

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Ahmed Draïa Adrar



Faculté des Sciences et de la Technologie

Département d'Hydrocarbures et Energies Renouvelables

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master en :

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Génie Chimique

Thème :

**Caractérisation physico-chimique d'une boue de forage et
leur impacte sur l'environnement : cas Hassi Ilatou-
ADRAR**

Préparé par :

M. Belhadj Cheikh

M. Mzour Mohammed Larbi

Membres de jury d'évaluation :

M.Manaa Saadedine	Président	MCB	Univ. Adrar
M. Hadjkouider Mohammed	Encadreur	MCA	Univ. Adrar
Mlle.	Co-encadreur		Univ. Adrar
M.Debbaghi Slimane	Examineur	MCB	Univ. Adrar

Année Universitaire : 2021/2022



شهادة الترخيص بالإيداع

انا الأستاذ(ة): Hadjkouider Mohammed

مشرف مذكرة الماستر الموسومة بـ : Caractérisation physico-chimique d'une boue de forage

et leur impacte sur l'environnement : cas Hassi Hatou- ADRAR

من إنجاز الطالب(ة): M. Belhadj Cheikh

و الطالب(ة): M. Mzour Mohammed Larb

كلية : Faculté des Sciences et de la Technologie

القسم : d'Hydrocarbures et Energies Renouvelables

التخصص : Génie Chimique

تاريخ تقييم / مناقشة: 08/06/22

أشهد ان الطلبة قد قاموا بالتعديلات والتصحيحات المطلوبة من طرف لجنة التقييم / المناقشة، وان المطابقة بين
النسخة الورقية والإلكترونية استوفت جميع شروطها.
ويامكانهم إيداع النسخ الورقية (02) والايكترونية (PDF).

- امضاء المشرف:

مساعد رئيس القسم:



أ. خليفتي
رئيس قسم المحروقات والطاقات المتجددة
بكلية العلوم والتكنولوجيا

Remerciements

Tout d'abord nous remercions avant tous, Dieu le tout puissant qui nous a donné le courage, et la volonté pour atteindre notre objectif, et tous les enseignants qui ont contribué à notre formation durant tous les cycles.

Et merci beaucoup à nos parents, frères et toute notre famille et amis

Nous remercions vivement, notre encadreur Mr. **HADJ KOUIDER MOHAMMED**.

De nous avoir pris en charges.

Nous portons avec gratitude de reconnaissance pour l'ensemble des professeurs de la faculté science et technologie, département d'énergie renouvelable et hydrocarbure, Option Génie chimique qui a contribué à notre formation d'ingénieurs en Génie chimique.

Et un merci spécial au professeur **KASMI ABDELKARIM**, chef du département de production à HASSI ILATOU, et au professeur **HADJ BELKACEMI MOHAMMED**, superviseur du forage pétrolier, et **HAMZA MARREF** superviseur de boue de forage pour leur soutien et leurs conseils pour nous permettre de mener à bien ce travail et tous les **travailleurs** du **CPF** et les travailleurs de l'exploration pétrolière de HASSI ILATOU.

A tous ceux ou celles qui nous apportés leur soutien ; trouvent ici, l'expression de nos vive et sincère reconnaissance.

Dédicaces

Dédicaces

A ceux qui n'ont d'égal dans l'univers, à qui Dieu nous a commandé de les honorer, à ceux qui ont fait beaucoup, et qui ont avancé ce qui ne peut être rendu, à vous ces paroles, ma chère mère et père, je te dédie cette recherche; Vous avez été mon meilleur soutien tout au long de ma carrière universitaire.

Je dédie ce travail à ma famille bien-aimée et à tous mes proches et amis.

Sommaire :

Liste de figure	
Liste de tableaux	
Liste de photo	
Introduction générale	

Chapitre I : Généralité

I.1. Historique du forage	1
I.2. Opération de forage	1
I.3. Principe de forage rotary	3
I.4. Le fluide de forage	4
I.5. Différents types de fluides de forage et leur composition.....	5
I.5.1. Les boues à base d'eau.....	6
I.5.2. La boue à base d'huile.....	7
I.5.2.1. Utilisation	8
I.5.2.2. Composition.....	8
I.6. Les rôles du fluide de forage	10
I.6.1. Nettoyage du puits	10
I.6.2. Maintien des déblais en suspension	10
I.6.3. Sédimentation des déblais fins en surface	10
I.6.4. Refroidissement et lubrification de l'outil et du train de sonde	10
I.6.5. Prévention du cavage et des resserrements des parois du puits	10
I.6.6. Dépôt d'un cake imperméable.....	10
I.6.7. Prévention des venues d'eau, de gaz, ou d'huile	11
I.6.8. Augmentation de la vitesse d'avancement	11
I.6.9. Entraînement d'outils (TURBINE, MWD, ETC.)	11
I.6.10. Diminution du poids apparent du matériel de sondage	11
I.6.11. Apport de renseignements sur le sondage	11
I.6.12. Contamination des formations productrices.....	11
I.6.13. Corrosion et usure du matériel	11
I.6.14. Toxicité et sécurité	12
I.7. Fonction du circuit "basse pression"	12
I.7.1. Tamisage.....	12
I.7.2. Décantation.....	13
I.7.3. Dégazage.....	14
I.7.3.1. Séparateur vertical.....	14

I.7.3.2. Dégazeur.....	15
I.7.4. Traitements particuliers d'élimination des solides.....	16
I.7.4.1. MUD-CLEANER.....	16
I.7.4.2. Centrifuges.....	18

