

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université SAAD DAHLEB de Blida



Faculté des sciences

Département de chimie



Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master II
en chimie moléculaire Option : chimie organique

Thème :

*Traitement des rejets de forage :
Analyse et Amélioration du Procédé de traitement
par solidification*

Présenté par : BOUDOUH Mohamed Lamine

Soutenu le : 29 septembre 2013

Examineurs :

A. Boulahouache	Directeur de mémoire	USDB
M. Kars	Président	USDB
Pr. M. Zouikri	Examineur	USDB
S. Ait Soura née NECIB	Encadreur	CRD HMD

Année Universitaire 2012/2013

MA-540-52-1



أظهرت الاعمال الأولية أن الهيدروكربونات هي المصدر الرئيسي للتلوث من مواقع الحفر والإنتاج. العلاج والرعاية يتطلب تحليل شامل للحفر وأنظمة السوائل المستخدمة والطرق المعتمدة للعلاج. في هذه الدراسة قمنا بتقييم أساليب العلاج المستخدمة في حاسي مسعود، الامتزاز الحراري والاستقرار / التصلب فيما يتعلق بفعاليتها ومن ثم الحل الأمثل لتحقيق الاستقرار للعلاج / تجمد لتقييم مدى صلاحيتها مع مرور الوقت.

الكلمات الدالة : النفايات التلوث البترولي. المعايير. الحفر. المعالجة الميكانيكية. المعالجة الحرارية. المعالجة الكيميائية. التثبيت التصلب نسبة الزيت

Résume :

Les premiers travaux réalisés ont montré que les hydrocarbures sont la principale source de pollution des sites de forage et de production. La bonne prise en charge du traitement des bourbiers nécessite une analyse globale des systèmes de fluides de forage utilisés et des procédés de traitement adoptés.

Dans cette étude on a évalué les méthodes de traitement utilisées à Hassi Messaoud, désorption thermique et stabilisation/solidification par rapport à leur efficacité , par la suite nous avons optimisé le procédé de traitement par Stabilisation / Solidification pour évaluer sa validité avec le temps.

Mots clés : traitement des rejets, pollution pétrolière, normes, forage, traitement mécanique, traitement thermique, traitement chimique, stabilisation, solidification, teneur en hydrocarbures.

Abstract:

The first completed works showed that the hydrocarbons are the main source of pollution of the sites of drilling and production. The good assumption of responsibility of treatment of the mud pits requires a total analysis of the systems of flushing fluids used and adopted processes of treatment. In this study we estimated the methods of treatment used to Hassi Messaoud, thermal desorption and stabilization / solidification with regard to their efficiency, afterward we have optimized the treatment process by Stabilization / Solidification to estimate its validity in time.

The key words: treatment of cuttings, the pollution, the norms ,drilling cuttings, thermal desorption unit, vortex ,stabilization, well cuttings

Remerciements

Ce mémoire, ne pourrait exister sans l'aide et l'engagement d'un certain nombre de personnes qui ont décidé de nous accompagner résolument dans notre parcours.

Que tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué par leurs conseils, leurs encouragements et leur assistance à l'aboutissement de ce travail, trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

Nous tenons à remercier avant tout l'ensemble de nos professeurs de l'USDB, qui ont grandement contribué à notre travail sans oublier MR boulahouache notre promoteur, pour les efforts qu'il n'a cessé de ménager pour nous aider et nous orienter, jusqu'à la finalisation de ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer notre plus vive gratitude à Madame Ait soura, chef de Département Analyses, (CRD, Sonatrach, Hassi Messaoud) pour avoir accepté d'encadrer ce travail jusqu'à son aboutissement et d'y avoir consacré du temps malgré ses multiples engagements. Nous la remercions également pour la grande liberté qu'elle nous a laissée dans ce travail, tant en recherche que pour la rédaction du mémoire. Madame Ait soura a su orienter nos recherches aux bons moments et elle a toujours été disponible pour d'intenses et rationnelles discussions. Pour tout cela, pour sa confiance et son soutien, nous le remercions vivement.

Nous exprimons notre reconnaissance à Monsieur Khodja Mohamed (Docteur au CRD, Sonatrach) pour avoir proposé et dirigé ce travail et au personnel du Département Analyses, plus particulièrement Messieurs Moussouni, Larbi, Saïd, Idriss et Abou Bakr, pour leurs précieux conseils techniques et leur aide indispensable.

Nous sommes très reconnaissants à l'égard de Monsieur Ait Belkacem Ahmed et mon père de la division Forage Hassi Messaoud, qui ont grandement participé à la réalisation de ce travail. Nous les remercions de nous avoir fait pleinement profiter.

Nous tenons aussi à remercier chacun des membres du jury pour nous avoir fait l'insigne honneur d'accepter d'examiner notre travail.

Enfin, par crainte d'avoir oublié quelqu'un, que tous ceux et toutes celles dont nous sommes redevables se voient vivement remercier.

Abréviations utilisées

AAS : Spectroscopie d'absorption atomique, ("Atomic absorption spectroscopy")

ACV : Analyse du cycle de vie

AFNOR : Association Française de Normalisation

AMT :(activité amont)

API : "American Petroleum Institute"

AVL : (activité aval)

CRD :(centre recherche développement)

HMD : Hassi Messaoud

HSE : Hygiène, Sécurité et Environnement

ISO : international organization for standardization (Organisation internationale de normalisation)

LC: Lethal Concentration.

LD: Lethal Dose.

ML: Métaux Lourds.

NF: Norme Française.

OBM : Boue à l'huile, "Oil-based Mud"

Offline : traitement à la fin du forage

Online : traitement au cours du forage

OOC : (oil on cuttings)

pH : potentiel hydrogène.

S/S : stabilisation/solidification

SH : Sonatrach

SOBM : Boue à l'huile synthétique "Synthetic Oil-based Mud"

TDU : thermal desorption unit

WBM : Boue à l'eau, "Water-based Mud"

Sommaire

Introduction générale	2
<i>PARTIE THÉORIQUE</i>	
CHAPITRE I Généralités sur le forage, les fluides de forage et les bourbiers	
I. Historique du forage	4
I.1 Définition du forage pétrolier	4
I.2. Caractéristiques du puits	5
I.3. Description de l'appareil de forage	6
I.4. Systèmes de fluides de forage	7
I.4.1. Définition d'une boue de forage	7
I.4.2. Classification des boues de forage	7
I.4.3. Composition de la boue de forage	8
I.4.4. Conclusion	8
I.4.5. Caractéristiques des boues de forage	9
I.4.6. Principales fonctions de boue de forage	10
I.4.7. Cycle de la boue dans un puits	11
Chapitre II : Identification des rejets	
Introduction	14
II.1. Pollution	14
II.1.1. Définition	14
II.2. Identification et classification des rejets de forage	14
II.2.1. Rejets solides (déblais de forage)	15
II.2.2. Rejets liquides	16
II.3. Toxicité	17
II.3.1. Les hydrocarbures et leurs toxicités	17
II.4. Les pertes	18
II.5. Impact de l'activité de forage sur l'environnement	19
II.5. 1 Impact des rejets de forage sur les ressources hydrogéologiques	21
II.5. 2. Contamination des aquifères	22
Chapitre III : protection de l'environnement	
III. Approche classique	24
III.1 Traitements primaires des solides (traitement on line)	24
III.2 Traitement tertiaire (traitement off line)	25
III.2.1. Traitements biologiques – Biorémédiation	25
III.2.2. Le procédé de Désorption Thermique	25
III.2.2.1. Présentation du procédé	25
III.2.3. Stabilisation / Solidification	26
III.2.3.1. Description	26
III.2.3.2. Procédés de stabilisation/solidification	26
III.2.3.3. Les différentes étapes de la solidification	28
III.3. Les produits de traitement	29
III.3.1. Un liant hydraulique (ciment)	29
III.3.2. Composition chimique du ciment Portland Classe J	29
III.3.3. L'hydratation du ciment	29
III.3.4. Hydratation du ciment en présence de polluant	30
III.3.5. Les mécanismes de fixation des métaux lourds	32

III.4. Les silicates	34
III.4.1. Effet des silicates de sodium sur le traitement des cuttings	34
III.5. Applications	34
III.6. Avantages	35
III.6.1. Avantages pour l'environnement	35
III.8. Conclusion	36

PARTIE PRATIQUE

Chapitre IV Optimisation du procédé de traitement par

Stabilisation / Solidification

Introduction	38
IV.1. Les analyses laborantines	38
IV.1.1. Optimisations des quantités d'adjuvant	38
IV.2. Méthodes et moyens utilisés	39
IV.2.1. Résistance à la compression libre	39
IV.2.2. Influence de l'action du lessivage d'une eau acidifiée sur la résistance à la RC	39
IV.2.3. Les tests pétro-physique	39
IV.2.4. La teneur en huile	40
IV.2.5. La spectrométrie d'absorption atomique pour la rétention des métaux lourds	41
IV.3. Appareillages utilisés dans laboratoire	42
IV.4. Résultats et discussions	43
1). Hydratation du ciment	43
2). Influence des hydrocarbures sur la RC	43
3). Influence de la quantité de calcite et de bentonite sur la résistance à la compression	44
4). Les résultats des mesures pétro-physique des matrices cimentaires en fonction des quantités de bentonite et de calcite ajoutées	46
5). Influence de l'action du lessivage d'une eau acidifiée sur la résistance à la compression	49
6). Teneur en huile	50
6.1). Variation du volume d'huile récupéré en fonction de la quantité du ciment	50
6.2). Influence de la quantité de chaux sur la teneur en huile	52
6.3). Influence de la quantité de calcite sur la teneur en huile	55
7). Résultats d'analyse des métaux lourds avant et après le traitement	57
7.1) Interprétation des résultats d'analyse	57
Conclusion et recommandation	58
Références bibliographiques	59
Annexes	62

Liste des figures :

Figure (I.1) : schéma d'un appareil de forage.

Figure (I.2) : schéma du circuit de boues de forage.

Figure (II.1) action des polluants dans le sol.

Figure (II-2) : Pertes aux niveaux des tamis.

Figure (II-3) : Pertes pendant les manœuvres.

Figure (II-4) Pertes dans les formations

Figure (II-5) : Schéma explicitant l'augmentation de la surface spécifique.

Figure (II-6) : phénomène d'enrobage.

Figure (II-7) : fosse de réservoir d'eau.

Figure (II-8) : Infiltration vers les nappes phréatiques.

Figure (III-1) : dessableur.

Figure (III-2) : mud cleaner.

Figure (III-3) transformation des polluants en phase gazeuse en fonction de la T°

Figure (III.4) : stabilisation/ solidification et l'inertage des solides (boues résiduelles)

Figure (III-5) : Représentatif de l'action des silicates sur les déblais.

Figure (IV.1) : Distillateur à boue.

Figure (IV.2) : volume du distillât.

Figure (IV.3) : Distillateur à boue.

Figure (IV.4) : presse hydraulique.

Figure (IV.5) : SAA.

Figure (IV.6) : Filtre presse .

Figure (IV.7) : étuve de séchage rotatif .

Figure (IV.8) : Mixeur Hamilton Beach.

Figure(IV.9) : Les Cubes utilisés.

Figure(IV.10) : Influence de la concentration des hydrocarbures sur la RC.

Figure(IV.11) : Evolution de la résistance à la compression en fonction de la quantité de calcite.

Figure(IV.12) : Evolution de la résistance à la compression en fonction de la quantité de bentonite.

Figure(IV.13) : Evolution de la perméabilité en fonction de la quantité de bentonite.

Figure(IV.14) : Evolution de la porosité en fonction de la quantité de bentonite.

Figure(IV.15) : Evolution de la perméabilité en fonction de la quantité de calcite.

Figure(IV.16) : Evolution de la perméabilité en fonction de la quantité de calcite.

Figure(IV.17) : L'effet d'une eau acidifiée sur la RC.

Figure(IV.18) : Influence de la quantité du ciment sur la teneur en huile.

Figure(IV.19) : Influence de la quantité de la chaux sur la teneur en huile.

Figure(IV.20) : Influence de la quantité de la chaux sur la teneur en huile.

Figure(IV.21) : Influence de la quantité de la chaux sur la teneur en huile.

Figure(IV.22) : Influence de la quantité de calcite sur la teneur en huile.

Figure(IV.23) : Histogramme des résultats d'analyse sur les métaux.

Liste des tableaux :

Le tableau (I-1) phases de réalisation d'un puits à HMD.

Tableau (III-1) : moyens mécaniques de control des solides.

Tableau (III.2).Comportement de As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb et Zn dans les matrices cimentaires.

Tableau (IV.1) : hydratation du ciment.

Le tableau (IV.2) : résultat du test de la résistance à la compression libre appliquée à nos échantillons traités.

Le tableau (IV.3) : représente le résultat du test de la résistance à la compression libre appliquée à nos échantillons traités.

Le tableau (IV.4) : montre le résultat du test de la résistance à la compression libre appliquée à nos échantillons traités.

Le tableau (IV.5) : représente les résultats des mesures de la porosité et la perméabilité de nos échantillons traités.

Tableau (IV.6) : Les résultats des mesures pétro-physique.

Le tableau (IV.7) : résultat du test de la RC.

Tableau (IV.8): influence de la quantité du ciment sur la teneur en huile.

Tableau (IV.9):Variation du volume d'huile récupéré en fonction de la quantité de la chaux.

Tableau (IV.10): Variation du volume d'huile récupéré en fonction de la quantité de la chaux.

Tableau (IV.11) : Variation du volume d'huile récupéré en fonction de la quantité de la chaux.

Tableau (IV.12) : influence de la quantité de calcite sur la teneur en huile.

Tableau (VI .13) : les résultats d'analyses des métaux lourds avant et après traitement par stabilisation/solidification.

Introduction générale

En matière d'environnement, l'attention s'est portée durant des années sur les phénomènes visibles tels que la pollution des eaux superficielles et plus récemment la pollution de l'air. Ce n'est que depuis une vingtaine d'années que l'on intègre la pollution des sols et des sous-sols dans la lutte pour la protection de l'environnement.

Ce souci d'action et de prise de conscience tardif s'explique par le fait que le sol est certainement le moins bien connu. Les phénomènes de pollution mis en jeu dans ce milieu ne permettent d'en voir les conséquences que des années plus tard, voire des décennies dans certains cas.

De nos jours, cette mauvaise gestion des sites industriels a pour conséquences :

- **Des problèmes de santés publiques** : exposition de l'homme à des dangers souvent inacceptables. Les substances toxiques s'accumulent le long de la chaîne alimentaire.
- **Des problèmes d'aménagement du territoire** : La reconversion de ces sites semble être la solution la plus judicieuse pour enrayer le phénomène d'extension des villes et pour permettre le développement durable des agglomérations.

La revalorisation économique de ces terrains implique des études d'évaluations des risques et de réhabilitations, tout en tenant compte du contexte socio-économique.

Le sol est la couche superficielle de l'écorce terrestre à structure meuble et d'épaisseur variable, résultant de la transformation de la roche mère sous l'influence de divers processus physiques, chimiques et biologiques. Il se compose en fait de plusieurs fractions dont l'importance est variable d'un sol à l'autre.

Le sol est un milieu physique qui assure notamment des fonctions d'alimentation des végétaux et de support aux activités humaines. C'est aussi une ressource naturelle limitée, fragile et qui ne se reconstitue pas facilement.

Chaque année, une centaine de nouveaux puits de pétrole et de gaz sont forés en Algérie soit en exploration, soit en développement, utilisant divers types de fluides de forage.

A ce sujet, la pollution engendrée doit être analysée sur la base d'une comparaison technico-économique du succès des systèmes de fluides (WBM et OBM) et de la performance des traitements adoptés.

Sur le plan traitement en fin de forage, deux principales techniques utilisées actuellement au niveau de l'Activité Amont: la solidification et le traitement thermique. Le mode de traitement par solidification a pour conséquence une augmentation des volumes des rejets. Il est considéré comme un transfert de la pollution (encapsulation) qui peut être sujet à un relargage, en plus des limitations relatives à la teneur en HC et en solides (teneur et dimension).

Partie théorique

Chapitre I

Généralités sur le forage, les fluides de forage et les bourbiers

I. Historique du forage :

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

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

I.1 Définition du forage pétrolier :

On appelle "forage pétrolier" l'ensemble des opérations permettant d'atteindre les roches poreuses et perméables du sous-sol, susceptibles de contenir des hydrocarbures liquides ou gazeux.

L'implantation d'un forage pétrolier est décidée à la suite d'études géologiques et géophysiques effectuées sur un bassin sédimentaire. Ceci nous permet de nous faire une idée de la constitution des sous-sol et des possibilités de gisements, sans pour autant préciser la présence d'hydrocarbures. L'opération de forage peut alors confirmer les hypothèses faites et mettre en évidence la nature des fluides contenus dans les roches. [1]

Il existe deux types de forage :

- Les forages d'exploration : Ils incluent les opérations de forage permettant de déterminer la présence potentielle ou non d'un gisement d'hydrocarbures.
- Les forages de développement: Ils incluent les opérations de forage une fois qu'un gisement d'hydrocarbure a été découvert et délimité.[2]

I.2. Caractéristiques du puits :

Le forage commence avec un diamètre de 36", et la profondeur maximale est de 4047 mètres, avec un diamètre de 6". Afin d'atteindre la roche réservoir avec un diamètre optimisé, la réalisation de l'ouvrage doit passer par un certain nombre d'étapes appelées « Phases ». [2]

Le tableau (I-1) résume les phases de réalisation d'un puits à HMD :

Tableau (I-1) : phases de réalisation d'un puits .

Diamètre du Trou (pouce)	Diamètre du tubage (pouce)	Intervalle foré (m)	Type de boue
36	30"	0-50	WBM
26	18" 5/8	50-500	WBM
16	13" 3/8	500-2300	OBM
12 1/4	9" 5/8	2300-3300	OBM
8 3/8	7"	3300-3500	OBM
	4"1/2	3500-4300 (MD)	OBM
Complétion	Tubing		brine (saumure)

I.3. Description de l'appareil de forage :

La réalisation d'un ouvrage pétrolier nécessite la mobilisation d'un appareil de forage.

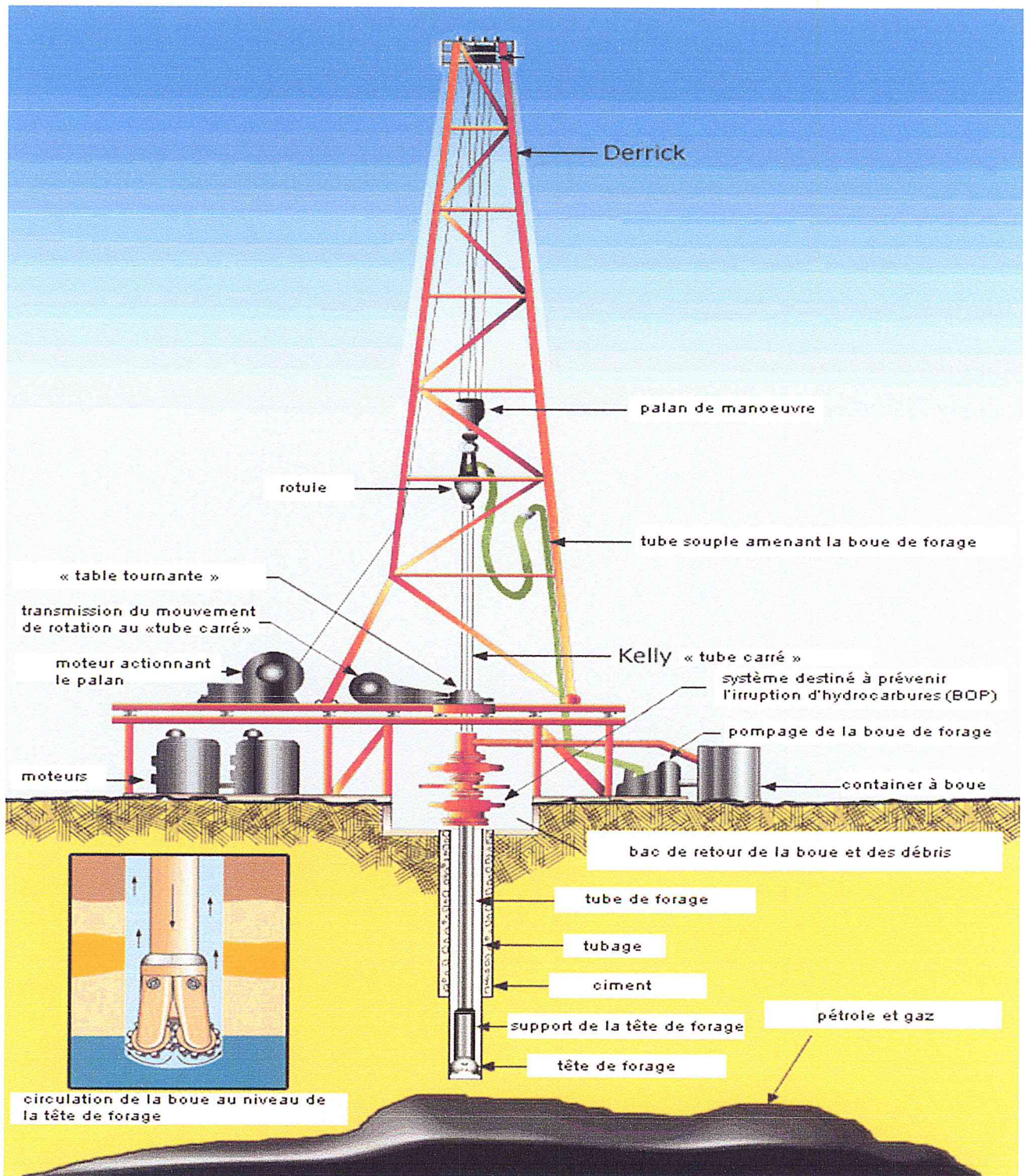


Figure (I.1) : schéma d'un appareil de forage

Un appareil de forage assure globalement les fonctions suivantes nécessaires à la conduite des opérations.

