz toxiques tels que le monoxyde d'azote NO, le monoxyde de carbone CO et le dioxyde de carbone CO₂; ces derniers subissent une oxydation totale avant d'être évacués ;

- L'huile (gasoil) récupérée est réutilisée pour l'alimentation des brûleurs ;
- Les sols dépollués sont déposés dans des fosses ou peuvent éventuellement faire l'objet d'une valorisation ;
- L'eau récupérée sera utilisée à plusieurs fins telle que :
 - Le refroidissement des polluants présent dans les condensateurs ;
 - Le nettoyage ;
 - L'alimentation des circuits de sécurité en cas de feu ;
- L'humidification des sols dépollués. [48].

II.2.5.2.2. Avantages et inconvénients du procédé

II.2.5.2.2.1 Avantages

- Une technologie très performante,
- Un très haut taux de traitement,
- Efficacité de désorption de 99%,
- Équipement capable de traiter jusqu'à 10 tonnes de déblais par heure.

II.2.5.2.2.1 Inconvénients

- Les installations sont encombrantes et très coûteuses et requièrent un grand nombre d'opérateurs,
- Les coûts de traitement s'élèvent en moyenne à 300 \$ US pour le mètre cube de solides traités,
- La désorption thermique ne serait pas un bon choix pour le traitement des contaminants tels que les sels minéraux et les métaux lourds,
- Les températures élevées peuvent mener à l'explosion,
- Les problèmes de contrôle des émissions d'air sont très fréquents,
- Les émissions d'air du processus peuvent contenir des hydrocarbures,
- Le sol traité par désorption thermique ne peut plus soutenir l'activité microbiologique qui décompose les contaminants,
- Le coût pour résoudre le problème de la pollution atmosphérique et des problèmes de sûreté est très élevé.
- La perception publique de la désorption a généralement été défavorable

III.1 Introduction :

Sur le champ de Hassi Messaoud, à l'exception de la première phase, qui est forée avec une boue bentonitique (WBM), la totalité du puits est forée avec une boue à l'huile émulsionnée inverse (OBM) à différents rapports Huile/Eau. Bien que les systèmes WBM assurent souvent les principales fonctions, leur efficacité et/ou rentabilité sont souvent critiquées du point de vue de l'avancement de l'opération de forage et de la stabilité des parois argileuses : ils ne peuvent jamais atteindre les performances des fluides émulsionnés (OBM), alors que ces derniers sont surtout critiqués du point de vue de la pollution et de leur impact sur l'environnement du moment que les premiers travaux réalisés ont montré que les hydrocarbures sont la principale source de pollution des sites de forage et de production.

Le diagnostic des techniques de traitement utilisées actuellement au niveau de l'activité Amont pour la réhabilitation des sols pollués par les hydrocarbures, a montré des imperfections majeures pouvant induire des nuisances pour la santé de l'homme, l'écosystème et l'environnement.

En plus, pour que les déblais puissent être traités par solidification ou par traitement thermique, ils doivent contenir moyennement:[11]

- 15 % en poids d'huile issus de la boue.
- 15 % en poids d'eau issus de la boue.
- 70 % de solides issus de la formation et de la boue.

Ces conditions ne correspondent pas aux résidus du procédé d'inertage ON-LINE réalisé en parallèle avec les opérations de forage.

Pour remédier à toutes ces difficultés, nous proposons dans cette étude une alternative de traitement qui consiste en la solidification et la stabilisation des déblais de forage.

Le présent chapitre traite :

- D'une part, l'étude de la résistance du ciment autant que liant hydraulique assemblé avec d'autres additifs.
- D'autre part, la faisabilité d'incorporation des déblais traités dans des matrices de ciment hydraté, dans l'objectif d'atteindre un pourcentage d'hydrocarbures résiduels dans les déblais de forage inférieur à 5 %.