Chapitre II : Les déchets pétroliers et leur impact sue l'environnement

II.1. Introduction.....	20
II.2. Définition des bourbiers.....	20
II.3. Les bourbiers et impactes sur l'environnement	21
II.4. Les sources des bourbiers.....	22
II.4.1. L'activité de forage.....	22
II.4.2. Les opération de production sur puits	23
II.4.3. Traitement des hydrocarbures	23
II.5. Les méthodes de traitement des déblais de forage	23
II.5.1 Traitement par Stabilisation et Solidification.....	24
II.5.1.1 Stabilisation	24
II.5.1.2 Solidification	24
II.5.1.3 Procèdes de stabilisation et solidification	24
II.5.2. Traitement par désorption thermique.....	25
II.5.2.1. Principe de fonctionnement	25
II.6. Toxicité de la boue.....	26
II.6.1. Métaux	26
II.6.2. Les hydrocarbures	28

Chapitre III : Matériel et méthode

III.I. Introduction.....	31
III.1. Matériel et méthode sur chantier	31
III.1.1. LA Densité	31
III.1.1.1. Rôle de la densité	31
III.1.1.2. Mesure de la densité.....	32
III.1.2. La rhéologie.....	34
III.1.2.1. Détermination expérimentale des caractéristiques rhéologiques dans la profession	34
III.1.2.1.1. viscosimètre Marsh.....	35
III.1.2.1.2. viscosimètre fann	35
III.1.3. FILTRE PRESSE API.....	37
III.1.4. Distillateur a boue	39

III.1.5. Le sable.....	40
III.1.6. Mesure du PH	41
III.1.6.1 Mesure du ph par les indicateurs.....	41
III.1.6.2. Mesure du ph par PH-mètre électronique.....	42
III.1.7. La mesure de l'alcalinité	42
III.1.7.1. Alcalinité Pf	42
III.1.7.2. Alcalinité Mf.....	42
III.1.7.3. Alcalinité Pb.....	42
III.1.8. La teneur en ions chlorure cl^-	42
III.1.9. La teneur en ions calcium ca_2^+	42
III.1.10. MBT	43
III.2. Matériel et méthode dans laboratoires pédagogique	44
III.2.1. LA CENTRIFUGEUSE.....	44
III.2.2.LA SPECTROSCOPIE INFRAROUGE.....	44
III.2.3. Diffraction des rayons X sur poudres.....	45

Chapitre IV : Résultat et discussion

IV.1. Introduction.....	49
IV.2. Résulta d'essais réalises sur chantier	49
VI.2.1. Test physique	49
IV.2.1.1. Mesure de densité	49
IV.2.1.2. Mesure de rhéologie	50
IV.2.1.2.1. Viscosité MARSH	50
IV.2.1.2.2. Viscosité fann (120°F).....	50
IV.2.1.3. Mesure d'API filtrat pour 30 min (100 PSI)	51
IV.2.1.4. Mesure de distilla	52
IV.2.2. Les analyses chimiques	53
IV.2.2.1. Mesure de PH	53
IV.2.2.2.Mesure de PB, MF, PF, CL-, CA++ et MBT	53
IV.3. Résultats d'analyses de laboratoire pédagogique	55
IV.3.1. mesure de la fraction massique de solide et liquide dans la boue de forage	55
IV.3.1.1. Étalonnage	55
IV.3.1.2. Résultats	57
IV.3.2. Résultats de spectroscopie infrarouge (IR).....	57
IV.3.2.1. Les constituants de la phase fluide de l'échantillon analysé	57
IV.3.2.2. Les constituants de la phase solide de l'échantillon analysé	58

IV.3.3. Les analyse diffraction rayon X (DRX)	59
IV.3.3.1. Résultat et interprétation de DRX	60
IV.4. Estimation de l'impacte environnemental de la boue dans la région	61
Conclusion général et recommandation	
Référence	

Liste de figure :

Chapitre I : Généralité.

Figure I.1 : Schéma simplifié d'une installation de forage rotary.....	3
Figure I.2 : Cycle du fluide sur le site de forage.....	5
Figure I.3 : Les tamis vibrant (le tamisage)	13
Figure I.4 : Séparateur vertical.....	14
Figure I.5 : Dégazeur (SWACO (R.B)).....	16
Figure I.6 : Le MUD-CLEANER.....	17
Figure I.7 : Centrifugeuse a vis convoyeuse.....	18

Chapitre II : les déchets de l'industrie pétrolière et leur impact sur l'environnement.

Figure II.1: Action des polluants dans le sol.....	21
Figure II.2 : Photo de l'unité de traitement (stabilisation/solidification).....	24
Figure II.3 : Phénomène d'encapsulation.....	25
Figure II.4 : Procède de traitement de désorption thermique.....	26

Chapitre III : Matériel et méthode.

Figure III.1 : Vue des borbiers et des points d'échantillonnage.....	31
Figure III.2 : Densimètre pressurise.....	34
Figure III.3 : Densimètre classique.....	34
Figure III.4 : Viscosimètre MARSH.....	35
Figure III.5 : Viscosimètre cylindre fann.....	36
Figure III.6 : Filtre presse API.....	38
Figure III.7 : Distillateur a boue.....	40
Figure III.8 : Elutriometre.....	41
Figure III.9 : Centrifugeuse.....	44
Figure III.10 : Le spectrophotomètre d'absorption atomique.....	45
Figure III.11 : Cristallographie aux rayons X.....	46
Figure III.12 : Exemple de diffractogramme de poudre DRX.....	47

Chapitre IV : résultat et discussion.