I.4.systemes de fluides de forage:

I.4.1.Définition d'une boue de forage :

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

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

Le fluide de forage est le mélange d'un fluide de base (eau ou huile) avec une dispersion solide, permettant un ajustement de la densité, ainsi que de nombreux additifs. Le contrôle des propriétés de cette dispersion est fondamental pour le bon déroulement du forage. Le mélange doit avoir une viscosité apparente peu élevée pour limiter les pertes de charge d'écoulement, mais une viscosité grande lors des arrêts de circulation afin d'éviter la sédimentation des déblais dans le fond du puits.

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

Le fluide de forage qui, à l'origine était considéré uniquement comme un véhicule de transport des débris jusqu'à la surface, est maintenant reconnu comme l'un des facteurs majeurs pour le succès d'une opération de forage.

La vitesse d'avancement, le rendement, la sécurité et le prix de revient du forage dépende des qualités du fluide utilisé. (Landriot,1968). [3]

I.4.2.Classification des boues de forage :

Les fluides sont composés de différentes combinaisons de solides, liquides, et gaz et sont classées selon la constitution de la phase continue. [4]

a) Boue de forage à base d'huile :

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

b) Boue de forage à base d'eau :

Les fluides de forage à base d'eau sont des fluides dont la phase continue est de l'eau éventuellement chargée en électrolytes comme NaCl et KCl.

Auparavant ces fluides constituent le type de boue le plus utilisé dans les domaines du forage. Actuellement, elles sont utilisées surtout comme boues de démarrage de puits ou pour forer des terrains inertes ne posant pas de problèmes de dispersion et de gonflement des minéraux argileux ou en absence de formations productrices d'hydrocarbures.

I.4.3. Composition de la boue de forage :

En plus de l'eau et du gasoil utilisé comme phase continue ou émulsionnée, un très grand nombre de produits entrent dans la fabrication et le traitement des fluides de forage dont certains ont un rôle spécifique et d'autres ont des actions multiples.

Ces produits sont classés par familles. [5]

a) Colloïdes argileux :

- Les bentonites
- Les attapulgites

b) Colloïdes organiques :

- Amidons
- CMC (Carboxy Méthyl Cellulose)

c) Fluidifiants ou défloculants :

- Les polyphosphates
- Les tanins
- Les lignosulfonates
- Les lignines chromées

d) Les additifs minéraux :

- Soude caustique NaOH
- Carbonate de sodium Na_2CO_3
- Le gypse CaSO_4
- Chaux éteinte $\text{Ca}(\text{OH})_2$
- Bicarbonate de sodium NaHCO_3

e) Produits organiques spéciaux :

- Les anti-ferments
- Les anti-mousses
- Les anti-coincements
- Les anti-corrosions
- Les anti-bourrants

f) Les alourdisants :

- Barytine ou sulfate de baryum BaSO_4 $d=4.3$
- Le carbonate de calcium CaCO_3 $d=2.7$
- La galène PbS $d=7$
- Hématite Fe_2O_3 $d=5.2$

g) . Les colmatants :

- Colmatants organiques
- Colmatants fibreux
- Colmatants lamellaires
- Colmatants gonflants
- Colmatants à prise (liants hydrauliques).

I.4.4. Conclusion :

Au vu des différents produits qui sont utilisés pour la fabrication des fluides de forage, il est aisé de voir quels sont les différents contaminants qui vont se retrouver au niveau du borbier. Par ailleurs, en plus de ces produits il faut ajouter les importants volume des déblais de forage qui peuvent renfermer, en plus des traces et restes des différents produits de forage, des concentrations en métaux lourds contenus éventuellement et naturellement dans les formations rocheuse traversées. Tous ces éléments vont se retrouver au niveau du borbier qui

constitue donc le réceptacle privilégié d'une grande partie de la pollution générée par l'activité forage.

I.4.5. Caractéristiques des boues de forage :

a) Caractéristiques physiques :

a.1) Densité et masse volumique : La densité est le rapport de la masse volumique d'un corps à la masse d'un corps de référence ou la référence est l'eau pour les liquides et l'air pour les gaz.

a.2) Rhéologie : cette science est consacrée à l'étude de déformation et de l'écoulement de la matière. Dans ce domaine les boues de forage vont être définies par un certain nombre de caractéristiques : viscosité, gels ...etc, dont le contrôle et la mesure ont une grande importance pratique car elles conditionnent :

- le bon rendement des pompes et la pression de refoulement.
- le maintien des zones fragiles soumises à l'action de la circulation.
- l'élimination des cuttings en surface.
- le nettoyage des puits.

a.3) Filtration et cake : Lorsque la boue se trouve au contact des parois plus au moins perméable du trou, la partie liquide filtre dans la formation en déposant sur les parois sa partie solide que l'on appelle « cake », dans ce cas on trouve deux types de filtration :

- filtration dynamique.
- filtration statique

a.4) Concentration en sable : A concentration élevée le sable augmente la densité de la boue et peut sédimenter dans le trou pendant les arrêts de circulation. Il est recommandé de maintenir la teneur en sable à moins de 1% en volume de boue, par dessablage des fluides dans des cyclones appropriés et par sédimentation dans des bacs de décantation.

a.5) Emulsion : Une émulsion peut être définie comme un système contenant deux phases fluides dont l'une est dispersée dans l'autre sous forme de fines gouttelettes.

Dans les boues émulsionnées, c'est l'huile qui est dispersée dans l'eau, on appelle cela une émulsion directe.

a) Caractéristiques chimiques :

C'est une propriété chimique de la boue qui est souvent liée à sa stabilité et également à son aptitude à disperser facilement les matériaux argileux dont elle se charge au cours du forage.

La détermination du pH fournit la concentration en ion H^+ ou OH^- libre. Les boues de forage sont généralement basiques, leur pH peut varier suivant les cas de 8 à 12. Il est important de connaître le pH d'une boue pour les raisons suivantes :

- Certains traitements chimiques ne peuvent être efficaces que dans une gamme donnée de pH. L'amidon fermente en boue douce ne contenant pas d'anti-ferment, si le pH est inférieur à 12.
- La dispersion d'argile est une fonction croissante de l'augmentation de pH mais la capacité du fluidifiant organique est accrue lorsque l'on augmente le pH. Dans ce cas il faut trouver un compromis situé généralement vers un pH de 10. [5]

I.4.6. Principales fonctions des boues de forage :

La boue de forage est injectée dans un puits de pétrole ou de gaz pour nettoyer le trou et en conditionner la paroi, lubrifier le trépan et équilibrer la pression de la formation traversée. Elle est habituellement à base d'eau ou d'huile. On dispose, depuis quelques années, de boues à base de produits synthétiques (esters, éthers ou polyalphaoléfines). Dans l'état de nos connaissances actuelles, il semblerait que cette sorte de boue soit peu toxique pour le milieu marin et de biodégradabilité élevée.

L'environnement difficile des opérations de forage souterrain a encouragé les initiatives de recherche et développement en vue de concevoir des fluides de forage pouvant jouer plusieurs rôles importants :

- a-** Arrachage des cuttings et transport en surface
- b-** Refroidissement et lubrification
- c-** Coffrage des parois avec un cake imperméable
- d-** Contrôle des pressions
- e-** Pouvoir de suspension et de sédimentation des cuttings
- f-** Allègement de la garniture et des casings
- g-** Réduction au minimum de l'endommagement de la formation productrice ou non productrice
- h-** Obtention du maximum d'informations concernant les formations forées
- i-** Transmission de la puissance hydraulique à l'outil de forage .[6]

I.4.7. Cycle de la boue dans un puits :

La majeure partie de la boue utilisée dans une opération de forage est recyclée en continu (Figure I.2) :

1. La boue est mélangée et conservée dans le bassin de décantation.
2. Une pompe achemine la boue dans la tige de forage qui descend jusqu'au fond du puits.
3. La boue sort de l'extrémité de la tige de forage et tombe au fond du puits où le trépan est en train de forer la formation rocheuse ce qui va générer des déblais.
4. La boue emprunte ensuite le chemin inverse en remontant à la surface les morceaux de roche, appelés déblais, qui ont été arrachés par le trépan.
5. La boue remonte jusqu'à l'espace annulaire, entre la tige de forage et les parois du puits. Le diamètre type d'une tige de forage est d'environ 10 centimètres (4 pouces). Au bas d'un puits profond, le puits peut mesurer 20 centimètres (8 pouces) de diamètre.
6. A la surface, la boue circule dans la conduite d'aspiration de la boue, une tige qui mène au tamis vibrant.
7. Les tamis vibrants se composent d'un ensemble de crépines métalliques vibrantes servant à séparer la boue des déblais. La boue s'égoutte dans les crépines et est renvoyée vers le bassin de décantation.
8. un traitement plus élaboré est effectué par un ensemble d'équipements d'épuration mécanique.
9. Les déblais de la roche glissent le long de la glissière du tamis pour être rejetés. En fonction des impératifs environnementaux, notamment, ils peuvent être lavés avant leur stockage. Une partie des déblais est prélevée pour être examinée par des géologues afin d'étudier les propriétés des roches souterraines présentes au fond du puits. [7]

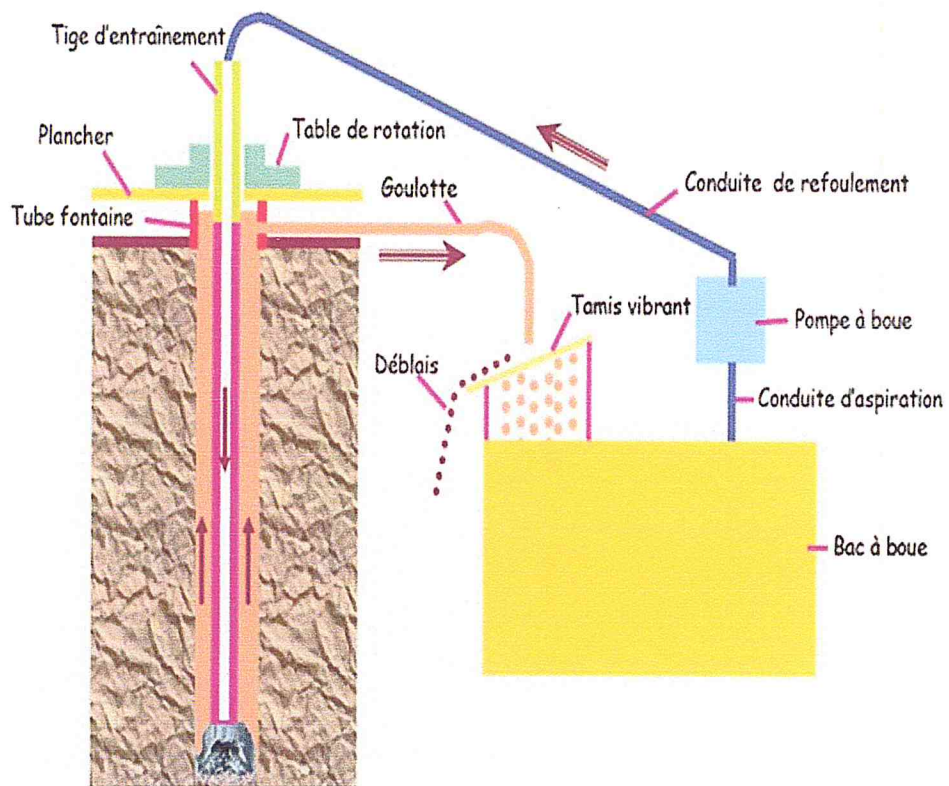


Figure (I.2) : schéma du circuit des boues de forage

Chapitre II

Identification des rejets

Introduction

L'industrialisation et l'urbanisation se sont développées pendant le XIXe siècle et la première moitié du XXe en ignorant pratiquement les conséquences environnementales des nouvelles pratiques de consommation et de production mises en œuvre. Les modes de vie sont devenus de moins en moins « économes » en matières premières et en énergie consommées et de plus en plus générateurs de déchets. Dans la seconde moitié du XXe siècle, les flux de produits matériels se sont intensifiés et globalisés à l'échelle de la planète. Les matières et matériaux utilisés se sont « artificialisés », avec des caractéristiques qui rendent plus difficile leur réinsertion dans les cycles biogéochimiques naturels. Depuis la fin des années 1950, une prise de conscience écologique s'est développée : les évolutions démographiques, la raréfaction prévisible des ressources naturelles, les crises énergétiques, les catastrophes écologiques ont fixé des bornes à une croissance industrielle incontrôlée. Aujourd'hui, les préoccupations écologiques sont présentes dans tous les secteurs de l'activité économique et le management des entreprises intègre de plus en plus la composante environnementale. Les méthodes de gestion et de traitement des déchets sont au cœur de cette problématique et conditionnent souvent la pérennité des modes de production ou de consommation. [8]

II.1. Pollution :

II.1.1. Définition : Une pollution est toute introduction par l'homme directement ou indirectement de substances ou énergies, dans le milieu naturel (eau, air, sol) provoquant des effets délétères dont il résulte une atteinte à la faune et à la flore, donc aux moyens de subsistance des êtres vivants et donc à l'homme.

II.2. Identification et classification des rejets de forage :

L'observation pendant les visites sur chantier a montré que les déchets de forage à HMD pouvaient être classés suivant les catégories : Solides, Liquides, Emissions atmosphériques et Bruit.

A cet inventaire, obéissant à une approche classique de la problématique des rejets, il est nécessaire d'adjoindre une classification qui permette une meilleure compréhension du déroulement des opérations de forage.

En effet, parmi ces formes de rejets, certains sont « inhérents » à l'opération de forage alors que d'autres ne sont dus qu'aux activités environnantes (hébergement, restauration, soins...etc.)

Dans cette étude, nous nous proposons de se focaliser, donc, sur les rejets inhérents à l'opération de forage en adaptant la classification classique.

Ainsi, il sera question dans l'identification et la quantification de ces rejets de :

- Rejets solides
- Rejets Liquides.

étant donné que les émissions atmosphériques sont pratiquement négligeables en forage

II.2.1.Rejets solides (déblais de forage) :

Les déblais de forage sont de petits morceaux de roche qui sont éjectés par l'action du trépan du 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 en surface ils sont traités pour séparer les boues des déblais. La boue est réutilisée tandis que les déblais sont récupérés pour être traités (normalement par solidification/stabilisation ou désorption thermique), sauf pour les premières phases du forage, quand la boue WBM et les déblais sont déchargés dans le bournier directement.

Le système de forage avec des OBM est un système fermé, et le bournier à déchets OBM s'utilise seulement quand une partie du système ne fonctionne pas. Les OBM accumulés dans le bournier sont récupérés et amenés au début du procédé. À la fin du forage, les boues OBM dans le bournier sont pompées et récupérées, et la quantité de déchets dans le bournier OBM sera traitée.

II.2.1.a. bourniers

Dans le domaine de l'exploitation pétrolière, une panoplie de produits chimiques est employée dans la formulation des boues de forage. En plus des hydrocarbures (HC, tels que le gazoil) constituant majeur des boues à base d'huile, on note les déversements accidentels de pétrole, ainsi que d'une variété d'autres produits et additifs spéciaux (tensioactifs, polymères,..) qui peuvent exister sur les sites de forage. Ces rejets sont généralement stockés dans des endroits appelés 'bourniers'. [9]

II.2.1.b. Influences des bourniers sur l'environnement :

Les bourniers (cuttings) sont principalement contaminés par des hydrocarbures (gasoil ou pétrole, provenant de la boue à base d'huile) et des métaux lourds (provenant principalement des additifs de la boue).

Les cuttings risquent de contaminer le sol et le sous-sol par les différentes actions représentées dans la figure(II.1) :

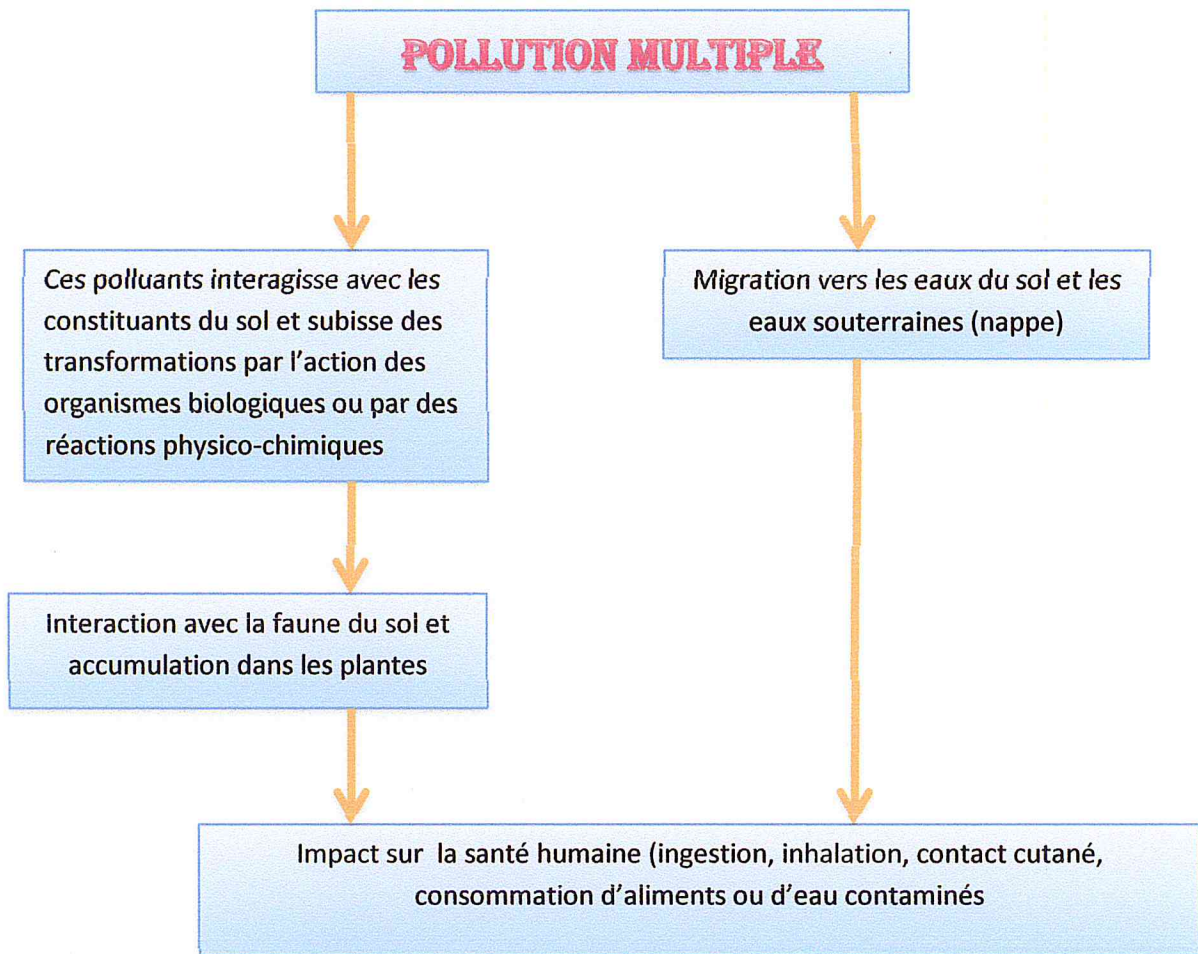


Figure (II.1) Action des polluants dans le sol

II.2.2. Rejets liquides :

a- La boue :

La boue est l'un des éléments le plus important de l'opération de forage, du fait que c'est grâce à elle que les déblais sont remontés en surface.