III.2 Matériels et méthodes expérimentales

III.2.1 Résistance à la compression libre

Le but de cette analyse est l'évaluation de la capacité du solide (matrice de ciment) à résister aux forces externes à savoir la simulation des attaques telles que les pluies acides sur les cuttings solidifiés et leur durée de vie.

Pour les matériaux de construction, les propriétés de perméabilité, durabilité, résistance à la compression sont intimement liées (car ils sont en fonction de la porosité).

Le test de la résistance à la compression est réalisé sur des échantillons cubiques ou cylindriques à l'aide d'une presse hydraulique de laboratoire « CARVER » de type « C ».

Nos analyses ont été effectuées sur des échantillons cubiques de cinq centimètres d'arête.

Les moules utilisés pour la réalisation des cubes d'essais doivent être en acier ou en bronze avec des surfaces intérieures parallèles entre elles et soigneusement lissées pour une bonne sauvegarde de l'homogénéité des surfaces des cubes. Chaque moule devra reposer sur un socle métallique ajusté pour éviter toute fuite. Les deux devront être légèrement huilés pour éviter l'adhérence de l'échantillon cimenté sur les côtés.

III.2.2 Distillation

Le distillateur utilisé dans cette expérience est le distillateur à boue de 50 cc de contenance godet. (Rotor)

Cette distillation a pour but d'évaluer le pourcentage massique d'huile, Selon les étapes suivantes :

- Remplir le godet de l'échantillon à distiller après l'avoir séparé de la cellule ;
- Remplir la cellule de laine de fer et la visser au godet ;
- Relier le tout au condenseur et le placer dans la chambre de chauffage ;
- Placer une éprouvette graduée sous le tube de sortie du condenseur ;
- Relier le distillateur à une source de courant appropriée.
- Laisser monter en température jusqu'à 900°F

Les résultats seront évalués comme suit :

Pourcentage massique de l'huile = [(masse de l'huile / masse de la prise d'essais)] x 100



FigureIII.1 : Distillateur à boue (ROTOR)

III.2.3 Test de simulation à la lixiviation

Le principal risque de pollution causé par les déblais de forage réside dans l'entraînement par les eaux d'éléments polluants ou toxiques contenus dans les déchets.

La caractérisation des déchets doit donc privilégier l'étude des interactions entre l'eau et le déchet. L'essai de lixiviation est mis en œuvre dans des conditions conventionnelles.

Il est impératif de garder à l'esprit que le résultat d'essai (obtenu par l'application de la présente norme) ne peut être substitué aux études d'impact sur l'environnement quand elles sont nécessaires, ni à la détermination du comportement à long terme.

Cet essai décrit une méthode permettant l'obtention de la fraction solubilisée élément par élément d'un échantillon de déchets dans des solutions aqueuses se prêtant à des caractéristiques analytiques.

III.2.3.1 Principe

L'échantillon pour essai est mis en contact avec une solution aqueuse sous agitation permanente. Au terme de l'opération, les matériaux résiduels et la solution (dite éluat) sont séparés. L'éluat est alors prêt pour d'éventuelles analyses.

III.2.3.2 Réactifs et appareillage

Pour la réalisation de l'essai, nous avons besoin de :

- Solution de lixiviation (eau acidifiée à l'acide acétique (pH= 3)) ;
- Balance analytique ;
- Flacon cylindrique (en verre ou en polyéthylène d'un volume minimal de 0.5 litres) ;
- Etuve Rotative (agitateur à tambours rotatifs permettant la mise en mouvement alternatif linéaire) ; le dispositif de filtration est sous pression.

III.2.3.3 Mode opératoire

- Déterminer la masse exacte de la prise d'essai (PE=25 g).
- Introduire dans le flacon, un volume de 250 ml de l'eau acidifiée à pH = 3.
- Ajouter sous agitation manuelle l'échantillon solide et mettre immédiatement le flacon en agitation permanente et régulière (150 tr/min) à température ambiante pendant 24 heures pour une lixiviation unique.
- Filtrer la solution et la conserver au frais dans des flacons en verre ambrés.