Figure IV.1 : Matériel méthode de mesure de densité.....	49
Figure IV.2 : Matériel méthode de mesure de viscosité MARCH.....	50

Figure IV.3 : Courbe de mesure de viscosité MARCH.....	50
Figure IV.4 : Mesure de filtra et l'épaisseur de cake.....	51
Figure IV.5 : Mesure la teneur d'eau, d'huile et de solide par distillateur boue.....	52
Figure IV.6 : Mesure de PH.....	53
Figure IV.7 : Les étapes de séparation des phases.....	55
Figure IV.8 : Les étapes de pesée des échantillons obtenus après séparation.....	55-56
Figure IV.9 : L'étape après le séchage de solide.....	56
Figure IV.10: Les étapes de préparation des échantillons.....	56
Figure IV.11 : La courbe spectroscopie IR pour le fluide.....	57
Figure IV.12 : La courbe spectroscopie IR pour le solide.....	59
Figure IV.13 : Spectre de diffraction rayon X (DRX).....	60

Liste de tableau :

Chapitre I : Généralité.

Tableau I.1 : Principaux additifs utilisés dans les fluides de forage.....	6
Tableau I.2 : Les avantages et inconvénients de la boue à base d'eau.....	7
Tableau I.3 : Avantages et inconvénients de la boue à base d'huile.....	9

Chapitre III : Matériel et méthode.

Tableau III.1 : Systèmes rhéologiques.....	36
Tableau III.2 : Mode opératoire des tests chimiques PB, MF, PF, CL ⁻ et CA ⁺⁺	43

Chapitre IV : résultat et discussion.

Tableau IV.1 : Les résultats obtenus de mesure de viscosité.....	50
Tableau IV.2 : Les résultats obtenus de mesure des paramètres physiques de boue.....	52
Tableau IV.3 : Méthode de mesure et résultats obtenus.....	53
Tableau IV.4 : Rapport journalier de mesures des caractéristiques de la boue sur chantier.....	54
Tableau IV.5 : Les valeurs obtenues après la séparation et le séchage.....	57
Tableau IV.6 : Interprétation de la courbe ir de la phase liquide de la boue.....	58
Tableau IV.7 : Interprétation de la courbe IR de la phase solide de la boue.....	59
Tableau IV.8 : Interprétation spectre de diffraction rayon X de la phase solide de la boue.....	60
Tableau IV.9: Teneurs en hydrocarbures totaux et en carbone des échantillons en fonction de profondeur	62

List de photo :

Photo II.1. Bourbiers étanche au début de forage.....	20
Photo II.2. Bourbiers après l'avancement des opérations de forage.....	21

Le Résumé :

La boue de forage est le fluide qui circule de haut en bas à l'intérieur des tiges et de bas en haut dans l'annulaire (espace entre le train de tiges et le trou foré) pendant un forage pétrolier.

Le rôle de la boue de forage est multiple : permettre la remontée des déblais de forage en surface, assurer l'équilibre du trou en maintenant par sa densité une contrepression un peu supérieure à la pression des formations traversées, limiter l'invasion des réservoirs par les fluides de forage grâce à la formation d'un "cake" protecteur, et contribuer par sa pression de débit au niveau de l'outil de forage au démantèlement des roches traversées.

Ce sujet de recherche fournit des détails sur les caractéristiques de la boue étudiée et leur impacte sur les différents écosystèmes environnementaux en surface et en profondeur.

Le but de ce travail est de trouver une procédure d'utilisation qui s'adapte bien avec les conditions environnementales de la région en respectant les normes de protection de l'environnement.

Une partie de ce travail sera réalisée sur le chantier de forage et l'autre partie au laboratoire de l'université.

Mots-clés : boue, pétrole, chimie, l'environnement, chantier, forage.

Abstract:

Drilling mud is the fluid that travels up and down inside the rods and up and down the annulus (space between the drill string and the drilled hole) during oil drilling.

The role of drilling mud is multiple: to allow the drilling cuttings to rise to the surface, to ensure the balance of the hole by maintaining, through its density, a counter pressure slightly higher than the pressure of the formations crossed, to limit the invasion of reservoirs by the drilling fluids thanks to the formation of a protective "cake", and contribute by its flow pressure at the level of the drilling tool to the dismantling of the rocks crossed.

This research topic provides details on the characteristics of the studied mud and their impact on the various environmental ecosystems at surface and in depth. The purpose of this work is to find a chemical formulation and processes that adapt well with the environmental conditions of the region while respecting the standards of environmental protection.

Part of this work will be carried out on the drilling site and the other part in the laboratory of the university.

Keywords: mud, oil, chemicals, environment, site, drilling.

الملخص:

طين الحفر هو السائل الذي يتحرك من الأعلى إلى الأسفل داخل الأنابيب , و من الأسفل إلى الأعلى داخل الفراغات الحلقية (بشكل أدق في الحيز بين سلسلة الأنابيب و جدار البئر المحفور) أثناء التنقيب.

هناك ادوار عديدة لطين الحفر من بينها : المساعدة على صعود الأتربة الناتجة عن الحفر إلى السطح ، لضمان توازن البئر من خلال كثافته ,و ذلك عن طريق الحفاظ على ضغط معاكس أعلى قليلاً من ضغط التكوينات المتقاطعة ، و أيضاً للحد من تدهور جدار البئر بفضل تكوين "طبقة" واقية ، كما يساهم ضغط تدفقها على مستوى مقدمة أداة الحفر في تفكيك الصخور المتقطعة.

يقدم هذا البحث تفاصيل عن خصائص الطين المدروس وتأثيرها على النظم البيئية المختلفة على مستوى السطح وفي أعماق البئر. الغرض من هذا العمل هو تحديد التركيبات و العمليات الكيميائية التي تتكيف بشكل جيد مع الظروف البيئية للمنطقة مع احترام معايير حماية البيئة. تم تنفيذ أجزاء من هذا العمل في ورشة الحفر وأجزاء أخرى في المختبر البيداغوجي للجامعة.

الكلمات المفتاحية : الطين ، النفط ، كيمياء ، البيئة ، موقع العمل ، الحفر.