C'est aussi une grande source de pollution due à sa composition en produits chimiques dont certains sont toxiques.

a.1. Polluants générés par les fluides de forage :

Dans le cas des déblais de forage les principaux contaminants est susceptibles de rencontrer sont :

- Les hydrocarbures :

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

- Les métaux lourds (Plomb, baryum, cadmium, zinc, chrome, nickel, manganèse).

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

- ✓ Les formations forées contiennent l'arsenic, le baryum, le cadmium, le chrome, le plomb et le mercure.
- ✓ Les additifs des fluides de forage contiennent du baryum qui provient des agents alourdissant de la baryte et du chrome qui vient des défloculants chrome-lignosulfonate. baryte minéral, utilisée pour le contrôle de la densité.

- Les sels (NaCl, CaCl₂, KCl).

La concentration de sels, comme le chlorure de sodium ou de potassium dans les fluides de forage peut aussi considérablement augmenter, spécialement quand les puits forés traversent des dômes de sel ou des formations ayant de l'eau très salée. [10]

En effet du point de vue toxicologie, que ces types de produits ont un impact sensible sur l'environnement et ont pour origine :

- ✓ Les boues de forage.
- ✓ La formation géologique forée (déplacements des minéraux contaminés et fluides de la formation vers la surface). [11]

II.3. Toxicité :

II.3.1. Les hydrocarbures et leurs toxicités:

Les sources de contamination par les hydrocarbures sont multiples et notamment les produits pétroliers et les rejets industriels en graisses et huiles.

La vitesse de décomposition de ces produits par les méthodes biochimiques est très lente, ce qui explique leur présence dans les eaux pendant une longue durée. Ils se retrouvent dans les canaux d'évacuation où leur infiltration dans le sol présente ainsi un risque permanent de pollution.

On peut résumer les effets nocifs des hydrocarbures :

- Formation d'une couche flottante à la surface des eaux empêchant l'échange entre le milieu aqueux et l'atmosphère entraînant ainsi l'arrêt de l'opération d'auto-épuration.
- Interférences de ces produits dans les stations d'épuration en réduisant l'effet des agents de coagulation. Leur adsorption sur les filtres de production d'eau potable peut provoquer ainsi une source de pollution permanente de ces eaux.
- Ces produits confèrent à l'eau contaminée un goût et une odeur désagréables même à faible concentration.

- La limite de toxicité est de 0.5 µg/l en essence et de 1mg/l en graisse.

Notons enfin que la limite maximale autorisée dans les eaux de consommation est de 0.2 µg/l.

Les déblais et les boues de forage font partis des déchets d'après la nomenclature réservée à ce type de rejet et doivent être éliminés après traitement. [11]

II.4. Les pertes: Nous enregistrons lors du forage des pertes de boues à plusieurs niveaux:

a.1) Pertes en surface :

Dues au disfonctionnement d'un ou de plusieurs équipements mécaniques.

- au niveau des tamis quand il survient des problèmes de vibrations ou un mauvais choix de la grosseur des mailles, voir figure (II-2).
- Pertes pendant les manœuvres: lors des changements de tige la boue ruisselle du train de sonde et tombe sur le planché, ce qui apparait en figure (II-3).

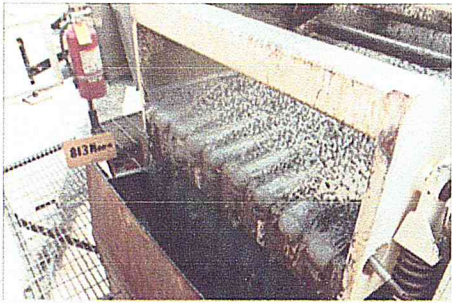


Figure (II-2) : Pertes aux niveaux des tamis. [12]



Figure (II-3) : Pertes pendant les manœuvres [12]

- Pertes dans les formations : au cours du forage il peut arriver que le débit de boue remontée en surface soit inférieur à celui injecté initialement, on parle alors de pertes de terrain suite à des fissurations. La boue est donc perdue et ne revient pas en surface, voir figure (II-4).

Le phénomène d'enrobage explicité en figure (II-6) est dû essentiellement à deux types d'interactions :

- Interaction solide- liquide exemple: adsorption
- Interaction liquide- liquide exemple: émulsion

Les interactions solide- liquide, sont plus difficiles à rompre que les interactions liquide-liquide, ces dernières peuvent être vaincues par centrifugation (en augmentant la force de gravité), quant aux interactions solide- liquide on ne peut faire la séparation qu'avec un procédé de désorption thermique, car il faut de grandes températures pour les rompre.

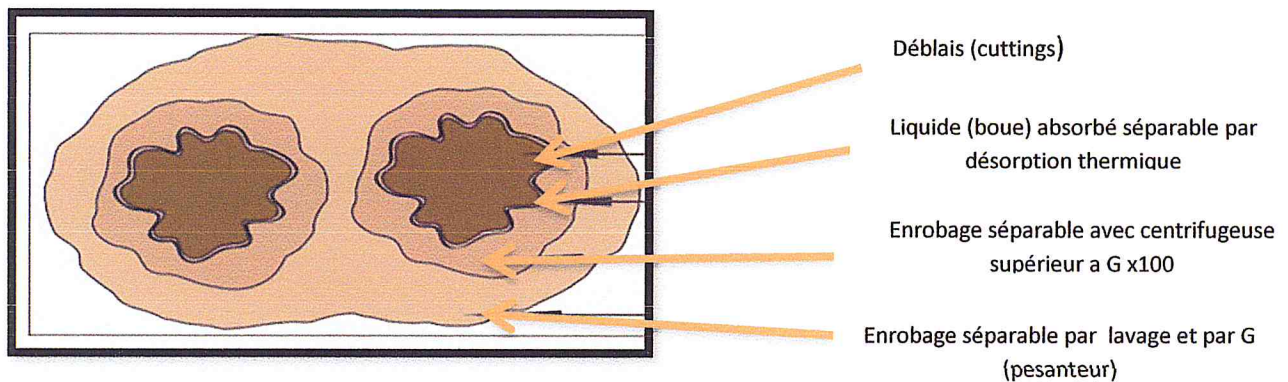


Figure (II-6) : schéma du phénomène d'enrobage.

B- L'eau :

L'eau est indispensable sur un chantier de forage ; en général, quand l'emplacement de la plate-forme est fixé on procède si possible au forage d'un puits d'eau afin d'alimenter l'activité, quand cela s'avère impossible l'eau est acheminée sur chantier via des camions citernes.

L'eau est employée à plusieurs usages :

- Elle rentre dans la composition des fluides de forages surtout la boue à base d'eau.
- L'entretien et le nettoyage de l'appareil.
- L'alimentation du camp de vie
- *Le circuit de refroidissement des appareils*
- évacuation des déblais vers le bournier, C'est là qu'on enregistre la plus grande consommation en eau car après leurs remontés, les déblais (les plus gros) vont être séparés de la boue lors de leur passage sur les tamis, et tomberont dans un canal qu'on appelle dans le jargon du métier "RIO NEGRO", la pente de ce canal n'étant pas assez raide et étant donné le grand flux arrivant, les déblais ont tendance à s'amonceler, et il n'y a pas d'autre moyen que de les évacuer à l'aide de jets d'eau.

Par ailleurs, il est clair aussi que lors des problèmes de forage relatifs à des pertes dans les formations traversées, la consommation atteint des niveaux considérables.



Figure (II-7) : fosse servant de réservoir d'eau.

II.5. Impact de l'activité de forage sur l'environnement :

Toute activité génère des rejets, ces rejets ont des impacts plus ou moins importants et cela dépend essentiellement de leurs toxicités et leurs volumes.

II.5. 1 Impact des rejets de forage sur les ressources hydrogéologiques :

Parmi les impacts des rejets de forage, le plus important affecte les ressources hydrogéologiques.

Nous avons vu précédemment dans la partie identification quantification, que le volume de déblais ainsi que le volume de boue se retrouvant dans le bournier est très important. Ces déblais et cette boue arrivent au bournier grâce à des jets d'eau, c'est justement cette eau qui constitue un grand risque, car l'eau par lessivage va entraîner les hydrocarbures qui composent la boue à base d'huile et va s'infiltrer vers les couches souterraines où se trouvent les nappes phréatiques.

Le niveau piézométrique varie en fonction de la morphologie du relief, ce qui fait qu'en certains endroits, la profondeur de la nappe n'est que de quelques mètres, ce qui rend le risque de contamination plus que probable.

Le schéma ci-dessous (figure (II-10)) représente un borbier ainsi que l'infiltration vers les nappes phréatiques :

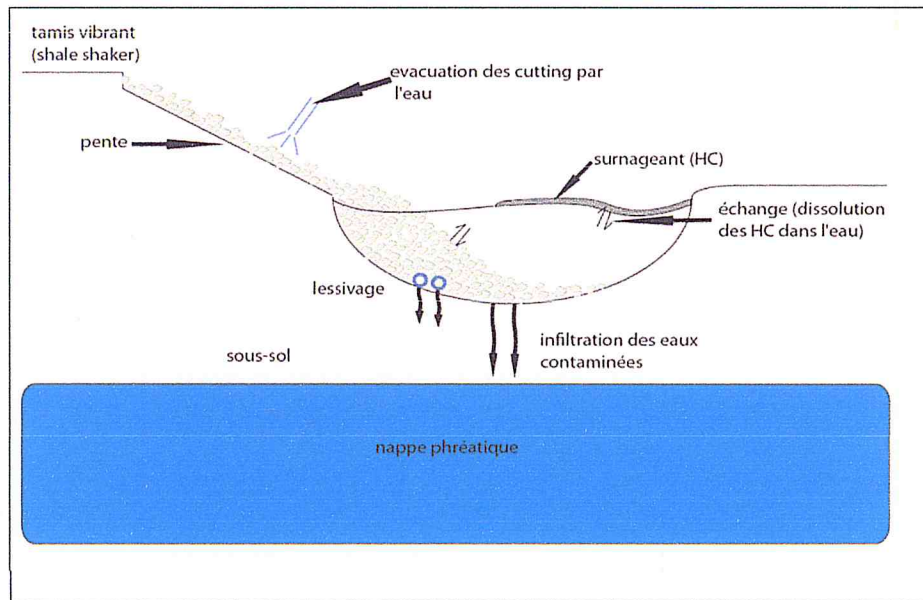


Figure (II-8) : Infiltration vers les nappes phréatiques.

II.5. 2. Contamination des aquifères :

Les horizons aquifères se situent à une très grande profondeur que les nappes phréatiques compte tenu des propriétés suscitées du sol.

Les effets d'une contamination due aux opérations qui se déroulent dans le puits sont probablement plus immédiats et plus importants que ceux ayant pour cause les différentes infiltrations par la surface.

La contamination des aquifères serait due aux produits chimiques contenus dans la boue lors de perte de circulation. De même que pour la nappe, si ces aquifères constituent une ressource en eau, elles peuvent affecter à leur tour les consommateurs de cette eau. [13]

Chapitre III

Protection de l'environnement

III. Approche classique :

L'exploitation des hydrocarbures soulève beaucoup d'interrogations quant à ses impacts sur l'environnement : la quantité d'eau requise par la fracturation hydraulique, les risques de pollution liés au forage ou aux additifs employés, l'empreinte au sol des installations, les risques sismiques sont autant de questions posées.

Le traitement des déblais et boues usées de forage est l'étape la plus délicate et la plus importante au regard des volumes de ces rejets qui constituent l'impact environnemental négatif le plus significatif.

Le procédé de traitement appliqué actuellement par SONATRACH consiste en :

- Un traitement primaire (équipements d'épuration de la boue)
- Un traitement tertiaire pour gérer les déblais et boues se trouvant dans le bourbier

III.1 Traitements primaires des solides (traitement on line) :

Le traitement primaire des solides communément appelé traitement mécanique est le processus basique effectué pour l'épuration des boues de forage à base d'huile qui seront par la suite réutilisées (la boue à base d'eau usée n'étant pas réutilisée, est directement rejetée vers le bourbier). Selon l'emplacement, le système de boue et la géométrie du puits, on aura besoin d'un ou plusieurs tamis vibrants, dessableurs, filtre de boue et centrifugeuses.

L'épuration mécanique consiste en une batterie d'équipements avec des principes de fonctionnement plus ou moins similaires :

1. En premier lieu, les tamis vibrants qui constituent le premier maillon de la chaîne de traitement. La boue passe au travers de toiles de façon à lui soustraire les particules les plus grosses qui seront acheminées vers le bourbier.

2. La boue récupérée passe ensuite par le dessableur qui est un hydrocyclone. Le fluide pompé sous pression, est envoyé tangentiellement sur une partie cylindrique fixe ou sa vitesse V se transforme en vitesse angulaire W (figure (III-1)).

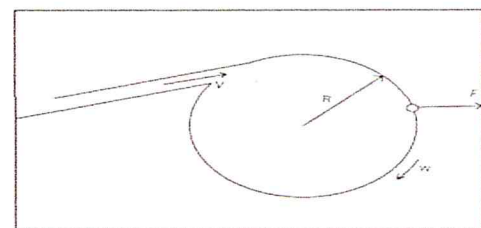


Figure (III-1) : dessableur.

Cette partie cylindrique est raccordée à une partie conique, l'effluent lourd se déversant au bas du cône, le léger vers le haut. [14]

3. Du dessableur la boue passe au filtre de boue (figure (III-2)), il s'agit d'un appareil combinant l'hydrocyclonage et le tamisage.

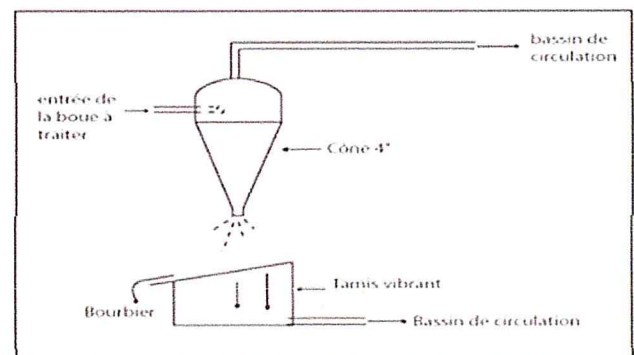


Figure (III-2) : filtre de boue. [14]

Tableau (III-1) : moyens mécaniques de control des solides [15]

Appareil de séparation	Maillage optimum	Elimine les particules au-dessus (en micron)
Tamis vibrants	32	500
dessableurs	/	74
désilteurs	/	15à20
Mud cleaners	150 200	104 74
centrifugeuse	/	2

Quelques bénéfices du traitement online :

- réduction du volume du borbier de 68% (3800 m³ -900m³)
- récupération de la boue (sur 3502m³ foré et un total des déblais 494 m³ → V_{boues récupérée} = 71m³)
- réduction de la consommation d'eau V_{d'eau consommée} = 2091 m³
- recyclage et récupération d'eau V_{d'eau récupérée} = 1900m³

III.2 Traitement tertiaire (traitement off line) :

Les rejets (boues à base d'eau, déblais contaminés, boue à base d'huile et l'eau) se retrouvent dans le borbier. A la fin du forage le traitement de ces rejets est effectué selon trois méthodes.

III.2.1. Traitements biologiques – Biorémédiation :

Les traitements biologiques permettent la dégradation des substances organiques (huiles) contenues dans les particules solides, par l'intermédiaire de microorganismes spécifiques (bactéries, fungus) qui se développent naturellement et dans des conditions aérobies [16].

Quelques conditions doivent être satisfaites pour favoriser l'action de ces microorganismes et augmenter la cinétique de biodégradation des composés organiques, à savoir : la température, la DBO (demande biologique en oxygène), l'humidité, le pH, les nutriments (phosphore, azote).

III.2.2. Le procédé de Désorption Thermique :

III.2.2.1. Présentation du procédé :

- La désorption thermique est une technique de traitement des terres contaminées par des composés organiques (hydrocarbures, HAP). Ce procédé consiste à chauffer les terres polluées dans un four rotatif dans lequel un brûleur produit une chaleur entre 250 et 550°C. Cette dernière permet la volatilisation des polluants sous forme de gaz qui seront dépoussiérés et épurés par filtre à manches.

- La qualité essentielle du procédé est la décontamination totale des terres, indépendamment des concentrations en entrée. Le four rotatif permet un traitement homogène du matériau, d'où une grande fiabilité dans les résultats. [17]

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. [18]

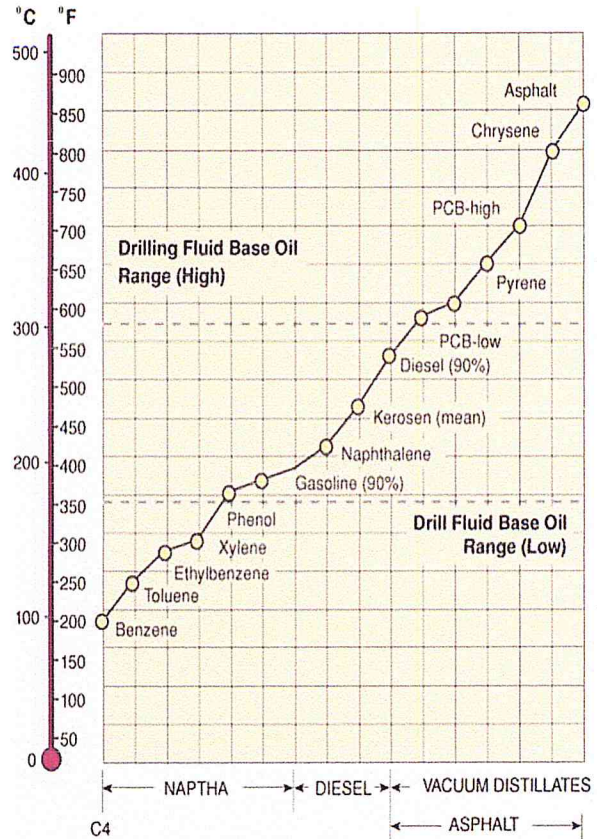


Figure (III-3) transformation des polluants en phase gazeuse en fonction de la T°

III.2.3. Stabilisation / Solidification (traitement physico-chimique) :

III.2.3.1. Description :

La solidification / stabilisation (S / S) sont des techniques comme si on enfermait les contaminants dans le sol. Il s'agit d'un processus qui encapsule le contaminant.