Figure III.2 : Etuve rotative

III.2.3.4 Procédure de séparation de l'éluât et des cuttings résiduels

- Au terme de l'opération précédente, le contenu du flacon est soumis à une filtration sous une pression relative de 5 bars pendant une durée maximale de 10 minutes, à l'aide du dispositif de filtration (Filtre presse de type API).
- Le volume de la phase aqueuse recueillie constituant l'éluât est prêt pour toute opération de caractérisation.
- La phase solide (culot de centrifugation ou gâteau de filtration) est disponible pour d'autres opérations de lixiviation successives.



Figure III.3 : Filtre presse API

III.2.4 Test de simulation à l'attaque à l'acide

Le but dans cette expérience est d'étudier l'influence de la solution acide sur la résistance de nos cuttings traités (solidifiés), soit une simulation des pluies acides résultantes de l'atmosphère chargée à cause de l'industrie pétrolière dans la région de HASSI MESSAOUD.

L'échantillon pour essai est immergé complètement dans la solution acide, avec un temps de contact d'environ 4 heures tout en sachant que la pluviométrie de la région de Hassi Messaoud est bien inférieur à cette durée.

En fin de l'opération, l'échantillon, après séchage à l'air libre durant 24 heures, est soumis à un test d'écrasement afin de déterminer sa force de résistance.

III.2.4.1 Réactifs et appareillage

Pour la réalisation de l'essai, nous avons besoin de :

- Solution de lixiviation (eau acidifiée à l'acide acétique (pH= 3)) ;
- Becher de 1000 ml ;
- Dispositif d'agitation (secoueur de paillasse);

III.2.4.2 Mode opératoire

- Mettre l'échantillon dans un bécher d'un 1L ;
- Remplir le bécher avec la solution acide déjà préparé (acide acétique (pH = 3)) ;
- Laisser le mélange en contacte durant 4h ;
- A l'issue de la période de mise en contact, enlever le flacon et appliquer immédiatement un test de résistance à la compression.

III.2.5 Tests pétro-physiques (porosité et perméabilité)

Un relâchement des contaminants du déchet solidifié est possible, lors de la diffusion moléculaire dans la masse de la matrice solidifiée ou au passage d'un flux de solution au travers de cette matrice, donc la mesure de perméabilité est importante.

La perméabilité d'une roche caractérise son aptitude à permettre l'écoulement des fluides contenus dans son espace poreux. Ce dernier ne permet le déplacement des fluides que dans la mesure où ses pores sont reliés entre eux ; je dis alors qu'il est perméable. [17]

III.2.5.1 Mesure de la perméabilité au laboratoire :

Les mesures de perméabilité s'effectuent sur les plugs de 1" pouce et de 12' pouce à l'aide d'un perméamètre (à 200 psi) ou bien ultraperméamètre (à 400 psi) de type corelab INC.

III.2.5.2 Mode et appareillage:

- Deux manomètres gradués, un pour la lecture du mercure et l'autre pour la hauteur d'eau.
- Une cellule porte échantillon constituée à l'intérieur d'une membrane (tubing) en caoutchouc. Cette dernière a pour rôle de maintenir l'échantillon sous une pression de 200 psi (pression de sertissage).
- D'orifices différent vari de 0.030 jusqu'à 20.492.

III.2.5.3 Procédure :

Après le lavage e, séchage de l'échantillon, on le place dans un coreholder, on applique une pression de 200 Psi, appelée pression de sertissage ; à l'aide d'une gouge, on exerce une pression de 80 psi, le gaz pénètre à l'intérieur de l'échantillon, il en résulte donc une différence de pression qui va se refléter à travers la variation de la hauteur d'eau ou bien du mercure dans le manomètre.

Si l'écoulement de gaz azote est rapide dépassant les 200 psi (écoulement turbulent), on stabilise la hauteur d'eau et on prend celle du mercure.