Introduction Générale

Un forage pétrolier représente l'ensemble des opérations permettant d'atteindre les roches Poreuses et perméables du sous-sol, susceptibles de contenir des hydrocarbures liquides ou Gazeux. Son implantation est décidée à la suite des études géologiques et Géophysiques effectuées sur un bassin sédimentaire. Ces études permettent de se faire une idée de la constitution du sous-sol et des possibilités de gisements, mais elles ne peuvent pas préciser la présence d'hydrocarbures. Seuls les forages pourront confirmer les hypothèses faites et mettre en évidence la nature des fluides contenus dans les roches.

Lors des forages pétroliers, la traversée des formations argileuses n'est pas une opération facile, étant donné les problèmes qui se posent tels que le gonflement, la dispersion et le délitage, et dont la résolution est étroitement liée à la compréhension des interactions argile-fluide de forage.

En parallèle, les systèmes de fluides émulsionnés ont donné une grande satisfaction. Cependant un problème technique majeur se pose actuellement aux opérateurs pétroliers de par la nécessité de remplacer les boues à l'huile par des boues à l'eau non polluantes ou par des fluides synthétiques.

C'est dans ce contexte que va s'inscrire notre travail qui sera axé sur une étude expérimentale pour déterminer les caractérisations des fluides de forage (chimique, physique et mécaniques), tout en essayant de comprendre leur impact environnemental. Notre manuscrit va donc s'articuler sur quatre chapitres :

1. CHAPITRE I: Généralités
2. CHAPITRE II : les déchets de l'industrie pétrolière et leur impact sur l'environnement.
3. CHAPITRE III : Matériels et méthodes.
4. CHAPITRE IV : Résultats et discussions.

Chapitre I : Généralité

I.1.Historique du forage:

En aout 1859, le colonel DARKE fora son premier puits de pétrole, à vingt trois mètres de profondeur près de Titusville en Pennsylvanie (U.S.A), il employa le système de forage par battage au câble qui utilise, pour 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, a fora au moyen d'un appareil de forage rotary le premier puits dans le champ de «spendletop» près de Beaumont (Texas).

I.2.opération de forage :

Il existe plusieurs méthodes de forage dont les plus répandues sont le forage rotary et celui par percussion. Le premier est le plus utilisé en Algérie dans les gisements d'hydrocarbures. Cette méthode consiste tout d'abord à mettre en place un appareil de forage (voir schéma plus bas Fig.02). Celui-ci est très cher et peut atteindre jusqu' à 4 millions de dollars en moyenne [1].

La première étape est la mise en place du Derrick de forage, une tour métallique de 30m de haut en moyenne, servant à introduire verticalement les Ces tiges correspondent à une chaîne de tubes vissés les uns aux autres au bout desquelles se trouve un outil de forage, le trépan muni de dents ou de pastilles en acier très dur. À la manière d'une perceuse électrique, le trépan attaque la roche en appuyant mais surtout en tournant à grande vitesse : il casse la roche, la broie en petits morceaux, et s'enfonce petit à petit dans le sol. A mesure que l'on s'enfonce dans le sous-sol, on rajoute une tige de forage en la vissant à la précédente et ainsi de suite.

L'ensemble des tiges avec son trépan qui creuse au bout s'appelle le train de tiges. Pour les roches très dures, les dents du trépan ne sont pas assez solides, on le remplace alors par d'autres [2] outils de forage de différentes formes et constitués de différents matériaux. Un outil monobloc incrusté de diamants est par exemple utilisés pour forer les roches les plus résistantes.

Pour éviter l'effondrement du trou, des cylindres creux en acier sont posés en même temps que les tiges sur toute la longueur du trou pour constituer un tube, ces tubes sont vissés les uns aux autres au fur et à mesure de la progression du forage : c'est le tubage. Ce tubage n'est pas directement réalisée dans la roche nue, mais est retenu par du ciment.

Plus on pose de tubes, plus le diamètre du trou de forage devient petit : le tubage posé occupe de l'espace et réduit le diamètre initial du trou. Ainsi, un trou de forage d'un diamètre de 50 cm au départ, peut être réduit à 20 cm après la pose de plusieurs tubages.

Chapitre I : Généralité

Pour éviter que le trou se rebouche au fur et à mesure du forage, il faut enlever les débris de roche et nettoyer le fond du puits. Pour cela, on utilise un fluide de forage aussi appelé boue de forage par son aspect. Ce fluide indispensable au forage a une composition spéciale déterminée par un Ingénieur spécialisé, adaptée aux terrains traversés lors du forage.

Un circuit fermé permet de recycler la majeure partie de boue utilisée. Elle est mélangée et conservée dans un bassin, acheminée par la colonne d'injection de boue, vers la tête d'injection qui la propulse dans le train de tiges. Elle descend alors jusqu'au fond du puits et "traverse" le trépan grâce à des trous percés dans celui-ci et se retrouve dans les débris. Sous l'effet de la pression, la boue remonte entre les parois du puits et le train de tiges, emportant avec elle les débris arrachés.

Une fois à la surface, une conduite d'aspiration attire la boue jusqu'à un tamis vibrant qui sépare les débris de la boue, ensuite renvoyée dans le bassin de décantation. Et ainsi de suite.

Le fluide de forage sert également à stabiliser la pression sur les bords du puits pour leur éviter de s'écrouler, elle lubrifie et refroidit les outils et permet surtout de prévenir des éruptions.

Le trou de forage aura généralement une profondeur comprise entre 2000 et 4000 mètres.

Exceptionnellement, certains forages dépassent les 6000 mètres, et l'un d'eux a même dépassé les 11 000 mètres. Cela nous amène à dire que certains gisements peuvent être enfouis à une profondeur importante en fonction des objectifs géologiques visés.