III.2.3.2. Procédés de stabilisation/solidification :

La tendance actuelle est au traitement privilégiant la valorisation par réutilisation. Les traitements de stabilisation/solidification ont pour but d'améliorer la rétention des polluants (les hydrocarbures et les métaux lourds contenus dans les déblais) et de conférer au matériau obtenu un certain niveau de durabilité structurale. Leur objectif n'est donc pas de réaliser un simple enrobage du matériau contaminé dans une matrice inerte, mais un processus physico-chimique complexe pour obtenir la stabilisation et la solidification des polluants,

Après traitement, et une fois que le processus de durcissement atteint, nous obtenons une matrice qui incorpore les rejets en une pierre synthétique, ce phénomène est appelé l'encapsulation. [19]

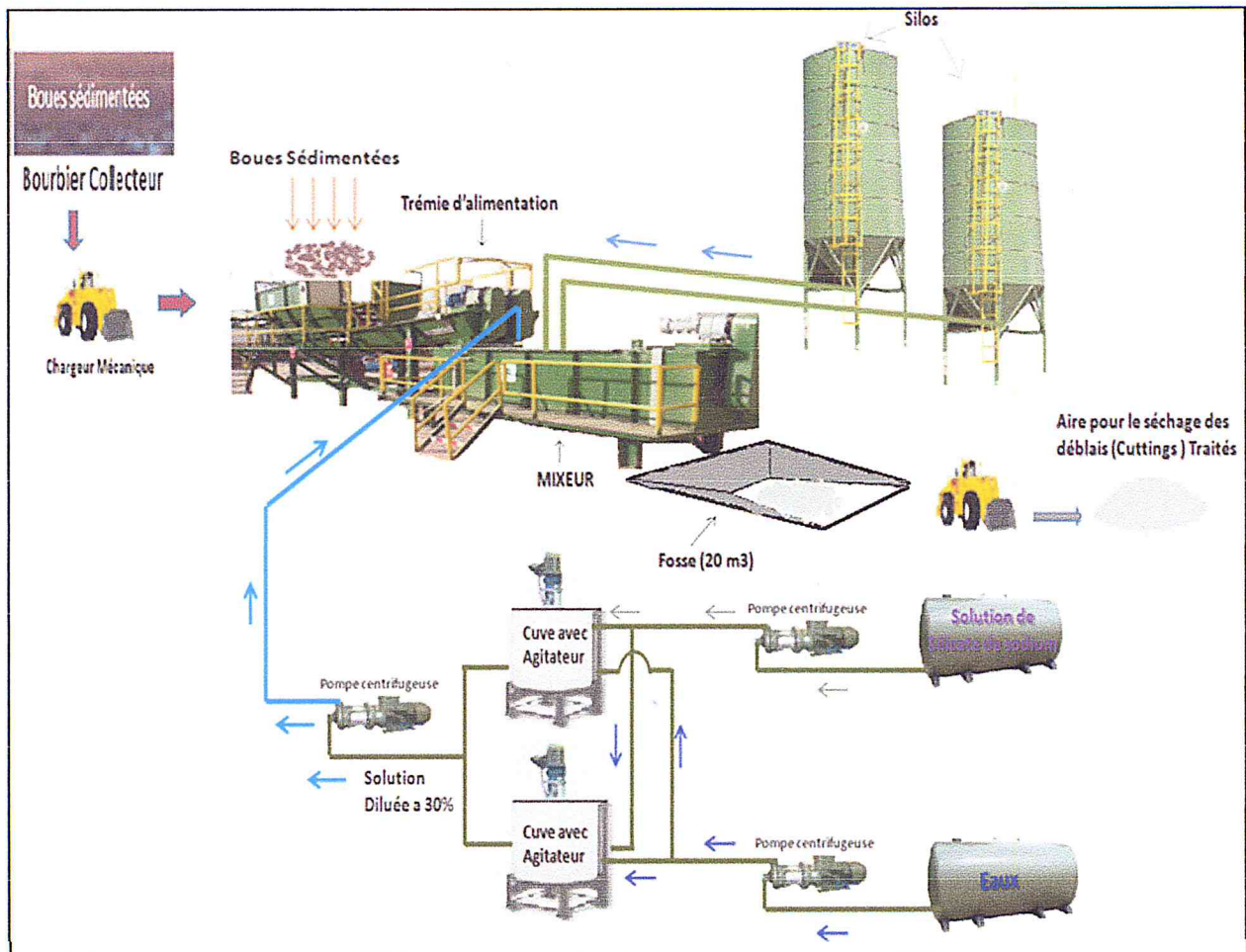


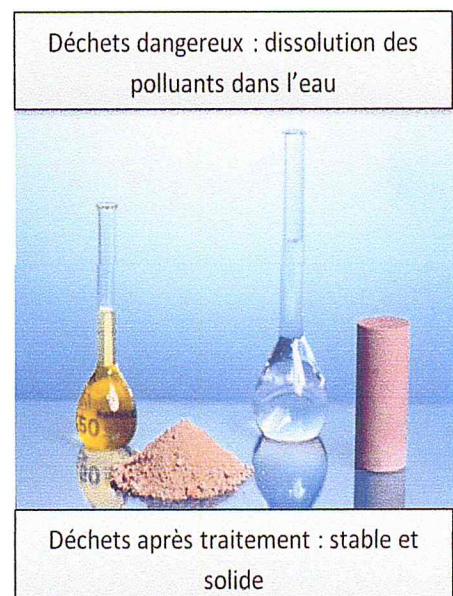
Figure (III.4) : stabilisation/ solidification et l'inertage des solides (boues résiduelles)

Cette technique utilise les propriétés physico-chimiques des ciments, utilisés comme liants hydrauliques, pour diminuer les risques sur l'environnement dûs au relargage des éléments métalliques ou radioactifs, etc.... Elle est basée sur deux approches :

La solidification : qui se réfère à l'encapsulation microscopique ou macroscopique des déchets pour former un matériel solide, sans induire de réactions chimiques entre les contaminants et les additifs.

La stabilisation : qui a pour objectif de diminuer chimiquement la mobilité et la toxicité des contaminants, en précipitant par exemple les ions métalliques sous forme d'hydroxydes.

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



III.2.3.3. Les différentes étapes de la solidification :

Bourbier en fin de forage



Bourbier traité



Unité de stabilisation /solidification



Produit stable



III.3. Les produits de traitement :

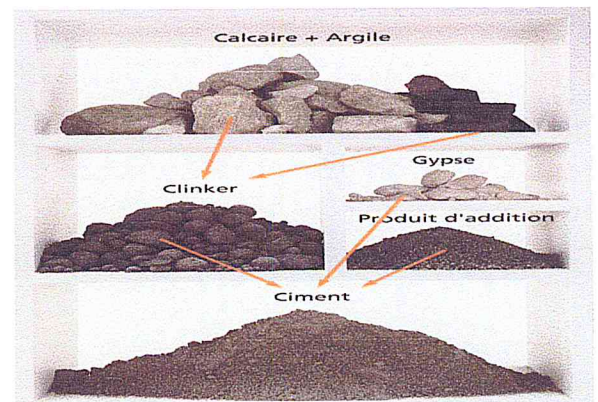
III.3.1. Un liant hydraulique (ciment) : est une poudre minérale qui forme avec l'eau une pâte faisant prise et durcissant progressivement. Les ciments sont des liants hydrauliques, formés de constituants anhydres, cristallisés ou vitreux. Ils résultent du broyage et de l'homogénéisation de divers composants.

A l'issue de la cuisson, nous obtenons 4 phases cristallines

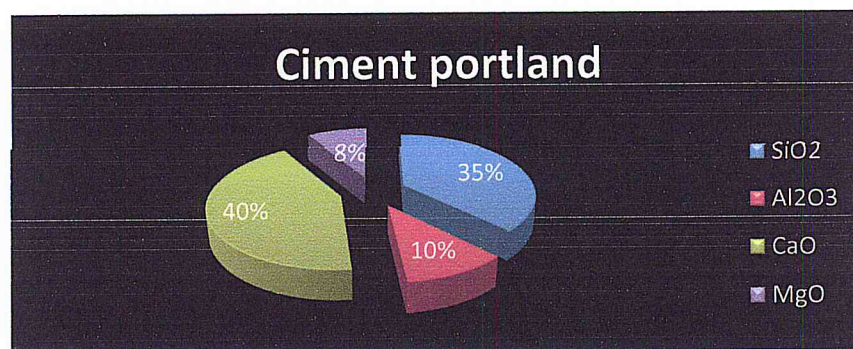
- ✓ 45 à 65 % de silicate tricalcique (Alite) C_3S
- ✓ 15 à 25 % de silicate bicalcique (Bélite) C_2S
- ✓ 0 à 10 % d'alumino-ferrite tétracalcique C_4AF
- ✓ 0 à 15 % d'aluminate tricalcique C_3A

Résumé chimique et notation cimentière :

- ✓ Silice SiO_2S
- ✓ Chaux..... CaOC
- ✓ Alumine..... Al_2O_3A
- ✓ Oxyde de Fer..... Fe_2O_3F



III.3.2. Composition chimique du ciment Portland Classe J :



III.3.3. L'hydratation du ciment :

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.

III.3.4. Hydratation du ciment en présence de polluant :

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 spécification chimique et les rendre moins solubles et moins mobiles.

Les deux types de ciments généralement utilisés pour le traitement sont :

- CPJ 325 (Ciment Portland Classe J)

La résistance à la compression: $2600 - 3000 \text{ g / cm}^2$

- CPJ 425

{	80 % CPA : ciment portland artificiel (ciment noble)
	10 % pouzzolane
	5 % chaux
	5 % laitier

La résistance à la compression : 3500 g / cm^2

Tableau (III.2). Comportement de As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb et Zn dans les matrices cimentaires.

Élément	État d'oxydation	Effet sur l'hydratation	Précipitation	Substitution dans les hydrates	Notes
As	-3, +3, +5	Augmente la prise sous forme +3. Retarde l'hydratation sous forme +5.	Complexe calcium-arsénite, arséniate de calcium et de fer.	L'arséniate peut se substituer au sulfate des ettringites.	As ³⁺ peut être adsorbé de manière significative par les CSH, l'adsorption dépend du rapport Ca/si.
Cd	+2	Augmente la formation d'ettringite	Cd(OH) ₂ , CaCd(OH) ₄	Peut se substituer au calcium	
Cr	+3, +6	Accélérateur ou retardateur de prise selon les auteurs. Augmente la formation d'ettringite.	Cr(OH) ₃ , CaCrO ₅ .3H ₂ O	CrO ₄ ⁵⁻ peut se substituer à SiO ₄ ⁴⁻ , Cr ³⁺ à Ca ²⁺ et Si ⁴⁺ .	
Cu	2+	Retarde l'hydratation.	Cu(OH) ₂ , CuSiO ₃ .H ₂ O		
Hg	2+		HgO		HgO souvent accompagné de carbonates.
Pb	+2, +4	Retarde l'hydratation.	Sulfate, carbonate, PbO, Pb(OH) ₂ , ions complexes en environnement très basique (ex : [Pb ₆ O(OH) ₆] ⁴⁺)	Peut se substituer au calcium.	
Zn	+2	ZnO ralentit l'hydratation, Zn ⁺² retarde la formation de portlandite. Augmente la formation d'ettringite.	Zn(OH) ₂ , dans des conditions très basique on peut aussi trouver Zn(OH) ₄ ²⁻ et Zn(OH) ₃ ⁻ .	Peut se substituer au calcium.	Zn(OH) ₄ ²⁻ et Zn(OH) ₃ ⁻ ne peuvent pas être adsorbés.

III.3.5. Les mécanismes de fixation des métaux lourds :

Deux voies sont associées dans cette technique : physique et chimique.

1. Par voie physique :

Appelée aussi « encapsulation » ou « enfermement », ce mécanisme peut se produire à l'échelle micro et macroscopique. Une molécule déchet est enfermée (à l'échelle micro) quand elle est piégée dans un réseau cristallin et polymérisé sans être liée chimiquement.

La qualité de l'immobilisation physique dépend donc de l'intégrité structurale du produit final, qui est liée à la résistance mécanique, la perméabilité et la durabilité.

La S/S par voie physique peut s'effectuer selon plusieurs procédés :

- Encapsulation thermoplastique : cette technologie est un procédé de S/S en lots où de l'asphalte bitumineux, de la paraffine ou du polyéthylène sont injectés dans un déchet chauffé et asséché pour former une matrice solide et stable qui devient rigide mais déformable.

Dans ce procédé, les contaminants sont physiquement incorporés dans des matériaux thermoplastiques mais sans être liés chimiquement.

- Encapsulation aux chlorures : ce procédé consiste à injecter le ciment, l'eau et les chlorures (additifs) dans les boues contaminés, par des composés organiques, des métaux lourds, des huiles ou des graisses. Ces additifs servent à encapsuler les contaminants organiques pour prévenir les interférences avec les procédés de solidification.

- Macro-encapsulation : on résume ce procédé par le fait de déposer les matériaux contaminés dans des enceintes munies d'un revêtement imperméable, par exemple, des barils spéciaux (en polyéthylène ou garnis de polyéthylène) avec couvercle soudé ou fusionné avec le baril pour former un contenant qui isole complètement les déchets de l'environnement.

Bien que la macro-encapsulation soit certainement l'un des procédés les plus efficaces de solidification, cette solution est forcément peu pratique pour de grands volumes de déchets ou de matrices à traiter, ce qui est souvent le cas avec les sédiments contaminés.

2. Par voie chimique :

Les matériaux ne réagissent pas chimiquement avec les milieux extérieurs, ils sont liés à l'intérieur du réseau cristallin.

Les trois phases des réactions chimiques entre les hydrates de ciment et les métaux lourds sont:

- La précipitation :

Dans le cas des métaux lourds sous forme de cations, le mécanisme de stabilisation le plus souvent évoqué est celui de la précipitation d'hydroxydes :

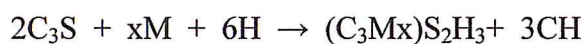
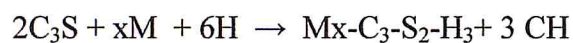
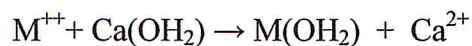


Les ions OH^{-} sont apportés par la réserve alcaline des liants hydrauliques. La solubilité de ces hydroxydes est dépendante du pH.

Certains hydroxydes de métaux sont susceptibles de se redissoudre quand le pH devient supérieur à une certaine valeur.

C'est le cas notamment du plomb, qui pour des valeurs de $pH > 12$, peut repasser en solution sous forme de plommate.

Les métaux lourds cationiques peuvent aussi se substituer au calcium lors de la formation des CSH. Ils sont alors intégrés aux constituants de la matrice selon les équations suivantes :



- L'adsorption:

Grâce à sa microstructure très fine et ses surfaces actives, le ciment hydraté constitue un support pour l'adsorption des produits précipités.

- La complexation :

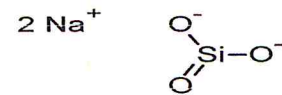
Les aluminates de calcium provenant de l'hydratation des liants hydrauliques forment de nombreux sels complexes très peu solubles. Les plus connus sont ceux obtenus à partir des sulfates : le trisulfoaluminate de calcium (étringite) et le monosulfoaluminate de calcium.

Ces phases sont très intéressantes car elles se forment rapidement et mobilisent une grande quantité d'eau. Mais leur grand intérêt pour la stabilisation réside dans le fait que des composés complexes analogues peuvent se former avec d'autres anions que les sulfates (SO_4^{2-}) : chlorures, carbonates, chromates, nitrates.

La capacité d'immobilisation des métaux lourds dépend fortement de leurs propriétés chimiques (valence, forme de l'élément, solubilité...) et du milieu dans lequel ils sont stabilisés, ainsi, que le pH joue un rôle dans la solubilisation ou l'insolubilisation des métaux lourds.

III.4. Les silicates :

Le silicate de sodium est une liaison de synthèse de dioxyde de silicium (SiO_2 de sable blanc pur), d'oxyde disodique (Na_2O) et d'eau.



III.4.1. Effet des silicates de sodium sur le traitement des cuttings :

Lorsque les silicates sont en contact avec les solides, il forme un film très imperméable autour de la particule solide. Ce phénomène est appelé l'encapsulation.

De même, les silicates forment avec les métaux lourds contenus dans les solides des précipités très faiblement solubles, ce qu'on appelle : la stabilisation.

En fin, le mélange (solides, silicates) avec le mortier ciment donne une pierre synthétique, ce qu'on appelle : la solidification. Le ciment aussi renforce la qualité du film silicate encapsulateur suite à la réaction avec le calcium libéré du ciment.

De même, on peut ajouter des produits chimiques stabilisateurs de métaux lourds (réaction complexométrique qui donne un composé insoluble).

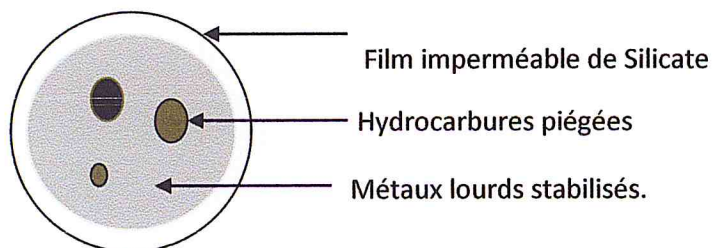


Figure III-5 Schéma Représentatif de l'action des silicates sur les déblais

III.5. Applications :

La S/S est utilisée dans des projets d'assainissement pour traiter le sol, les sédiments et les boues. La technologie a une efficacité éprouvée face aux constituants dangereux tant inorganiques qu'organiques. Des projets de S/S à grande échelle ont servi à traiter des constituants inorganiques tels que plomb, cadmium, arsenic et chrome, et des constituants organiques tels que goudron de houille, déchets de raffinerie, créosote et autres hydrocarbures aromatiques polycycliques et biphényles polychlorés (BPC).

III.6. Avantages :

La S/S est une technologie d'assainissement rentable qui protège la santé humaine et l'environnement. Elle est souvent utilisée pour traiter des déchets issus de l'assainissement d'un site, afin de réduire leur niveau de dangerosité et ainsi permettre qu'ils soient envoyés dans les sites d'enfouissement ordinaires plutôt que ceux, plus coûteux, réservés aux matières dangereuses. Le traitement S/S sur place permet souvent de réutiliser la matière traitée lors du réaménagement du site. La réutilisation permet d'éviter les risques et responsabilités associés au transport ainsi que les coûts du remblai nécessaire pour remplacer la matière enlevée.

Le traitement S/S *in situ* des sites contaminés a augmenté grâce à des innovations dans la composition et les techniques de production des mélanges. Le traitement *in situ* consiste à incorporer les liants réactifs directement au sol contaminé, sans devoir assumer les risques et les coûts de l'excavation. Le traitement peut être effectué rapidement, en perturbant au minimum les environs et en exposant le moins possible les travailleurs et le public à des constituants dangereux.

L'efficacité de la S/S pour traiter les constituants dangereux aussi bien inorganiques qu'organiques est avantageuse puisqu'elle permet de traiter au moyen d'une seule technologie des sites contaminés par une variété de substances.

III.6.1 Avantages pour l'environnement :

Le traitement S/S de sols, de sédiments et de boues contaminés constitue un moyen sûr d'assainir des lieux contaminés. Le traitement sur place et dans le sol réduit le risque pour le public et l'environnement ainsi que pour les travailleurs. La réutilisation de la matière traitée contribue au développement durable dans le réaménagement de friches industrielles.

Il existe à travers le monde, d'autres modes de traitements des déblais :

- Décharge en surface (Surface Discharge)
- Injection
 - Injection dans l'annulaire du puits (Annular Injection).
 - Injection au fond d'un puits (Downhole Injection).
- Méthodes de traitements biologiques (Biotreatment Methods)
 - Culture sur sol (Landfarming).
 - Epannage sur sol (Landspreading).
 - Compostage (Composting).
 - Traitement biologique dans des bacs (Biological Treatment in Tanks).

- Traitement biologique par unités assemblées (Biological Treatment – Package Units).
- Méthodes de traitement thermiques (Thermal Treatment methods).
 - Incinération (Incineration).
 - Four à ciment (Cement Kilns-Fuels Blending).
 - Brûlure à ciel ouvert (Open Burning).
 - Distillation (Thermal Desorption Systems).
- Méthodes de traitement par Solidification, Stabilisation et Encapsulation.
 - Remblai de remplissage (Landfill).
 - Enterrement (Burial).
 - Imperméabilisation des bourniers de stockage (Pit Management).
 - Extraction au solvant.