Lois de perméabilité:

D'après la loi de Darcy appliquée aux gaz, la perméabilité est donnée comme suit :

$$K_a = C \times L \times \text{Orifice} \times (H_w / A) \times 200$$

Ou:

K_a : perméabilité absolue.

C : constant mercure (60)

Q : débit (orifice 0.030 ; 0.150 ; 0.500 ; 2.048 ; 5.682 ; 10 ; 20.492).

L : longueur de l'échantillon.

H_w : hauteur de l'eau lue directement sur le manomètre. A : surface de la section traversée par le gaz.

A l'aide du logiciel winpore, on peut corriger la perméabilité obtenue (perméabilité au gaz) à (perméabilité au liquide), et cela par l'effet de Klimberg :

$$K_g = K_a + K_a \times (B / P_m)$$

Ou :

K_a : perméabilité absolue.

B : constant de klimberg

P_m : pression moyenne $[(P_1 + P_2)/2]$

III.2.6 Spectroscopie à transformée de Fourier (FTIR ou IRTF)[50]

C'est une technique très compétitive par rapport aux autres techniques.

Toutes les fréquences de la source infrarouge sont traitées ensemble sans sélection préalable, ce qui permet de capter le spectre entier en moins d'une seconde.

L'FTIR permet de mesurer les absorbances d'énergie des liaisons chimiques de tous les composants présents dans les produits analysés et de les corrélés à leurs concentrations, puisque l'intensité de l'absorption est directement proportionnelle à la concentration de la molécule considérée.

III.2.6.1 Principe

La transformée de Fourier est une procédure mathématique qui permet de décomposer un interférogramme en une somme de fonctions sinusoïdale, représentant chacune une onde donnée.

La fréquence et l'amplitude de ces ondes sont calculées à partir des données de l'interferogramme.

En quelques secondes, l'interférogramme est recueilli par le spectromètre, traité par le calcul de la transformation de Fourier et converti pour donner le spectre entier de l'échantillon.

A partir de là, il faut revenir à la théorie générale de la spectrométrie, de l'intensité lumineuse, de la transmission, de l'absorption et de leurs relations avec les éléments constitutifs d'un échantillon.

Cette analyse est très significative, car elle permet, non seulement d'identifier le contaminant hydrocarbure (gasoil) mais aussi sa quantité (concentration).



Figure III.4 : Spectromètre à transformée de Fourier (FTIR)

III.2.7 Spectroscopie d'Adsorption Atomique (SAA) [51]

La spectrométrie par absorption permet de doser une soixantaine d'éléments chimiques à l'état de traces (quelques mg/litre). L'analyse se base sur l'absorption de photons par des atomes à l'état fondamental, et on utilise à cet effet en général des solutions sauf dans le cas des hydrures. Une préparation est donc souvent nécessaire : dissolution d'un alliage par exemple.

III.2.7.1 Principe

Suivant la règle de Bohr, Dans le cas particulier de l'absorption atomique, on travaille sur des atomes libres à l'état fondamental ($W_i = 0$): ces atomes peuvent absorber des photons et passer ainsi à leurs différents états excités peu nombreux à cause des règles de sélection qui interdisent le nombre total de combinaisons que l'on pourrait réaliser entre les états excités et l'état fondamental.

Pour un atome, on peut donc faire de l'absorption sur les raies qui correspondent au passage état fondamental - états excités, mais avec une sensibilité différente liée aux coefficients d'Einstein différents pour chaque niveau excité. Ces raies sont appelées raies de résonance bien que l'on réserve quelquefois cette appellation à la plus sensible d'entre elles.