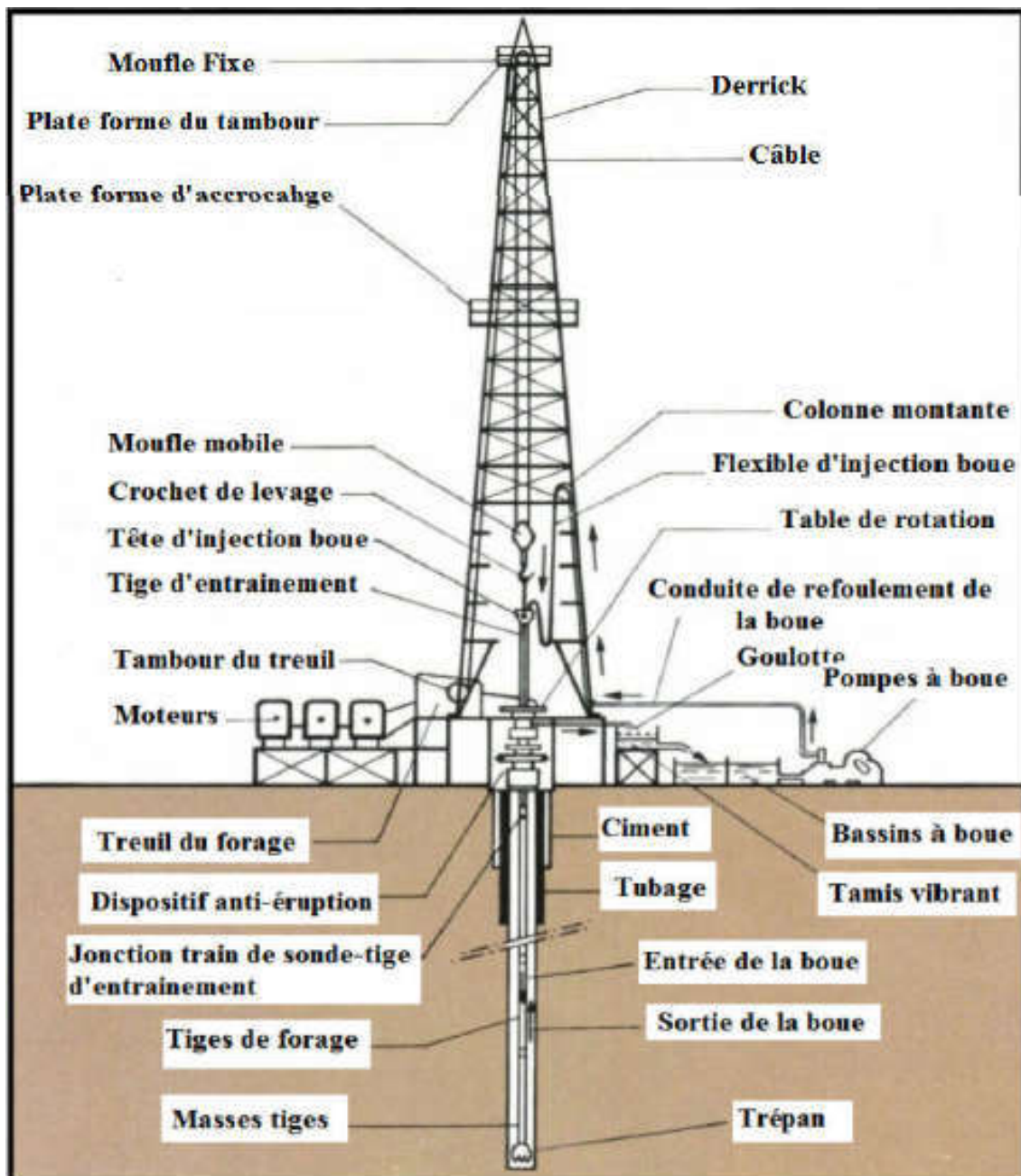


Figure I.1 : Schéma simplifié d'une installation de forage rotary [3]

I.3. Principe de forage rotary :

La méthode rotary consiste à utiliser des trépan à dents tricône ou des trépan monoblocs comme les outils à diamant, sur lesquels on applique une force procurée par un poids tout en les entraînant en rotation. L'avantage de cette technique est de pouvoir injecter en continu un fluide au niveau de l'outil destructif de la formation pour emporter les débris hors du trou grâce au courant ascensionnel de ce fluide vers la surface la sonde de forage rotary est l'appareillage nécessaire à la réalisation des trois fonctions suivantes :

- Poids sur l'outil.
- Rotation de l'outil.

- Injection d'un fluide.

Ce sont les masses tiges qui vissées au-dessus de l'outil, appuient sur celui-ci : ces masse tiges prolongées jusqu'en surface par des tiges, constituent la garniture de forage La totalité de la garniture de forage est percée en son centre afin de canaliser le fluide de forage vers l'outil, un joint rotatif étanche "tête d'injection" doit couronner la tige d'entraînement et permettre la liaison entre la conduite de refoulement des pompes de forage et l'intérieure de la garniture.

Un appareil de forage est nécessaire pour soutenir le poids de la garniture et manœuvrer celle-ci : c'est le rôle du derrick, du crochet de forage et du treuil.

I.4. Le fluide de forage :

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

Le fluide de forage était déjà présent en 1993 lors du premier congrès mondial du pétrole, où il a fait l'objet de cinq communications. La première traite sur les fluides de forage a été publiée en 1936 par Evans et Reid. En 1979, l'American petroleum institute (API) définit le fluide de forage comme un fluide en circulation continue durant toute la durée de forage, aussi bien dans le sondage qu'en surface.

Le fluide est préparé dans des bacs à boue, il est injecté à l'intérieur des tiges jusqu'à l'outil d'où il remonte dans l'annulaire, charge des déblais formés au front de taille.