Le solvant utilisé dans cette dernière méthode peut être un composé organique ou tout simplement de l'eau traitée par des surfactants en vue d'une amélioration de ses propriétés de nettoyage. Le choix de ces derniers constitue le point clé pour toute réussite d'une opération de lavage à l'eau.

III.8. Conclusion :

Confrontées à la constante évolution des législations en matière de protection de l'environnement durant ces dernières années, les mesures relatives aux traitements des rejets industriels n'ont cessé d'orienter vers des techniques d'élimination, de plus en plus adaptées aux impératifs imposés par les normes environnementales, afin de protéger le milieu naturel des préjudices que ces rejets seraient susceptibles de lui porter.

Ces techniques ne sont pas à seules suffisantes car, ne sont qu'un moyen de protection et non une fin en soi. Il s'agira en effet d'adapter le principe d'une technologie propre, ayant pour objectif d'inciter les industriels à développer et d'utiliser des procédés qui conduiront à produire des déchets moins abondants plus faciles à éliminer.

Partie expérimentale

Chapitre IV

Optimisation du procédé de traitement par Stabilisation / Solidification

Introduction

Sur le champ de Hassi Messaoud, les systèmes à base d'eau (WBM) sont généralement utilisés pour le forage de la première phase. Pour le reste du puits, on utilise des systèmes de fluides émulsionnés (OBM). Dans l'attente des techniques de traitement, des centaines de mètres cubes de fluides sont rejetés dans la nature. Souvent, il faut compter des mois, voire des années, pour procéder à ce traitement et, entre temps, une grande quantité d'hydrocarbures s'évapore, s'infiltrer, s'adsorbe et pollue l'environnement.

Dans l'objectif d'évaluer de ces techniques de traitement (traitement mécanique, solidification et traitement thermique), une série d'analyses a été effectuée sur des dizaines d'échantillons de borbiers, on a commencé par l'analyse de ces borbiers avant le traitement.

Après ça on a fait des diagnostics des traitements de la pollution appliqués sur HMD à partir des analyses de borbiers avant et après la solidification pour déterminer les valeurs optimales du ciment, calcite, bentonite, le silicate de sodium. Et la variation de résistance libre, la porosité et la perméabilité en fonction de la quantité du ciment, pour évaluer la validité de solidification avec le temps.

Finalement on a fait quelques analyses avant et après le traitement par stabilisation/solidification pour évaluer l'efficacité de cette méthode.

IV.1. Les analyses en laboratoire :

Les analyses en labo déterminent les valeurs optimums des quantités de ciment, calcite, silicate et la bentonite pour la méthode de solidification.

Pour cela il est nécessaire de passer par les étapes suivantes :

IV.1.1. Optimisations des quantités d'adjuvant :

L'optimisation du ciment, la calcite et la bentonite se fait par la variation de ces quantités ajoutées à chaque mélange, tout en fixant, un volume constant du silicate de sodium.

la chaux : Pour optimiser la chaux, nous faisons varier la quantité ajoutée à chaque échantillon tout en maintenant la quantité du ciment à 180kg/m^3 , 200kg/m^3 , 250kg/m^3 .

Remarque :

Les pourcentages des minéraux ajoutés se réfèrent à la quantité de ciment utilisée.

IV.2. Méthodes et moyens utilisés :

IV.2.1. Résistance à la compression libre :

Pour les matériaux de construction, les propriétés de perméabilité, durabilité, résistance à la compression sont intimement liées, donc les mesures de la résistance à la compression donnent des indications sur les 2 autres propriétés.

Pour les déchets solidifiés, la structure est beaucoup plus gélatineuse : les 3 propriétés ne sont plus liées, la résistance à la compression n'est plus directement liée à la porosité ni à la perméabilité du matériau. La relation durabilité - résistance à la compression est plus complexe, pour les déchets inertes, la durabilité augmente avec la résistance.

Le test de la résistance à la compression est réalisé sur des échantillons cubiques ou cylindriques. Nos analyses ont été effectués sur des échantillons cubiques.

Les moules pour les cubes d'essais doivent être en bronze avec des surfaces intérieures parallèles entre elles et surfacées a la machine. On ne doit pas utiliser des moules en bois. Chaque moule devra reposer sur un socle métallique ajusté pour éviter les fuites.

Il est essentiel de conserver le moule et le socle bien propres. Les deux devront être légèrement huilés pour éviter l'adhérence de l'échantillon cimenté sur les côtés.

IV.2.2. Influence de l'action du lessivage d'une eau acidifiée sur la résistance à la RC:

Cette expérience a pour but de rendre les rejets inertes à l'action du lessivage des eaux (on assimile les pluies acides).

C'est pour cette raison que les tests de conformité effectués au laboratoire doivent répondre à la norme AFNOR.

Le but est de simuler l'action du lessivage en laboratoire en prenant des échantillons sous forme de cubes (5cm d'arête).

On prend 3 cubes (ceux qui ont donné les valeurs optimales dans la résistance à la compression) :

- 1) Ciment + eau (on le prend comme référence)
- 2) Ciment + eau + 3 % de calcite (3% de la quantité de ciment)
- 3) Ciment + eau + 4 % de bentonite (4% de la quantité de ciment)

IV.2.3. Les tests pétro-physique :

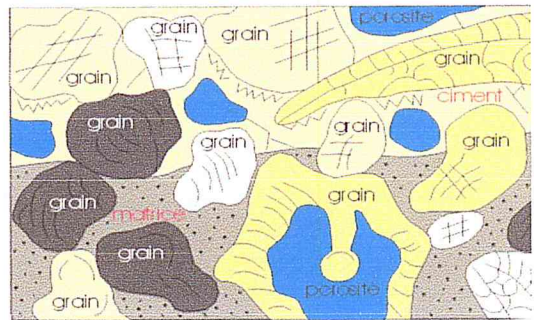
a) Porosité :

Ce paramètre est un facteur clé en ce qui concerne notre étude, il dicte le comportement du déchet en présence d'un liquide (absorption).

La caractérisation de la porosité est effectuée par une ou plusieurs mesures physiques selon la taille des pores.

L'intrusion au mercure permet de déterminer le volume poreux et la distribution de la taille des pores de diamètre supérieur à 75 Å (pour des pressions jusqu'à 2000 bars), c'est-à-dire des macropores jusqu'à une partie des mésopores.

La répartition de la taille des mésopores et des micropores est déterminée à partir des isothermes d'adsorption ou de désorption de l'azote ou de l'argon. Dans le cas des mésopores (taille comprise entre 20 et 500 Å), la méthode utilisée est celle de Brunauer, Joyner et Halenda (B.J.H.). Elle consiste en la détermination d'un volume d'azote ou d'argon désorbé quand on abaisse la pression d'équilibre (évaporation capillaire). Pour faciliter les calculs, les pores sont supposés cylindriques.



La méthode de Horvath et Kawazoe est utilisée dans le cas des micropores (taille comprise entre 5 et 20 Å). Elle est basée sur le potentiel d'interaction entre une molécule d'adsorbat et l'échantillon à analyser.

b) Perméabilité :

La perméabilité d'un matériau (une roche, un tissu, etc.) correspond à son aptitude à se laisser traverser par un fluide de référence sous l'effet d'un gradient de pression.

La perméabilité k s'exprime généralement en Darcy (D). Un darcy correspond à la perméabilité d'un corps continu et isotrope au travers duquel un fluide de viscosité équivalente à celle de l'eau à 20 °C s'écoule à une vitesse de $1 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ lorsqu'il est soumis à une pression de 1 atm, ce qui correspond à la dimension d'une surface. $1 \text{ D} = 0,97 \times 10^{-12} \text{ m}^2$

Le terme de conductivité hydraulique (ou coefficient de perméabilité K) est le rapport entre cette perméabilité et la viscosité du fluide (généralement le fluide est l'eau). Plus un milieu est perméable plus le fluide s'écoulera vite. La conductivité hydraulique s'exprime en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$. La conversion suivante est disponible pour l'eau : $10^{-12} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1} \cong 10^{-19} \text{ m}^2 \approx 10^{-7} \text{ D}$.

IV.2.4. La teneur en huile :

a. Mode d'emploi :

La détermination du pourcentage massique de l'huile se fait à l'aide d'un distillateur de boue (Distillateur FANN). Pour y parvenir nous procédons comme suit :

On désaccouple la cellule, du godet qu'on remplit de notre échantillon à distiller.

D'autre part, on remplit la cellule avec la laine de fer, En suite on visse le godet sur cette dernière. Une fois le couple godet-cellule monté, on place le condenseur.



Figure (IV.1) : Distillateur à boue

Ensuite, on place le couple godet-cellule à l'intérieur de la chambre de chauffage et le condenseur à l'extérieur. Sous le tube de sortie du condenseur on place une éprouvette graduée pour récupérer le distillât et on relie le distillateur a une source de courant appropriée, lorsqu'il ne sort plus de liquide du condenseur, après 45 à 60 minutes environ, on coupe le courant et on lit le volume d'eau et d'huile.

b. Evaluation du % massique de l'huile :

Pour évaluer le pourcentage massique de l'huile nous devons convertir le volume de cette dernière (volume lu sur l'éprouvette).

La différence entre la masse de l'éprouvette pleine et la masse de ce dernier vide nous donne la masse du distillât, de la même manière, la différence entre la masse du godet plein et la masse de ce dernier vide nous donne la masse de la prise d'essais. Pour avoir la masse de l'huile il faut soustraire le volume d'eau de la masse du distillât et par la suite calculer le rapport entre la masse de l'huile, multipliée par cent et la masse de la prise d'essais. Le résultat ainsi obtenu est le pourcentage massique de l'huile au sein de notre échantillon.



Figure (IV.2) : volume du distillât

Masse du distillât = Masse de l'éprouvette pleine - masse de l'éprouvette vide (1)

masse de l'huile = Masse du distillât - volume d'eau (volume d'eau = sa masse, car sa densité est de 1) (2)

- masse de la prise d'essais = Masse du godet plein - masse du godet vide (3)

le % massique de l'huile = [(Masse de l'huile) / (masse de la prise d'essais)] x 100... (4)

IV.2.5. La spectrométrie d'absorption atomique pour la rétention des métaux lourds :

L'essai de lixiviation, permet une extraction liquide-solide, après une opération de mise en contact de l'échantillon destiné à l'essai avec une solution aqueuse (25 g de l'échantillon dans 250 ml d'eau distillée acidifiée, (PH= 2,88), pour simuler la pluie acide). La mise en contact permet le passage des métaux lourds solubles dans la solution.

Cette opération est suivie d'une séparation ultérieure (filtration), permettant l'obtention d'un ou plusieurs éluents ces derniers sont analysés par la méthode de la spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA), qui permet de quantifier les concentrations des métaux lourds. [20]

IV.3. Appareillages utilisés dans laboratoire :

- **Distillateur API:** l'appareil utilisé pour la distillation des solides est un distillateur de technologie API (American Petroleum Institute). La température de distillation peut aller jusqu'à 800°F. (550°C)



Figure (IV.3) : Distillateur à boue

- **Presse hydraulique :** Une presse hydraulique est une machine avec un circuit hydraulique qui fournit une grande force de compression. Elle permet de transmettre un effort démultiplié et un déplacement, servant à écraser, déformer un objet ou soulever une pièce lourde.

Elle est hydrauliquement équivalente à un mécanisme à bras de levier, la presse hydraulique repose sur le principe de Pascal.



Figure (IV.4) : presse hydraulique

- **Le spectrophotomètre d'absorption atomique:** est un appareil de dosage des métaux à partir de la phase liquide de l'échantillon étudié (IV.5)



Figure (IV.5) : SAA

- **Le filtre presse API:** est une machine permettant de séparer un mélange solide-liquide.

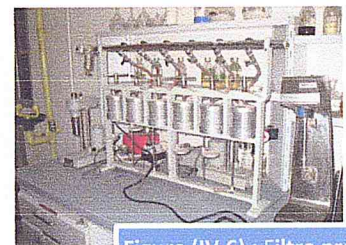


Figure (IV.6) : Filtre presse

- **L'étuve de séchage rotatif :** est une machine principalement adaptée pour rôtir des laitiers, des cendres de charbon, des argiles, etc.



Figure (IV.7) : étuve de séchage rotatif

- **Mixeur Hamilton beach :** une machine utilisée pour mélanger des poudres, des pâtes, des granulés, etc.

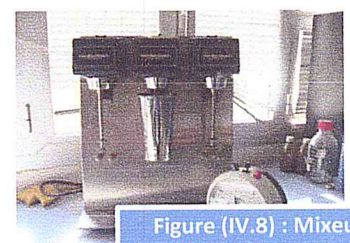


Figure (IV.8) : Mixeur Hamilton Beach

IV.4. Résultats et discussions :

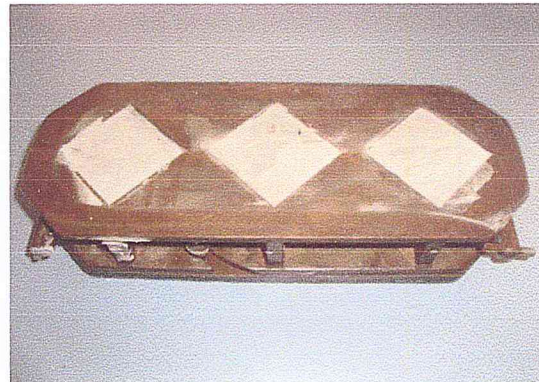
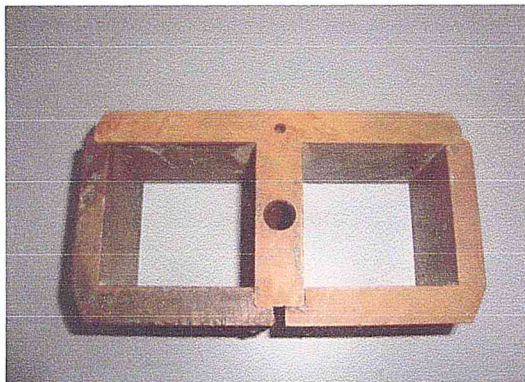
1) Hydratation du ciment :

On mélange eau + ciment (10g de ciment + des volumes d'eau jusqu'à l'hydratation totale du ciment CPJ42.5).

Tableau (IV.1) : hydratation du ciment.

Ciment	10 g	10 g	10 g
eau	5 ml	5 ml	5 ml

Après plusieurs essais le volume d'eau optimum pour hydrater 10 g du ciment a été trouver égale à 5 ml ensuite on prépare des cubes de 5 cm d'arête afin de mesurer les tests petro physique et la RC



Figure(IV.9) : Les Cubes utilisés (5cm d'arête)

2). Influence des hydrocarbures sur la RC :

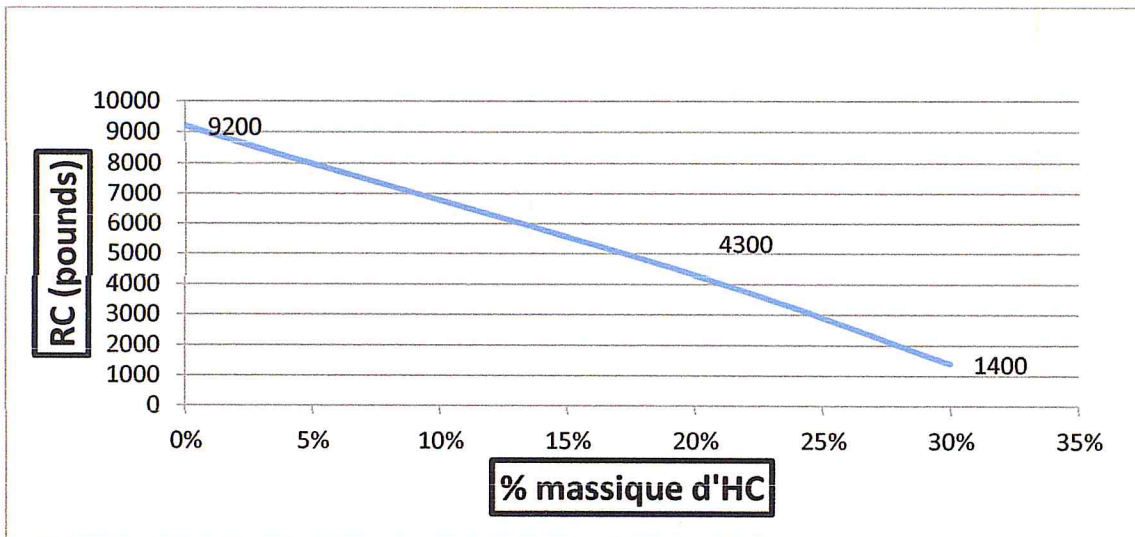
Protocole expérimental :

- On mélange 750 g de ciment + 375ml d'eau + (30% , 20%) d'hydrocarbure (gasoil) (d=0.8) dans un récipient ensuite on verse ce mélange homogène dans les moules et on les laisse sécher pendant 24H

Les résultats de l'essai de la résistance à la compression sont rapportés dans le tableau ci-dessous (IV.2)

Le tableau (IV.2) : résultat du test de la résistance à la compression libre appliquée à trois échantillons traités.

% massique d'hydrocarbure	0%	20%	30%
RC en pounds	9200	3100	2500



Figure(IV.10) : Influence de la concentration des hydrocarbures sur la RC

La figure ci-dessus (IV.10) illustre la variation de la résistance à la compression libre en fonction de la concentration en hydrocarbure, On constate que la RC de notre échantillon diminue au fur et à mesure qu'on rajoute de l'hydrocarbure, et cette diminution est due à ses propriétés physico-chimiques, elle peut augmenter la perméabilité de notre matrice cimentaire, donc la rendre friable et moins résistante à l'infiltration des liquides à l'intérieur.

3). Influence de la quantité de calcite et de bentonite sur la résistance à la compression :

Protocole expérimental :

- On mélange 750 g de ciment + 375 ml d'eau + Et on procède à une variation croissante de la quantité de bentonite et de calcite dans l'intervalle [0,5%] ensuite on verse ces mélanges homogènes dans les moules et on les laisse sécher pendant 24H

Les résultats de l'essai de la compression sont rapportés dans le tableau ci-dessous (IV.3)

Le tableau (IV.3) : représente le résultat du test de la résistance à la compression libre appliquée à nos échantillons traités.