Figure III.5 : Spectrophotométrie d'Absorption Atomique (SAA)

III.3 Optimisation de la quantité d'eau pour l'hydratation du ciment

- Prendre 10 g de ciment, l'introduire dans une éprouvette, ajouter de l'eau continuellement avec un pas d'1ml tout en gardant une agitation manuelle jusqu'à hydratation totale de la quantité du ciment observée à l'œil nu.
 - Laisser au repos pendant 15 minutes, jusqu'à la remontée maximale du surplus du volume d'eau sous forme d'un surnageant.
 - Quantifier le volume du surplus.
- Refaire l'expérience trois fois

$$\text{Volume d'hydratation} = \text{volume versé} - \text{volume du surnageant}$$

D'où :

V_h : volume moyen d'hydratation ;

V_v : volume versé ;

V_1 , V_2 et V_3 ; volumes des surnageant des trois expérience

Tableau III.1 : estimation du volume nécessaire à hydrater 10g de ciment

	Volume versé (V_v)	Volume surnageant (V)	Volume d'hydratation (V_h)
Expérience 1	7ml	2 ml	5ml
Expérience 2	6ml	1 ml	5ml
Expérience 3	6ml	1 ml	5ml

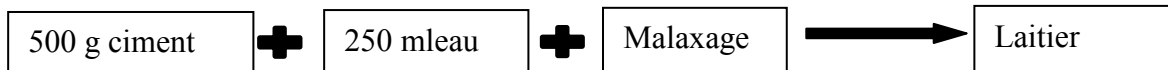
Le volume d'eau nécessaire exacte pour l'hydratation de 10 g de ciment est égale à 5ml, soit la moitié de son poids.

$$\text{Volume d'eau pour l'hydratation} = \frac{1}{2} (\text{la masse du ciment})$$

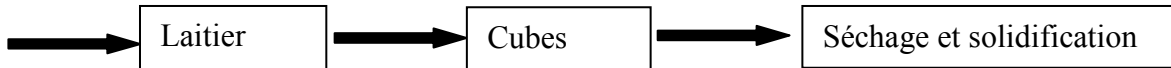
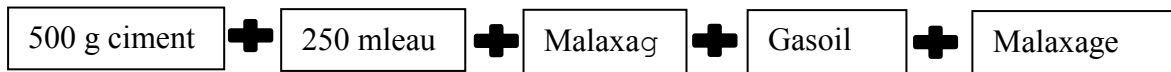
III.4 Préparation des échantillons

Lors de cette étude, on doit préparer 5 cubes, 1 cube pour la résistance à la compression, 1 cube pour les tests pétro-physiques, 1 cube pour l'attaque à l'acide et les deux cubes restants sont réservés comme des cubes de secours.

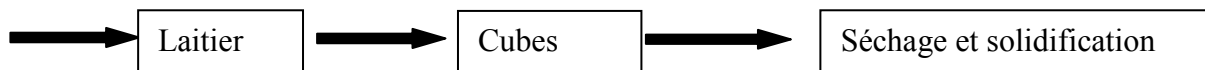
III.4.1 Echantillons références ciment



III.4.2 Echantillons ciment avec hydrocarbure [HC](gasoil)



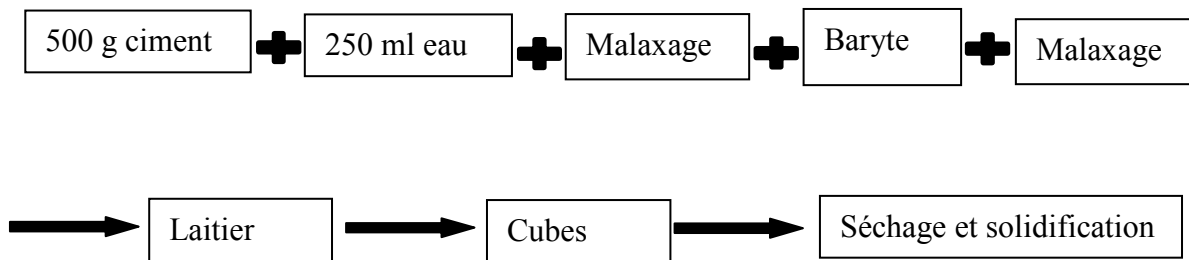
III.4.3 Echantillons ciment avec sable



III.4.4 Echantillons ciment avec baryte

La baryte est le seul composant inerte dans la formulation de la boue de forage, elle n'entre dans aucune interaction, son seul rôle est de donner un aspect alourdissant à la boue.