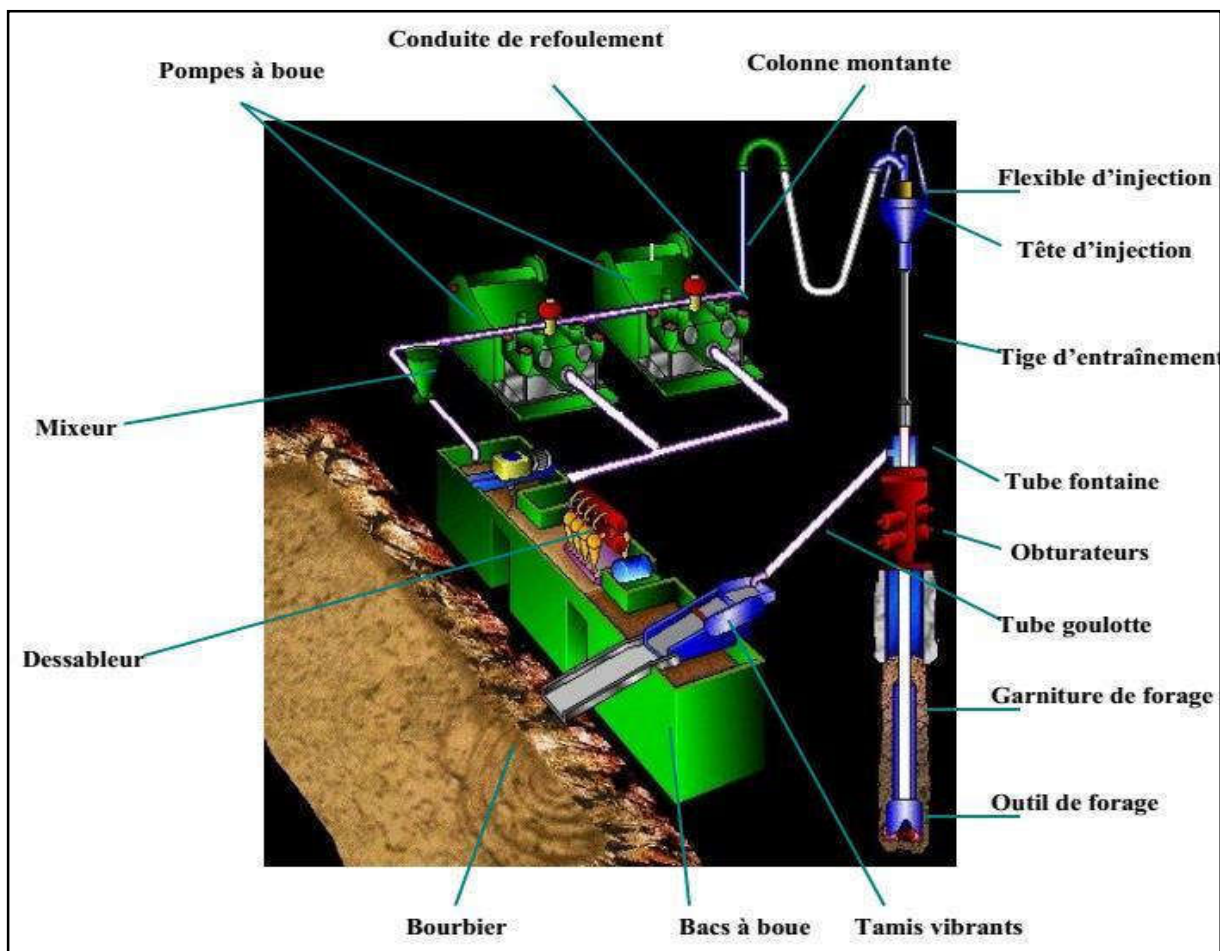


Figure I.2 : Cycle du fluide sur le site de forage. [4]

A la sortie du puits, la boue subit différents traitements, tamisage, dilution ajout de produits, de façon à éliminer les déblais transportés et à réajuster ses caractéristiques physico-chimique à leurs valeurs initiales, il est ensuite réutilisé.

I.5. Différents types de fluides de forage et leur composition :

Historiquement, les fluides de forage ont évolué d'un simple mélange d'eau et d'argile appelé "boue " vers des systèmes de plus en plus complexes composés d'eau ou huile avec une multitude d'additifs répondant aux caractéristiques requises et aux problèmes rencontrés. Les fluides de forage sont des fluides complexes classés en fonction de la nature de leurs constituants de base. Traditionnellement, les fluides de forage ont été classés en trois catégories selon le fluide de base utilisé dans leur préparation: l'eau ou l'huile (Ryan et Chillingar, 1996).

Les propriétés exigées des boues de forage sont multiples et peuvent parfois même être Contradictoires. Les boues doivent par exemple être très visqueuses pour assurer la remontée des déblais, mais la viscosité ne doit pas être trop élevée afin de limiter les pertes de charge dues à l'écoulement et afin d'éviter la fracturation de la formation. De nombreux composants

Chapitre I : Généralité

multifonctions sont donc ajoutées à la boue pour lui conférer les propriétés désirées. Il est possible de classer grossièrement ces composants en 20 catégories

<input type="checkbox"/> Agents moussants. (AVA détergent)	<input type="checkbox"/> Contrôleurs d'alcalinité. (Costique soude NaOH ₂)	<input type="checkbox"/> Décoiçant (ou dégrippants)	<input type="checkbox"/> Viscosifiants. (Victosal)
<input type="checkbox"/> Emulsifiants. (AVA-OIL PT/ST)	<input type="checkbox"/> Bactéricides. (AVA-cide)	<input type="checkbox"/> Inhibiteurs de gonflement des argiles. (Kcl)	<input type="checkbox"/> Alourdissant. (Barite BaSO ₄)
<input type="checkbox"/> Réducteurs de filtrat. (Visco 83SL)	<input type="checkbox"/> Anti-calcium. (Soda-H ,Na ₂ CO ₃)	<input type="checkbox"/> Produits facilitant la séparation	<input type="checkbox"/> Saumure. (NaCl , Kcl, Cacl ₂)
<input type="checkbox"/> Flocculant. (CMC HVT)	<input type="checkbox"/> Inhibiteurs de corrosion.	<input type="checkbox"/> Stabilisants haute température : Les polymères spécifiques hauts température	<input type="checkbox"/> Huile minérale ou organique. (Gas-oil)
<input type="checkbox"/> Colmatant. (LCM)	<input type="checkbox"/> Anti-mousses. (Ste-AVA-liquid)	<input type="checkbox"/> Déflocculants. (AVA-LIGNE)	<input type="checkbox"/> Lubrifiants. (Ecolube)