% massique de calcite		0%	1%	2%	2.5%	3%	4%	5%
RC en pounds	1 ^{er} essai	9200	3600	4800	6100	6900	5600	1600
	2 ^{er} essai	9150	3100	4900	6000	6900	5600	1600

Les résultats de l'essai de la compression sont rapportés dans le tableau ci-dessous (IV.4)

Le tableau (IV.4) : résultats du test de la résistance à la compression libre

% massique de bentonite		0%	1%	2%	2.5%	3%	4%	5%
RC en pounds	1 ^{er} essai	9200	3100	2500	2300	2900	4400	2000
	2 ^{er} essai	9150	3300	2600	2400	2900	4400	2100

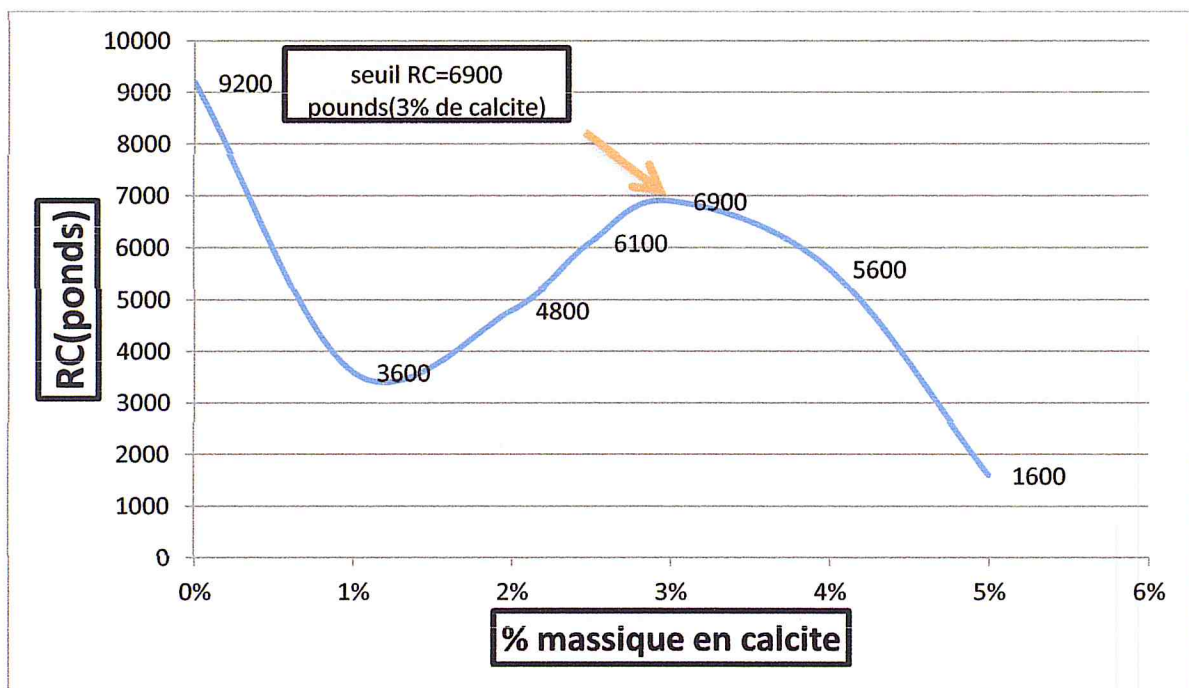
Afin d'évaluer la quantité correspondante a une meilleur solidification on procède à une variation croissante de la quantité de calcite dans l'intervalle (0%-5%)

Nous avons lancé notre expérience par une quantité initiale en calcite et en bentonite de 0%

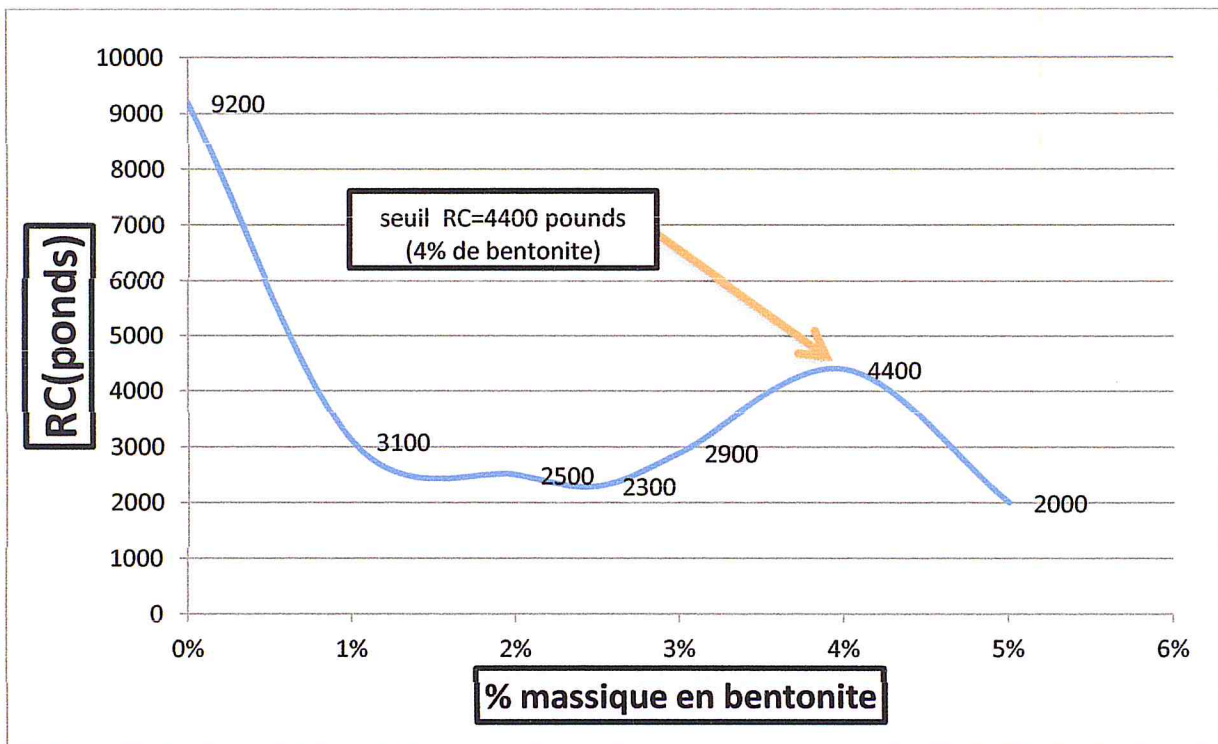
Les deux figures (IV.11,12) illustrent la variation de la résistance à la compression libre en fonction de la quantité de calcite,et de bentonite ajoutée.

Pour la figure (IV.11) la RC augmente avec le % de calcite pour atteindre un maximum de 6900 pounds pour 3% de calcite ensuite elle décroît jusqu'à 1600 pounds pour 5 % de calcite

En ce qui concerne l'ajout de la bentonite [figure (IV.12)] la RC commence à augmenter réellement qu'à partir de 3 % pour atteindre un maximum de 4400 pounds et décroît au-delà de 4%



Figure(IV.11) : Evolution de la résistance à la compression en fonction de la quantité de calcite



Figure(IV.12) : Evolution de la résistance à la compression en fonction de la quantité de bentonite

cette diminution est due à la granulométrie de la bentonite comme pour la calcite, elle peut augmenter la perméabilité de notre matrice cimentaire , donc la rendre moins résistante à l'infiltration des liquides à l'intérieur .

4). Les résultats des mesures pétro-physique des matrices cimentaires en fonction des quantités de bentonite et de calcite ajoutées.

Tableau (IV.5) : représente les résultats des mesures de la porosité et la perméabilité

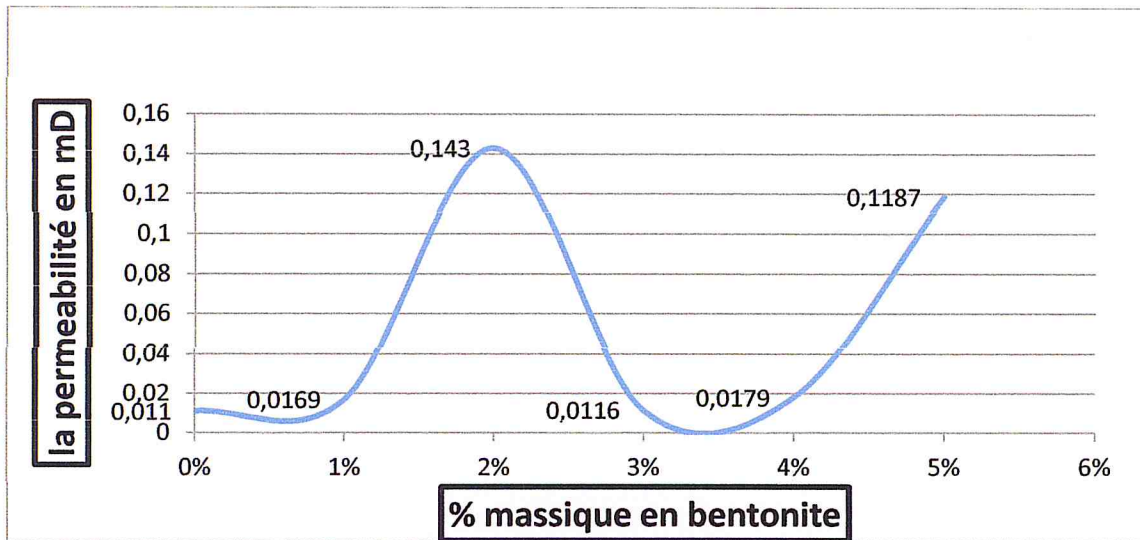
	Essais 1	Essais 2	Essais 3	Essais 4	Essais 5	Essais 5
% massique de bentonite	0%	1%	2.5%	3%	4%	5%
La porosité %	11.130	6.511	28.779	11.508	11.397	28.764
La perméabilité mD	0.0110	0.0169	0.1430	0.0116	0.0179	0.1187

Tableau (IV.6) : résultats des mesures pétro-physiques (porosité et perméabilité).

% massique de calcite	0%	1%	2.5%	3%	4%	5%
La porosité %	11.130	1.177	21.516	13.947	11.701	12.909
La perméabilité mD	0.0110	0.0113	0.0174	0.0118	0.0110	0.0152

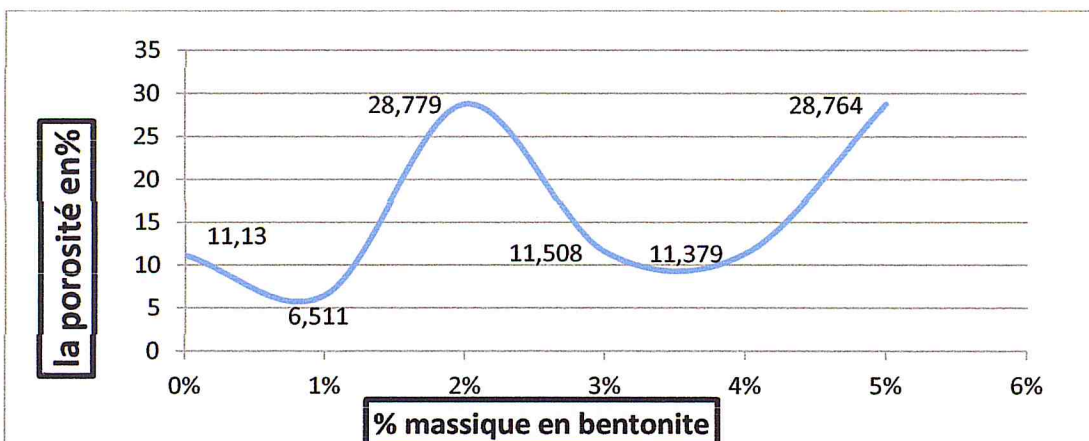
Résultats obtenu à partir de mesures expérimentales de la perméabilité pour des matrices cimentaires :

Les quatre figures (IV.13, 14, 15,16) montrent l'effet de la variation de la perméabilité et la porosité de la matrice cimentaire en fonction des quantités de bentonite et de calcite ajoutées.



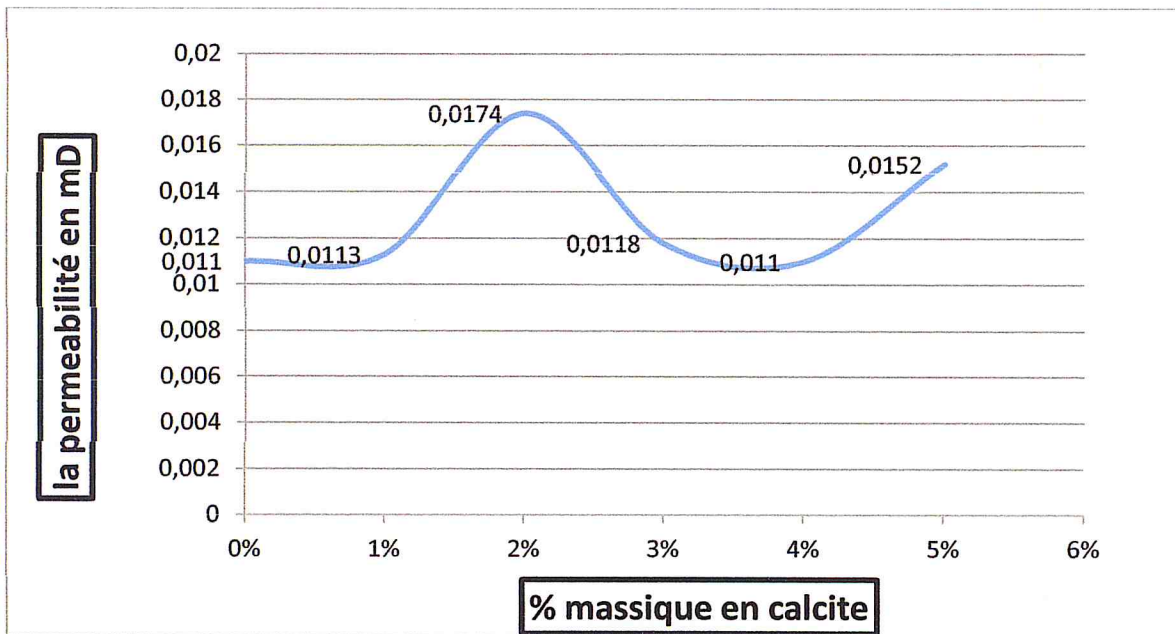
Figure(IV.13) : Evolution de la perméabilité en fonction de la quantité de bentonite

Résultats obtenu à partir de mesures expérimentales de la porosité pour une matrice cimentaire :



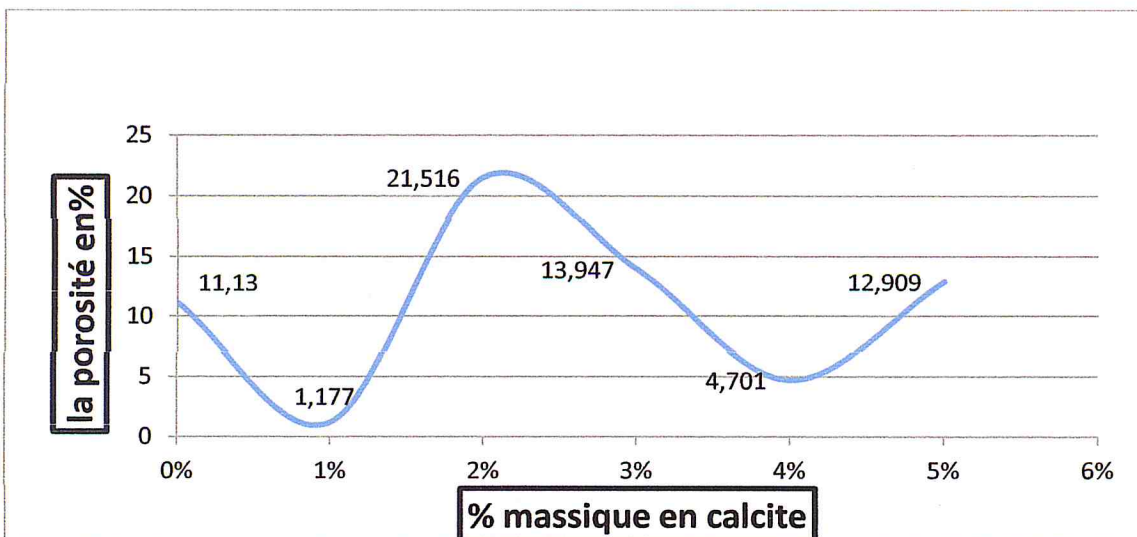
Figure(IV.14) : Evolution de la porosité en fonction de la quantité de bentonite

Figure (IV.15): Résultats obtenus à partir de mesures expérimentales de la perméabilité pour les matrices cimentaires :



Figure(IV.15) : Evolution de la perméabilité en fonction de la quantité de calcite

Figure (IV.16): Résultats obtenu à partir de mesures expérimentales de la porosité pour les matrices cimentaires :



Figure(IV.16) : Evolution de la perméabilité en fonction de la quantité de calcite

On constate que l'optimum de la perméabilité et la porosité est atteint pr 3% de bentonite et 4% de calcite.

La réduction de la porosité et la perméabilité signifie une minimisation de la quantité d'eau introduite dans le mélange. Ce raisonnement est toutefois sommaire. Expérimentalement, on montre qu'il existe un rapport optimal, qui dépend non seulement des conditions de mise en œuvre mais aussi de la composition du squelette granulaire et de la richesse en ciment du mélange, pour lequel la porosité de la matrice est minimale donc la résistance est maximale.

D'une façon générale la porosité et la perméabilité diminuent avec l'augmentation de la résistance à la compression

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.

5). Influence de l'action du lessivage d'une eau acidifiée sur la résistance à la compression:

La préparation de la solution :

On introduit dans un flacon en verre de 1000 ml, 5.7ml d'acide acétique (99.5%) et on complète avec de l'eau distillée jusqu'au trait pour avoir une solution diluée de 1000ml de CH₃COOH avec un pH=3

Puis On plonge les trois cubes dans un bain rempli de cette solution préparée précédemment pendant 4 h, ensuite on les laisse sécher a l'air libre.

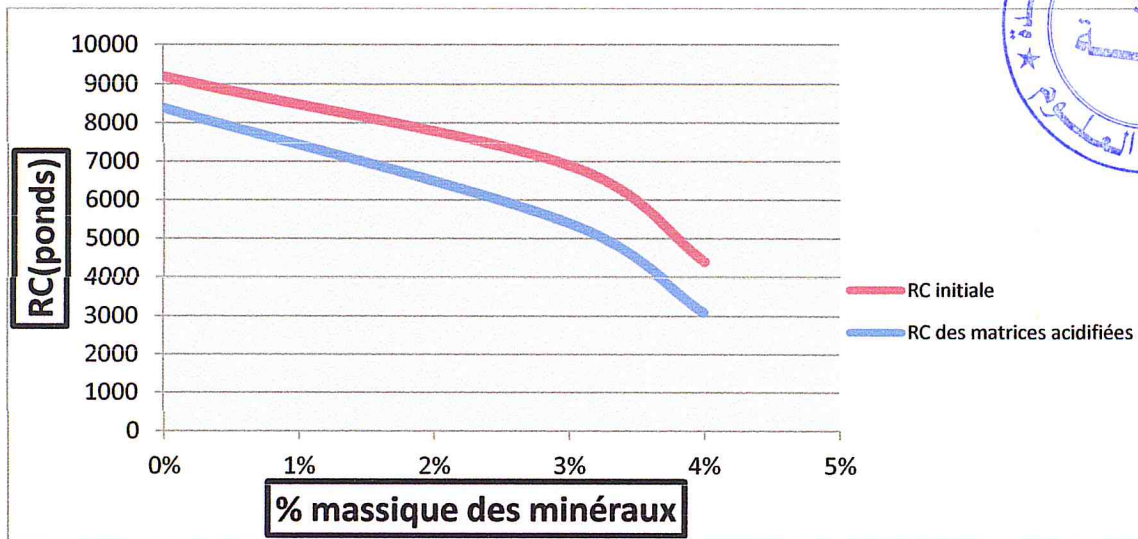
Les résultats de l'écrasement sont présentés ci-après :

Le tableau (IV.7) représente le résultat du test de la résistance à la compression libre appliquée à nos échantillons traités.

Le tableau (IV.7) : résultat du test de la RC.

Le % massique des optima	RC en pounds (Initiale)	RC en pounds (matrices acidifiées)
Ciment +eau	9200	8400
Ciment +4 % de bentonite	4400	3100
Ciment + 3 % de calcite	6900	5400

D'après le graphe, on constate que la résistance à la compression libre de nos échantillons traités est diminuée ,d'ailleurs les résultats de l'analyse de nos échantillons après le traitement répondent parfaitement à la norme (supérieurs aux valeurs minimales tolérées)



Figure(IV.17) : Effet d'une eau acidifiée sur la RC

6). Teneur en huile :

6.1). Variation du volume d'huile récupéré en fonction de la quantité de ciment :

Protocole expérimental :

- On introduit dans un récipient 500 g de borbier + (41.7, 46.33 , 57.92 g)de ciment + 4.74 ml de silicate de sodium +20.85 ml de l'eau puis on mélange à l'aide d'un mixeur jusqu'à avoir un mélange homogène et on le laisse sécher à l'air libre.

Le Tableau (IV.8) , représente les différentes mesures de cette expérience ; et a partir de ces résultats on détermine la valeur optimale de la quantité de ciment CPJ425.