Suite à son inertie, la baryte se retrouve dans les déblais après la fin du forage. Pour cela il est nécessaire d'évaluer son influence sur le procédé de traitement des déblais de forage.



III.5 Echantillonnage et caractérisation des cuttings bruts

L'échantillon de cuttings a été prélevé du champ HMD, le 03/05/2013 à 14 H, juste avant leur passage au traitement par solidification par la compagnie égyptienne « Environmental Solution ». Les cuttings sont issus de la phase 16 pouces, d'une profondeur d'environ 2300 m du forage du puits « OMH511 ».

La caractérisation des déchets constitue un élément indispensable de l'appréciation des possibilités de leur destination finale

III.5.1 Nature granulométrique des cuttings

Etant donné que le forage passe par différentes formations rocheuses, la nature granulométrique des cuttings n'a pas été définie, vu l'extrême hétérogénéité de l'échantillon rendant complexe la détermination de sa nature granulométrique.

III.5.2 Evaluation de la contamination des cuttings
III.4.2.1 Evaluation du pourcentage d'hydrocarbures

La fraction hydrocarbure est déterminée en pourcentage massique par distillation, à l'aide d'un distillateur à boue API (type Rotor) selon le procédé décrit au par-avant :

Pour l'évaluation du pourcentage massique d'huile, nous rapporterons les volumes d'huile et d'eau recueillies sur le tableau suivant :

$$\text{Pourcentage massique de l'huile} = \left[\frac{\text{masse de l'huile}}{\text{masse de la prise d'essais}} \right] \times 100$$

Tableau III.2 : évaluation du pourcentage d'huile par distillation

Masse du godet vide (g)	297,63
Masse du godet plein (g)	357,93
Volume d'eau recueilli (cc)	23
Volume d'huile recueilli (cc)	17,5
Masse de l'éprouvette vide(g)	83,4
Masse de l'éprouvette avec le distillât(g)	121,03
Masse d'huile exprimée en (g)	18,38
Masse du distillât (g)	17,63
La prise d'essai (g)	60,95
pourcentage d'huile en poids (%)	30,15

$$\text{Pourcentage d'huile en poids (\%)} = 30,15\%$$

III.4.2.2 Evaluation de la contamination par les métaux lourds

A cet effet ,l'analyse et la détermination des concentrations des différents métaux lourds présents dans les déblais de forage est basée sur le test de simulation à la lixiviation, basée à son tours sur la technique SAA (Spectrophotométrie d'Absorption Atomique).

Les résultats de l' SAA sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau III.3 : Concentrations des différents métaux lourds dans l'échantillon brut

Eléments	Méthode d'analyse	Résultat d'analyse	Valeur limite
Cr (mg Kg)	SAA	0,2033	50
Pb (mg Kg)	SAA	0,2957	50
Zn (mg Kg)	SAA	0,1930	250
Cd (mg Kg)	SAA	0,1109	25

III.4.2.3 Caractérisation globale de l'échantillon

Tableau III.4 : évaluation finale de la contamination de l'échantillon

Eléments	Méthode d'analyse	Résultat d'analyse	Valeur limite
Hydrocarbures (%)	FTIR	30,15	<5
Cr (m) (mg Kg)	SAA	0,2033	50
Pb (mg / Kg)	SAA	0,2957	50
Zn (mg / Kg)	SAA	0,1930	250
Cd (mg / Kg)	SAA	0,1109	25

Annexe

Traitement de la pollution engendrée par les fluides de forage

I. Réglementation Algérienne en matière de contrôle d'effluents industriels

Article 6 :

Au titre de l'autocontrôle et de l'auto-surveillance, les exploitants d'installations générant des rejets d'effluents liquides industriels doivent tenir un registre où sont consignés la date et les résultats des analyses qu'ils effectuent selon des modalités fixées par arrêté du ministre chargé de l'environnement et, le cas échéant, du ministre chargé du secteur concerné.