Tableau I.1 : Principaux additifs utilisés dans les fluides de forage [5]

I.5.1. La boue à base d'eau :

Ces fluides sont souvent désignés par "**Water-Based Muds**" ou **WBM**. Ils sont dans la plupart des cas constitués par des suspensions de bentonites dans l'eau (30 à 60g/L) dont les caractéristiques rhéologiques et de filtration sont souvent ajustées par des polymères. La nature des électrolytes et leur concentration dans les formulations de boues à l'eau sont choisies en prenant en compte les caractéristiques de la formation (activité de l'eau des formations argileuses, dissolution des formations salines). Parmi les additifs on peut trouver des viscosifiants : argiles naturelles (souvent des bentonites), polymères synthétiques ou bio

polymères des réducteurs de filtrat servant à consolider le cake de filtration pour limiter l'invasion par le fluide: amidons, carboxyméthylcelluloses ou CMC, celluloses poly anioniques (PAC), ou résines; des inhibiteurs de gonflement et de dispersion des argiles : KCl, glycérol, silicates ou divers polymères comme le polyacrylamide partiellement hydrolysé (PHPA), les polyalkylène glycols (PAG); des agents alourdissant comme la barytine ("barite" ou sulfate de baryum $BaSO_4$) et la calcite (carbonate de calcium $CaCO_3$) qui sont les plus utilisés pour assurer à la boue une densité convenable. On note aussi l'utilisation de l'hématite (Fe_2O_3) ou de la galène (PbS). La calcite est souvent recommandée pour le forage de la phase réservoir à cause de sa solubilité dans l'acide et de son utilisation selon une granulométrie variable pour réduire les problèmes de pertes et d'endommagement; et enfin) des colmatant, additifs plutôt exotiques comme des granuleux (coquilles de noix), des fibreux (fibres de bois, canne à sucre), et des lamellaires (coquilles d'huîtres, céréales) (Herzhaft, 2001; Peysson, 2004), cette boue peut être utilisée dans tous les sondages où l'on souhaite une faible teneur en solides en boue à base d'eau.

[5]

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> augmentation de la vitesse d'avancement, <input type="checkbox"/> réduction importante des pertes de charge, <input type="checkbox"/> augmentation de la durée de vie des outils, <input type="checkbox"/> possibilité de travailler en eau douce, de mer ou salée saturée, <input type="checkbox"/> faible tonnage de produits mis en œuvre <input type="checkbox"/> possibilité de contrôler les caractéristiques avec les produits classiques (C.M.C. etc.). 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> filtrat A.P.I. difficilement contrôlé à moins de 10 cm³/ 30 min, <input type="checkbox"/> dégradation du bio polymère aux environs de 150°C, <input type="checkbox"/> le bio polymère est fermentescible, d'où la nécessité d'ajouter un antifermant, <input type="checkbox"/> prix élevé (dépend de consommation des produits).

Tableau I.2 : Les avantages et inconvénients de la boue à base d'eau [6]

I.5.2. La boue à base d'huile :

L'origine de l'utilisation de l'huile dans les fluides de forage remonte aux premiers forages effectués à Oklahoma City (1934-1937) au cours desquels on a constaté une amélioration des performances de forage après ajout de l'huile brute. Les fluides à base d'huile sont des fluides

dont la phase continue est une huile minérale (pétrole brut, fuel, gazole,...) et la phase dispersée est de l'eau. Par définition les fluides de forage à base d'huile contenant plus de 5% d'eau sont appelés boues de forage en émulsion inverse, avec moins de 5% d'eau, on a les boues à l'huile. Ces fluides sont souvent désignés par : **“Oil-Based Mud”** ou **OBM**. La phase continue la plus utilisée jusqu'à ces dernières années était le gazole, mais actuellement la législation relative à la protection de l'environnement impose l'utilisation d'huiles minérales ou "synthétiques", ne contenant plus de composés aromatiques. Des agents émulsifiants et mouillants sont alors utilisés pour favoriser la stabilité de l'émulsion. Les propriétés rhéologiques (thixotropie) de cette émulsion sont ajustées par l'addition d'agents viscosifiants, généralement des argiles organophiles. Les formulations peuvent également contenir également des agents réducteurs de filtrat (composés asphalténiques et polymères) et d'autres additifs spéciaux. Il faut signaler qu'aujourd'hui la plupart des travaux de recherche portent sur l'amélioration des boues inverses synthétiques, vu leurs avantages économiques et environnementaux, comparativement aux fluides classiques à base de gazole. [5]

I.5.2.1. Utilisation :

Les boues à l'huile sont principalement utilisées :

- ❖ pour le forage et le carottage des niveaux producteurs dans les sondages d'extension;
- ❖ pour les reprises et entretiens de puits productifs;
- ❖ d'une manière générale pour tous les travaux au droit des horizons productifs.

I.5.2.2. Composition :

- ❖ Une phase continue huile.
- ❖ Une phase aqueuse dispersée (quelques pour cent en volume).