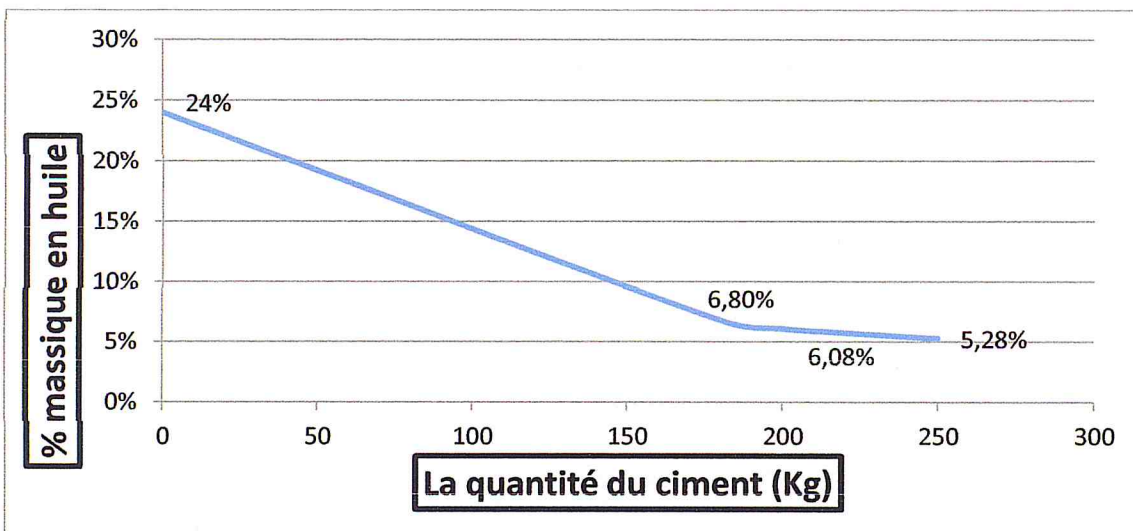
Après la variation des quantités du ciment en Kg/m^3 , nous remarquons une chute de teneur en huile de 24 % à 5.28 %.

Tableau (IV.8): influence de la quantité de ciment sur la teneur en huile.

Quantité du ciment CPJ425 en Kg / m ³	Poids de cuttings en g	Volume de silicate de sodium en Kg/m ³	Volume d'huile En (ml)	% massique en huile
0	100	0	30 ml	24 %
180	100	8	8.5 ml	6.8 %
200	100	8	7.6 ml	6.08 %
250	100	8	6.6 ml	5.28 %

Le graphe (IV.18), représente la variation de la teneur en hydrocarbures, en fonction de la variation de la quantité du ciment CPJ425, en présence d'une concentration fixe en silicate de sodium (17.94 l/m³).

D'après de la figure (IV.18), on constate que la teneur en hydrocarbures, en présence d'une concentration fixe en silicate de sodium, est inversement proportionnelle à la quantité du ciment ajoutée, mais on remarque aussi, qu'entre des valeurs de la quantité du ciment, comprises entre 200 et 250 kg/m³ la diminution n'est pas très importante (de 6,24 à 5,28%), Cela peut être justifié par le fait que le ciment crée une matrice solide qui protège le film formé par le silicate de sodium et renforce l'encapsulation. Donc la teneur en hydrocarbures diminue au fur et à mesure qu'on rajoute du ciment, mais en atteignant une certaine valeur du ciment rajoutée, la teneur en huile continue à baisser mais d'une manière moins rapide. Donc L'effet du ciment est plus intéressant à des teneurs élevées en hydrocarbures.



Figure(IV.18) : Influence de la quantité du ciment sur la teneur en huile

Ces résultats permettent de constater, qu'effectivement le traitement par stabilisation\solidification permet d'atteindre des performances de l'ordre de 5.28%.

Pour des raisons économiques (coût du ciment), on a pris dans ce qui suit une quantité optimale de ciment égale à 250 kg /m³ et on a essayé d'améliorer la solidification avec la chaux.

6.2).Influence de la quantité de chaux sur la teneur en huile :

Protocole expérimental :

- On introduit dans un récipient 500 g de sol contaminé + (41.7 - 46.33- 57.92 g) de ciment + 4.74 ml de silicate de sodium+ (5-10 g) de chaux (1-2 %de la quantité de borbier) +20.85 ml de l'eau puis on mélange à l'aide d'un mixeur jusqu'à avoir un mélange homogène et on le laisse sécher à l'air libre.

Après la variation des quantités de chaux entre 0% et 2% (Les pourcentage sont exprimés par rapport au poids initial des cuttings contaminés.), nous remarquons une chute de teneur en huile de 6.8 %à 3.2%.

Tableau (IV.9) : Variation du volume d'huile récupéré en fonction de la quantité de la chaux.

Quantité du ciment CPJ425 en Kg / m ³	Poids de cuttings en g	Volume de silicate de sodium en l/m ³	% de chaux (rapport au poids initial des cuttings contaminés)	Volume d'huile En (ml)	% massique en huile
180	100	17.94	0	8.5 ml	6.8 %
180	100	17.94	1	8 ml	6.4 %
180	100	17.94	2	8 ml	6.4 %

Tableau (IV.10): Variation du volume d'huile récupéré en fonction de la quantité de la chaux.

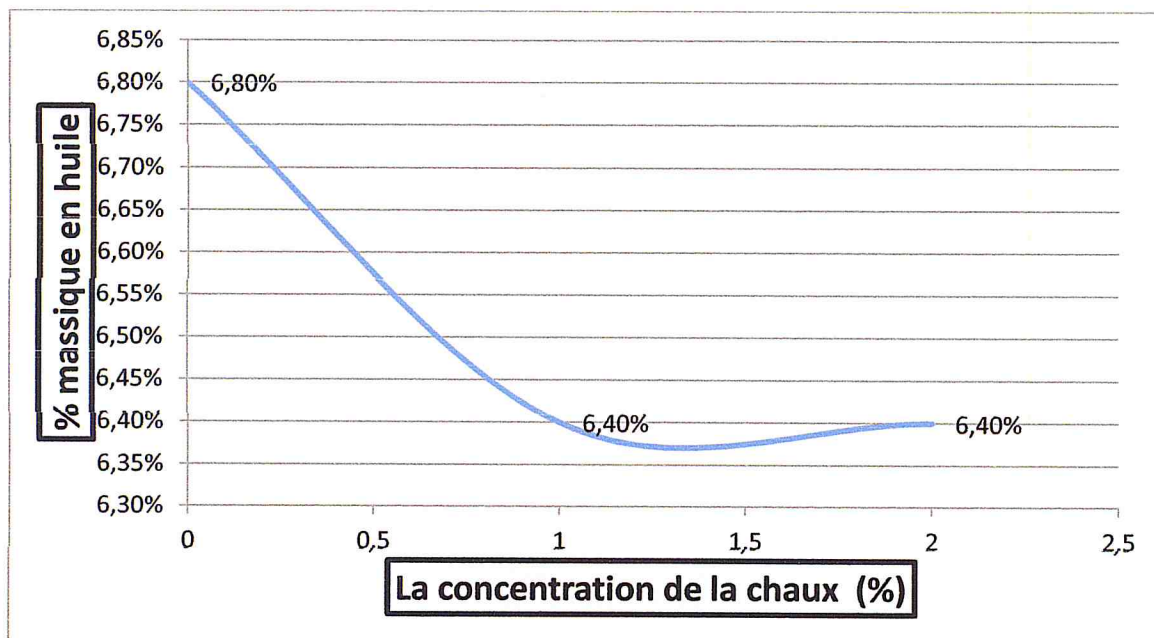
Quantité du ciment CPJ425 en Kg / m ³	Poids de cuttings en g	Volume de silicate de sodium en l/m ³	% de chaux (rapport au poids initial des cuttings contaminés)	Volume d'huile En (ml)	% d'huile
200	100	17.94	0	9 ml	7.2 %
200	100	17.94	1	8.5 ml	6.8 %
200	100	17.94	2	7.8 ml	6.24 %

Tableau (IV.11) : Variation du volume d'huile récupéré en fonction de la quantité de la chaux.

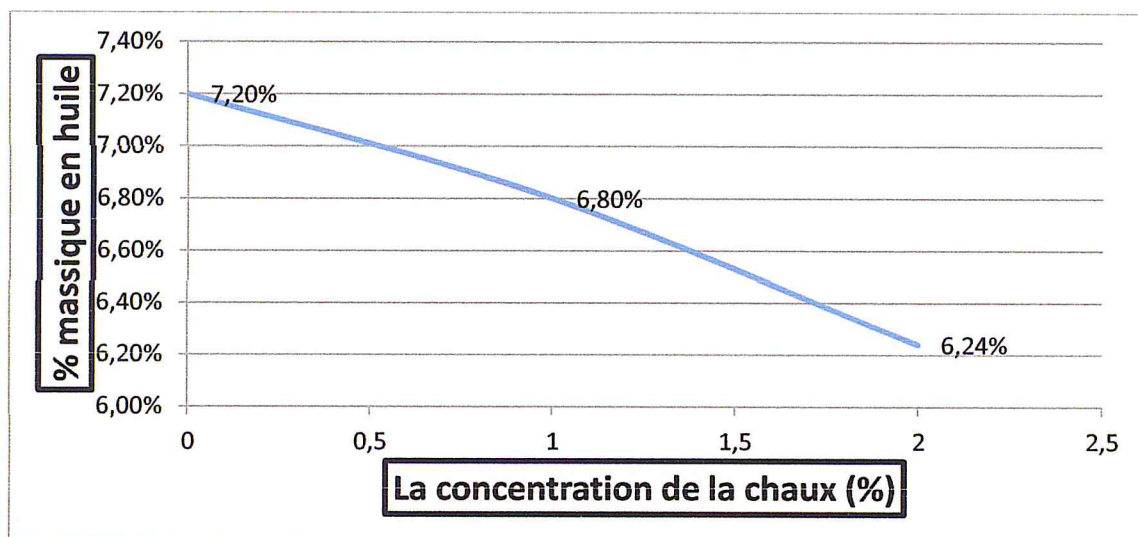
Quantité du ciment CPJ425 en Kg / m ³	Poids de cuttings en g	Volume de silicate de sodium en l/m ³	% de chaux (rapport au poids initial des cuttings contaminés)	Volume d'huile En (ml)	% d'huile
250	100	17.94	0	6.6 ml	5.28 %
250	100	17.94	1	5 ml	4 %
250	100	17.94	2	4 ml	3.2 %

Dans les trois figures (IV.19-20-21), on a porté l'évolution de la teneur en hydrocarbures en fonction de la quantité de chaux, tout en fixant les quantités du ciment (180-200-250 kg/m³) et en présence d'une concentration fixe en silicate de sodium (8 kg/m³).

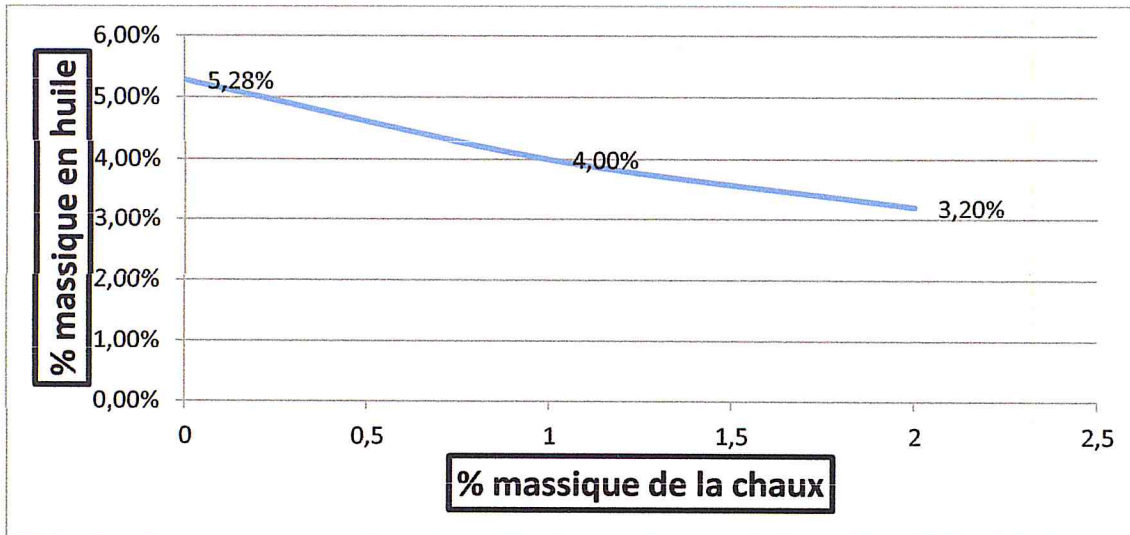
D'après l'allure des trois courbes (figure (IV.19-20-21)), on peut dire que le résultat obtenu précédemment s'améliore au fur et à mesure qu'on rajoute de la chaux. La teneur en hydrocarbure a baissé de 6.8 % (la quantité de chaux est nulle) jusqu'à 3.2 % après rajout de 2 % de chaux, ceci est logique car ce dernier renforce la matrice formée par le ciment (solidifiant).



Figure(IV.19) : Influence de la quantité de la chaux sur la teneur en huile



Figure(IV.20) : Influence de la quantité de la chaux sur la teneur en huile



Figure(IV.21) : Influence de la quantité de la chaux sur la teneur en huile

6.3).Influence de la quantité de calcite sur la teneur en huile :

Optimisation de la calcite : Pour optimiser la calcite, nous faisons varier la quantité ajoutée à chaque échantillon en maintenant la quantité du ciment à sa valeur optimale.

Le tableau (IV.12), représenter les différents mesures de cette expérience ; et les résultats pour déterminer la valeur optimale de la calcite.

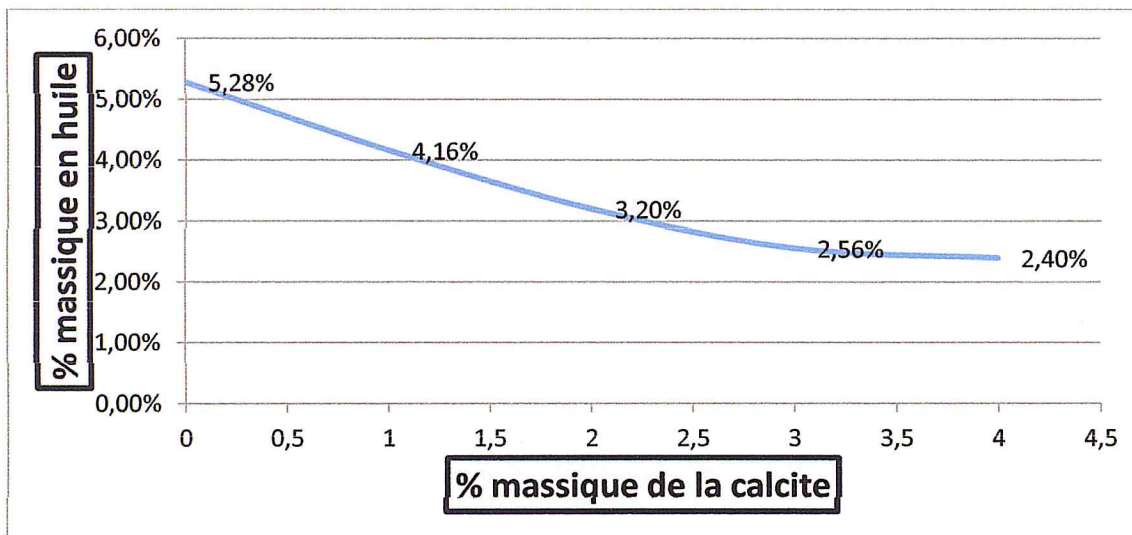
Tableau (IV.12) influence de la quantité de calcite sur la teneur en huile.

Quantité du ciment CPJ425 en Kg / m ³	% de calcite (par rapport au borbier)	Poids de cuttings en g	Volume de silicate de sodium en l/m ³	Volume d'huile En (ml)	% massique en huile
250	0%	100 g	17.94	6.6 ml	5.28%
250	1%	100 g	17.94	5.2 ml	4.16%
250	2%	100 g	17.94	4 ml	3.2%
250	3%	100 g	17.94	3.2 ml	2.56%
250	4%	100 g	17.94	3 ml	2.4%

Après la variation des quantités de calcite entre 0% et 4% (par rapport à la quantité de borbier utilisée), nous remarquons une chute de teneur en huile de 5.28 % à 2.4%.

Dans la figure (IV.22), on a porté l'évolution de la teneur en hydrocarbures en fonction de la quantité de calcite, en fixant les quantités du ciment (quantité optimale trouvée précédemment 250kg/m³) et en présence d'une concentration fixe en silicate de sodium (17.94 l/m³).

D'après l'allure de la courbe (figure (IV.22)), on peut dire que le résultat obtenu précédemment s'améliore au fur et à mesure qu'on rajoute la calcite. La teneur en hydrocarbure a baissé de 5,28 % (la quantité de calcite est nulle) jusqu'à 2,4 % après rajout de 4 % de calcite, ceci est logique car ce dernier renforce la matrice formée par le ciment (solidifiant). Mais en atteignant une certaine valeur de la quantité de calcite rajoutée la teneur en huile continue à baisser mais d'une manière moins rapide. L'effet de la calcite est plus intéressant à des teneurs élevées en hydrocarbures.



Figure(IV.22) : Influence de la quantité de calcite sur la teneur en huile

Ces résultats permettent de constater, qu'effectivement le traitement par stabilisation/solidification permet d'atteindre des performances de l'ordre de 2.4%.

On s'est arrêté à un pourcentage massique en calcite égal à 4% que nous allons le considérer dans ce qui suit comme optimal, pour deux raisons :

1-La diminution de la teneur en huile est très faible, pratiquement 1% pour 100 kg/m³ de calcite.

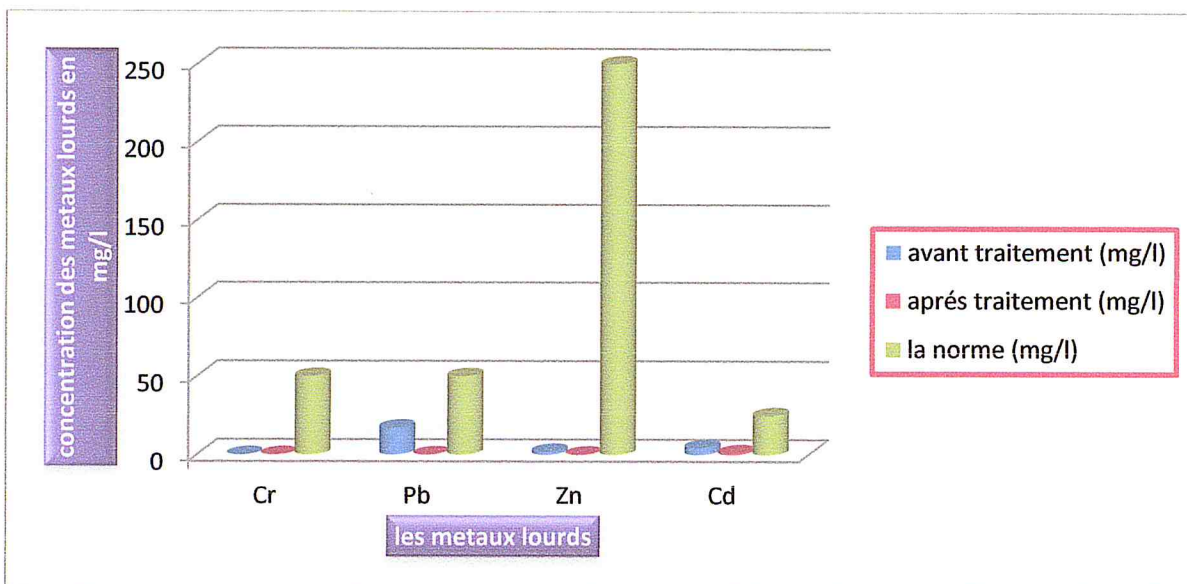
2-La granulométrie de la calcite peut augmenter la perméabilité de notre déchet traité, donc le rendre moins résistant à l'infiltration des liquides à l'intérieur de la matrice.

7).Résultats d'analyse des métaux lourds avant et après le traitement :

Tableau (VI .13) et la figure (IV.23) montrent les résultats d'analyses des métaux lourds avant et après traitement par stabilisation/solidification

Tableau (VI .13) .résultats d'analyses des métaux lourds.