Les mesures sont effectuées sous la responsabilité de l'exploitant et à ses frais dans les conditions fixées par la réglementation en vigueur.

Article 8 :

Les services habilités en la matière effectuent des contrôles périodiques et ou inopinés des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des rejets d'effluents liquides industriels visant à s'assurer de leur conformité aux valeurs limites fixées par le décret (voir annexe 2).

Article 9 :

Le contrôle des rejets comporte un examen des lieux, des mesures et analyses opérées sur place et des prélèvements d'échantillons aux fins d'analyses.

Article 10 :

L'exploitant de l'installation concernée est tenu d'expliquer, commenter ou fonder tout dépassement éventuellement constaté et fournir les actions collectives mises en œuvre ou envisagées.

Traitement de la pollution engendrée par les fluides de forage

II. Résultats d'analyse d'une eau de puits de la région de Hassi Messaoud

Eléments	mg/l	méq
Calcium (Ca ++)	232,3	11,59
Magnésium (Mg++)	86,82	7,14
Sodium (Na+)	764,00	33,22
Potassium (K+)	33,22	0,85
Fer (Fe++)	0,03	0,00
Chlorures (Cl-)	1094,73	30,88
Sulfates (SO4--)	980,00	20,42
Hydroxydes (OH-)	0,00	0,00
Carbonates (CO3-)	0,00	0,00
Bicarbonates (HCO3-)	251.02	4.12
pH		7,66
Salinité totale	g/l	2,30
Conductivité	mS/cm	4,48
Turbidité	NTU	0,43
Dureté totale	ppm de CaCO3	936,00
Dureté totale	degrés français	93,66
Titre alcalimétrique complet TAC	ppm CaCO3	205,75
Titre alcalimétrique complet TAC	degrés français	20,57
Solides totaux dissous (TDS)	mg/l	3260,00

Traitement de la pollution engendrée par les fluides de forage

III. Valeurs limites maximales des paramètres de rejet des installations de déversement industrielles

PARAMETRES	UNITES	VALEURS MAX
TEMPERATURE	°C	30
pH	/	5.5 à 8.5
MES	mg/l	30
DB05	mg/l	40
DCO	mg/l	120
AZOTE KJEDHAL	mg/l	40
PHOSPHATES	mg/l	02
CYANURE	mg/l	0.1
ALUMINIUM	mg/l	05
CADMIUM	mg/l	0,2
CHROME 3+	mg/l	03
CHROME 6+	mg/l	0,1
FER	mg/l	05
MANGANESE	mg/l	01
MERCURE	mg/l	0,01
PLOMB	mg/l	01
CUIVRE	mg/l	03
ZINC	mg/l	05
NICKEL	mg/l	05
HUILES ET GRAISSES	me/l	20
HYDROCARBURES	me/l	20
PHENOLS	mg/l	0.5
SOLVANT ORGANIQUE	me/l	20
CHLORE ACTIF	mg/l	01

Traitement de la pollution engendrée par les fluides de forage

IV. Calibrage des silicates.

Le Silicate est fourni de chez les fabricant avec les caractéristiques suivantes :

- En Solution
- Avec une Concentration de 45 %
- Avec une masse volumique 1.54 kg/l

Dilution de la solution de 45% à 30 % :

Dans le procédé de solidification/stabilisation, le silicate de sodium est utilisé avec une concentration de 30%.

1L \longrightarrow 1.54 kg contient 0.69 kg silicate

$0.69/30 \times 100 = 2.31$ kg solution 30%

- Volume d'eau ajouté = $2.31 - 1.54 = 0.77$ litres
- Volume de la solution finale = $1 + 0.77 = 1.77$ litre
- Concentration des silicate = $0.69/1.77 = 0.39$ kg/l
-

V. Mécanisme de l'action des silicates sur les hydrocarbures et les métaux lourds