Paramètres	échantillon		Méthodes	Norme mg/l
	avant	après		
Chrome total (Cr)	0.2033	0.09833	Absorption atomique	50
Plomb (Pb)	17,1	00	Absorption atomique	50
Zinc (Zn)	1,9	0,1	Absorption atomique	250
Cadmium (Cd)	4,6	1,2	Absorption atomique	25



Figure(IV.23) : Histogramme des résultats d'analyse sur les métaux lourds

7.1) Interprétation des résultats d'analyse :

Le niveau de présence de métaux lourds n'est pas très important dans tous les échantillons des borbiers de forage avant traitement (sous la valeur limite maximale des normes européennes). Par conséquent, la présence de métaux lourds dans les déchets de forage ne présente pas de grand impact sur le terrain de Hassi Messaoud.

Malgré la faible présence de métaux lourds dans les borbiers de forage elle est tout de même encore réduite par le traitement stabilisation/solidification comme pour le traitement désorption thermique.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Les problèmes majeurs rencontrés tout au long de l'exploitation des puits du plus grand champ pétrolier en Algérie, celui de Hassi Messaoud (HMD) ont été exposés. Pour cela, nous avons récolté plusieurs données de forage et de production et fait appel à une panoplie de techniques. Au cours de ce travail, nous avons voulu confronter le maximum de données de laboratoire à des données effectives de chantier et ce, dans l'espoir d'apporter une contribution à la résolution des problèmes réels.

L'étude que nous avons réalisée au sein de SONATRACH-Division CRD (centre de recherche et de développement) nous a permis d'analyser les différentes données relatives à l'état initial du site, et aux effets avérés sur l'environnement à cause de l'activité de forage. Nous pouvons en déduire que la réalisation d'un puits de forage dans la région de Hassi Messaoud, présente quelques inconvénients majeurs susceptibles de nuire à l'environnement.

La méthode que nous avons utilisée pour l'évaluation des impacts nous a permis de classer la dangerosité des polluants en fonction de la source de pollution sur l'environnement. Parmi les différents impacts de l'activité, le plus important est celui des déblais issus du forage contenant des résidus de boue caractérisés par un risque majeur.

Les traitements actuellement mis en œuvre sur le champ de Hassi Messaoud dans le but de réduire l'impact des déblais de forage, désorption thermique et stabilisation/solidification sont évalués par rapport à leur efficacité. Ces évaluations montrent que sur le plan de performance technique ces traitements sont équivalents, alors sur le plan écologique, il y'a des différences importantes :

- La désorption thermique est bien meilleure en matière de recyclage d'eau, d'huile et de gasoil.
- La stabilisation/solidification est meilleure en ce qui concerne les émissions atmosphériques.

Sur le plan économique la stabilisation/solidification revient à environ \$380 000 par bourbier, et la désorption thermique revient à environ le double \$760 000 par bourbier. Pour une efficacité sensiblement équivalente, en oubliant les différences sur le plan écologique il est plus économique d'utiliser la stabilisation/solidification là où cette technique est réalisable.

Néanmoins, nous recommandons de prendre en considération les points d'amélioration suivants :

- ✓ Le procédé Stabilisation/Solidifications doit être généralisé pour tous les bourbiers issus de l'activité forage pétrolier.
- ✓ Lancement d'études sur la possibilité de substitution de l'utilisation de la boue à base d'huile par une boue à base d'eau sur toutes les phases de forage où cette solution est techniquement réalisable.

- ✓ Le procédé Stabilisation/Solidifications est le mieux adapté pour le traitement des rejets issus des centres de traitement des hydrocarbures, des centrales à boues et autres activités pétrolières.
- ✓ Substituer les huiles synthétiques au gasoil dans la préparation des boues à base d'huile
- ✓ Réduire le volume de cutting en optant pour des profils dits de « slim hole » où les diamètres de forage se retrouvent réduits d'un cran en pénétrant le réservoir à des diamètres inférieurs à 6''.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] H. Askri, "Géologie de l'Algérie", Contribution de SONATRACH Division Exploration, Centre de Recherche et de Développement et Division Petroleum Engineering and Développement, 2003.
- [2] Données SONATRACH-Division Forage Département HSE 2008
- [3] Fonctionnement d'un appareil de forage Documentation interne SONATRACH (2005).
- [4] Fluide de forage Documentation interne (2008) Doc base HMD
- [5] Fluide de forage Documentation interne (2008) Doc base HMD
- [6] C. Garcia et P. Parrigot, « Boues de Forage », Edition Technip, Paris, 1974.
- [7] Forage pour non-foreurs Division forage, département formation A. Slimani juillet 2007
- [8] © Techniques de l'Ingénieur, traité Environnement Stabilisation-solidification des déchets G2 080 .2004
- [9] Khodja.M « Etude des performances et considérations environnementales ». thèse doctorat Université Louis Pasteur Strasbourg - France, 2008
- [10] Mohammed CHERIF1, report, "Drilling Waste Management for Environmental Protection in Hassi Messaoud Field", Faculty of Design and Technology, School of Engineering, the Robert Gordon University, Aberdeen, June 2006.
- [11] Université de LOS ANDES, Faculté de chimie, « Surfactifs, types et usages », 2002.

[12] Solids control report Mi SWACO (2006)

[13] MAKHLOUFI-N et AMARA-F « étude de la possibilité d'améliorer la santé et la sécurité liée à l'activité de forage –mémoire de fin d'études 2010 -» USTHB

[14] Installation de surface Traitement mécanique de la boue rejets Doc base HMD

[15] Technique d'exploitation pétrolière le forage Jean –Paul NGUYEN Ingénieur principal à l'institut français du pétrole (1993)

[16] Technique d'exploitation pétrolière le forage Jean –Paul NGUYEN Doc base HMD

[17] Solids control report Mi SWACO (2006) Doc base HMD

[18] Dada Abdahmen Optimisation d'un procédé de traitement des boues de forage - mémoire de magister option management de projets énergétiques promotion 2010/2011- Université M'hamed Bougara Boumerde

[19] Biri Mourad Etude de la biodégradabilité des rejets de forage des puits de pétrole cas de Hassi Messaoud –mémoire de fin d'étude ingénieur en chimie industriel option génie de l'environnement 1996- USTHB

[20]POINSAUT P. HARDY G. (MV/SOEC). Les bentonites : Caractérisation-Analyse et Comportement – Utilisation des bentonites en œnologie. Revue des œnologues n°75 (Avril1995) n°76 (Juin 1995) N°77 (Septembre 1995).

Annexes

1.Cadre législatif :

a- Législation nationale :

- L'ALGERIE a pris conscience depuis peu de l'importance du problème de l'environnement .les autorité de tutelles ont demandé aux industriels de commencer à réfléchir sur le problème de la pollution.

Cela s'est traduit par :

- le décret du 30 janvier 1994 fixant, entre autre, les modalités de protection des aquifères.
- par une expresse auprès de SONATRACH pour faire en sorte qu'elle joue un rôle de leader en la matière.
 - ❖ En conséquence la direction général de SONATRACH dans sa note du 19 /09/1995 a décidé de diviser en deux secteurs géographique les zones d'activité pétrolier :
 - zone nord du pays (habité).
 - Zone sud du pays (semi désertique)

Et d'y faire appliquer les directives suivantes (en fonction de l'implantation du forage) :

- bourbiers devront être étanchés avec un film plastique et en fin de chantier ils seront vidés et remblayés. Le contenu sera traité soit par : épandage soit par traitement physico-chimique
- les produits boue seront non polluants.
- les huiles devront être piégées et récupérées.
- les rejets solides seront brûlés dans un « burn pit »

Et le décret n°2000-73 qui complète le décret exécutif n°93-165 du 10/07/1993 réglementant les émissions atmosphériques de fumée, gaz, poussière, odeur et particules solides des installations fixe.

b- Législation international :

Devant l'utilisation massive des boues huiles, certaines nations, très sensible sur les questions d'environnement, ont été amenées à prendre des mesures restrictives sur les rejets de forage liquides et solides.

Pour harmoniser les diverses mesures, et rechercher des alternatives une commissions européenne dite COMMISSION DE PARIS a été créée.

Les travaux de cette commission se concrétisent par des projets de décision soumis à l'approbation des instances gouvernementale des pays signataires.

Principales décisions sont :

- l'utilisation des boues huile et inverse est soumise à autorisation préalable.
- interdiction d'utiliser des boues à base d'huile dans les parties supérieures des puits (protection des aquifères)
- les rejets de boue sont interdits en mer.
- nécessité de ramener la teneur en huile des cuttings de 10% à 1% du poids de déblais secs au 1/01/97.
- obligation de fournir des évaluations du taux de toxicité des fluides à base d'eau ou à base d'huile synthétique ou végétales.
- élaboration d'une classification des additifs chimiques auxquels s'appliqueront des réglementations spécifiques.

D'autres organismes ont des activités, similaire, pour des zones géographique différentes et moins sensibles sur le plan environnement bien que les problèmes restent les mêmes.

-la convention de BARCELONE.

-la convention du GOLFE.

2).Description des équipements :

a) Tamis vibrants ou vibrateurs :

Un vibreur se compose de deux parties : l'une fixe qui est le support, l'autre constituée d'un bâti mobile qui supporte la toile. Le support mobile est équipé d'un moteur électrique qui lui procure des mouvements vibratoires circulaires, elliptique ou linéaires le cadre vibrant est isolé du support fixe par des amortisseurs. Quelque soit le type d'appareil, ils ont tous en commun les toiles de séparation qui se définissent par leur nombre de maille qui classe le nombre d'ouvertures par pouce linéaire. [16]

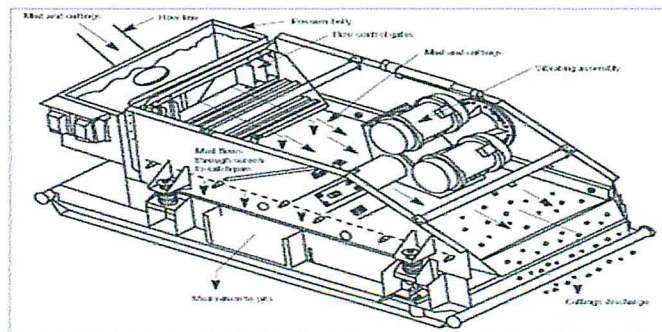


Figure (1). Tamis vibrants [17]

b) Les dessableurs :

Ces appareils (figure (4-4)) fonctionnent sur le principe des cyclones naturels que l'on pourrait décrire comme ceci : un centre de basse pression autour duquel la pression augmente ce qui donne en bordure des vents convergents vers le centre et au centre des vents ascendants.

Pour recréer les vitesses circonférentielles on injecte le fluide en A, le fluide est centrifugé de plus en plus vite car le rayon diminue.

Dans l'axe du cône, le fluide est ascendant et sort par B. la centrifugation dépose les particules solides sur la paroi du cône et sont évacuées par la buse en C.

La taille des particules évacuées est fonction de la dimension des cônes. Le pouvoir de séparation d'un ensemble de cônes permet de différencier les dessableurs (taille supérieure à 74μ) des désilteurs (taille supérieure à 30μ). [18]

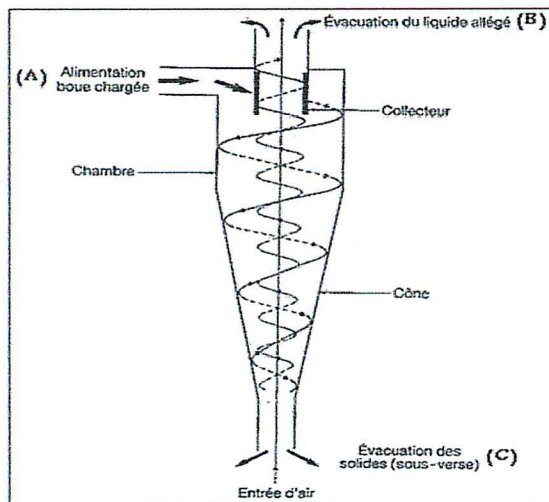


Figure (2) : dessableurs [17]

c). Les mud cleaners :

Ces appareils sont simplement des désilteurs dont l'effluent lourd coulant de la buse tombe sur une toile de tamis vibrant. Cette toile fine (100 à 325mesh) augmente la récupération de la phase liquide et rend donc le rejet plus sec [18]. Figure (4-5).

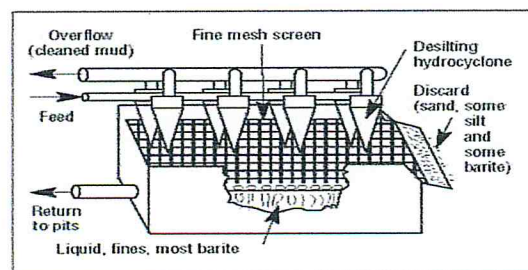


Figure (3) : mud cleaners [17]

d).La centrifugeuse :

Ces appareils à axe horizontal et vis convoyeuse (figure (4-6)) sont à fonctionnement continu.

Le bol horizontal tourne entre 1500 et 3000 tr/min, la vis convoyeuse à une vitesse légèrement inférieure. Leur débit étant généralement faible par rapport au débit de forage, ce type d'appareil ne pourra traiter qu'une partie du débit du retour. [18]

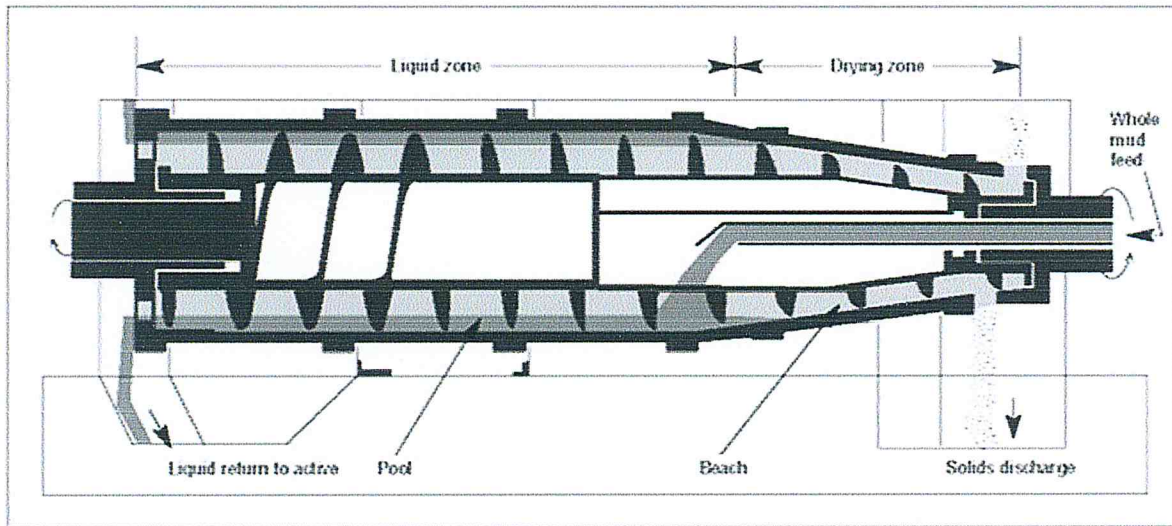


Figure (4) : centrifugeuse [17]

3). Les principaux additifs utilisés dans les fluides de forage :

a) Produits viscosifiant : [7]

Argile pour eau douce (bentonite)	Lit filtrant efficace	Boues douces. Teneur en CL < 25g/l
Dénomination	Rôle secondaire	Domaine d'utilisation
Argile pour eau salée (attapulgite)	Boue salée teneur CL ⁻	
biopolymere	Fluidification au cisaillement	Boue a faible teneur en solide.

b) Produits réducteurs de filtrat : [7]

Dénomination	Rôle secondaire	Domaine d'utilisation
Amidon	viscosifiant	Boue salée saturée
CMC technique	Léger viscosifiant	Teneur en Ca ⁺⁺ < 500mg/l
Basse viscosité		Et
Haute viscosité	Fort viscosifiant	Teneur en Cl ⁺⁺ < 30mg/l
CMC raffiné	Léger viscosifiant	Teneur en Ca ⁺⁺ > 500mg/l
Basse viscosité		Et
Haute viscosité	Fort viscosifiant	Teneur en Cl ⁺⁺ > 30mg/l
Polymère poly anionique	Viscosifiant, stabilisation des argiles	Boue à l'eau de mer
Huile émulsionnée	Lubrification	Huile émulsionnée

c) Produits fluidifiant : [7]

Dénomination	Rôle secondaire	Domaine d'utilisation
Tanin		Boues douces Teneur en Ca ⁺⁺ < 530mg/l Et Teneur en Cl ⁺⁺ < 20mg/l
FCL (Lignosulfonate de Fer et de Chrome)	Réduction du filtrat Inhibiteur de gonflement des argiles à concentration plus élevée.	Boues douces salées Boues au FCL pH > 9 Température > 200 c°

d) Contrôle de PH : [7]

Dénomination	Rôle secondaire	Domaine d'utilisation
NaOH	Précipitation du calcium Augmentation du rendement des argiles	

e) Précipitation du calcium : [7]

Dénomination	Rôle secondaire	Domaine d'utilisation
Na ₂ CO ₃	Augmentation du rendement des argiles	

4). Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industriels.

Paramètres	Unités	Valeurs maximales
Hydrocarbures	% poids	< 5
Chrome VI+	mg/l	< 1
Chrome Total	mg/l	< 10
Plomb	mg/l	< 10
Zinc	mg/l	< 50
Cadmium	mg/l	< 5
Nickel	mg/l	< 10
Arsenic	mg/l	< 1

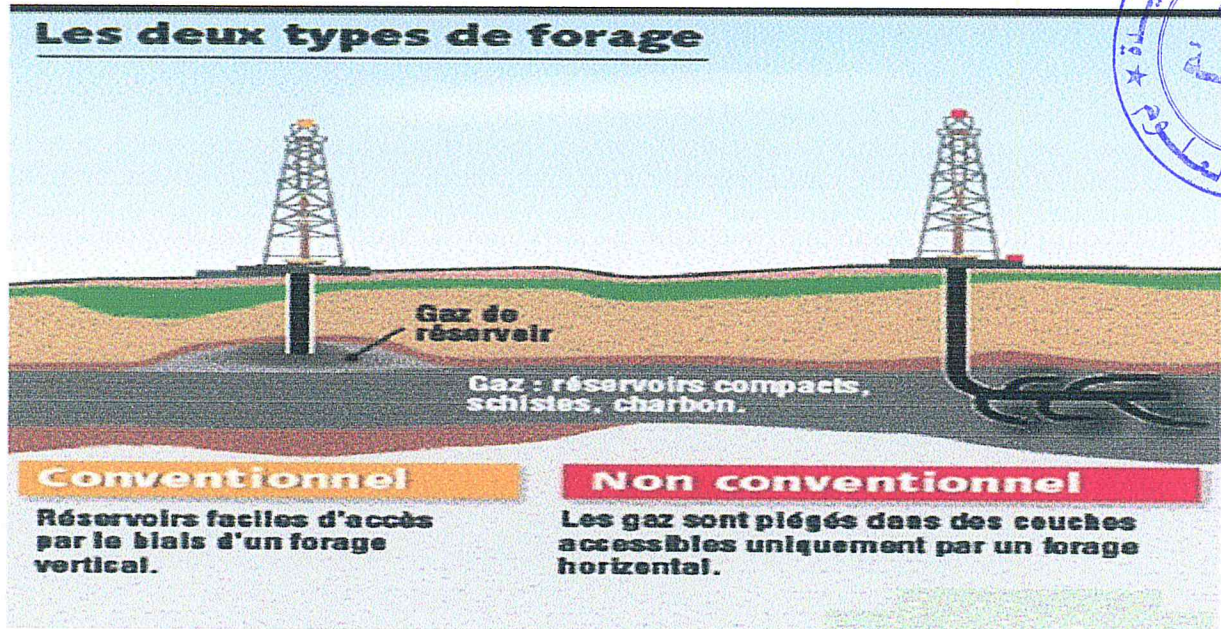


Figure 5: Les deux types de forage



Figure 6: L'unité de Solidification à HMD



Figure 7: L'unité de TDU à HMD