Chapitre I : Généralité

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> Contrôle aisé des caractéristiques en l'absence de venues d'eau ou de brut.<input type="checkbox"/> Insensibilité aux contaminants habituels des boues à base d'eau (NaCl, CaSO₄, ciment, argile).<input type="checkbox"/> Excellentes caractéristiques de filtration statique en température et pression, cake très mince.<input type="checkbox"/> Forage à densité inférieure ou égale à 1,00.<input type="checkbox"/> Meilleur calibrage du trou.<input type="checkbox"/> Réduction des frottements de la garniture sur les parois du puits ou diminution du couple de torsion et de l'usure de la garniture.<input type="checkbox"/> Réduction des risques de bourrage d'outil et d'accumulation des déblais sur les drill-collars et diminution du "pistonnage" lors des manœuvres.<input type="checkbox"/> Diminution du collage par pression différentielle.<input type="checkbox"/> Meilleure récupération en carottage.<input type="checkbox"/> Carottes sur lesquelles il est possible de mieux approcher la valeur de la saturation en eau et en huile.<input type="checkbox"/> Augmentation par rapport au forage en boue à l'eau, de la productivité.<input type="checkbox"/> Moindres dommages à la formation.	<ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> Sensibilité à l'eau et à certains bruts.<input type="checkbox"/> Risque de sédimentation des alourdisant.<input type="checkbox"/> Manipulation salissante.<input type="checkbox"/> Risque d'incendie.<input type="checkbox"/> Détérioration des caoutchoucs ne résistant pas aux hydrocarbures.<input type="checkbox"/> Difficultés pour déceler la présence d'huile de formation dans les déblais.<input type="checkbox"/> Prix de revient au m³ plus élevé que les boues à l'eau.<input type="checkbox"/> Logistique plus importante.

Tableau I.3 : Avantages et inconvénients de la boue à base d'huile. [6]

I.6. Les rôles du fluide de forage :

Les boues de forage doivent avoir des propriétés leur permettant d'optimiser les fonctions suivantes:

I.6.1. Nettoyage du puits :

La boue doit débarrasser le puits des particules de formation forées qui se présentent sous forme de débris de roche appelés « déblais ».

I.6.2. Maintien des déblais en suspension :

Le fluide de forage doit non seulement débarrasser le puits des déblais de forage durant les périodes de circulation, mais il doit également les maintenir en suspension pendant les arrêts de circulation.

I.6.3. Sédimentation des déblais fins en surface :

Alors que la boue doit permettre le maintien en suspension des déblais dans le puits durant les arrêts de circulation, ce même fluide doit laisser sédimenter les déblais fins en surface, afin de les éliminer. Bien qu'apparemment ces deux aptitudes semblent contradictoires, elles ne sont pas incompatibles.

I.6.4. Refroidissement et lubrification de l'outil et du train de sonde :

Du fait de son passage en surface, la boue en circulation se trouve à une température inférieure à celle des formations ce qui lui permet de réduire efficacement l'échauffement de la garniture de forage et de l'outil. Cet échauffement est dû à la transformation d'une partie de l'énergie mécanique en énergie calorifique.

I.6.5. Prévention du cavage et des resserrements des parois du puits :

La boue doit posséder des caractéristiques physiques et chimiques telles, que le trou conserve un diamètre voisin du diamètre nominal de l'outil.

Le cavage est causé par des éboulements, par la dissolution du sel, par la dispersion des argiles, par une érosion due à la circulation de la boue au droit des formations fragiles, etc.

Les resserrements ont souvent pour cause une insuffisance de la pression hydrostatique de la colonne de boue qui ne peut équilibrer la pression des roches.

I.6.6. Dépôt d'un cake imperméable :

La filtration dans les formations perméables d'une partie de la phase liquide de la boue crée un film sur les parois du sondage, ce film est appelé cake.

Le dépôt du cake permet de consolider et de réduire la perméabilité des parois du puits.

I.6.7. Prévention des venues d'eau, de gaz, ou d'huile :

Afin d'éviter le débit dans le puits des fluides contenus dans les réservoirs rencontrés en cours de forage, la boue doit exercer une pression hydrostatique suffisante pour équilibrer les pressions de gisement.

La pression hydrostatique souhaitée est maintenue en ajustant la densité entre des valeurs maximum et minimum.

I.6.8. Augmentation de la vitesse d'avancement :

Au même titre que le poids sur l'outil, la vitesse de rotation et le débit du fluide, le choix du type et les caractéristiques de la boue conditionnent les vitesses d'avancement instantanées, la durée de vie des outils, le temps de manœuvre, en un mot, les performances du forage.

Un filtrat élevé augmente la vitesse d'avancement. Les très faibles viscosités sont aussi un facteur favorable à la pénétration des outils.

I.6.9. Entraînement d'outils (turbine, MWD, etc.) :

Dans le cas du turboforage la boue entraîne la turbine en rotation. Cette fonction, l'amenant à passer à travers une série d'évents et à mettre en mouvement des aubages, implique certaines caractéristiques et rend impossible ou très délicat l'utilisation de certains produits (colmatant).

I.6.10. Diminution du poids apparent du matériel de sondage :

Bien que ce soit beaucoup plus une conséquence qu'une fonction, la présence d'un fluide d'une certaine densité dans le puits permet de diminuer le poids apparent du matériel de sondage, garniture de forage et tubages, ceci permet de réduire la puissance exigée au levage.

I.6.11. Apport de renseignements sur le sondage :

La boue permet d'obtenir des renseignements permanents sur l'évolution des formations et fluides rencontrés. Ces renseignements sont obtenus :

- Par les déblais remontés avec la circulation du fluide,
- L'évolution des caractéristiques physiques et/ou chimiques de la boue,
- La détection de gaz ou autres fluides mélangés à la boue.

I.6.12. Contamination des formations productrices :

La présence d'un fluide au droit de formations poreuses et perméables peut exercer une pression hydrostatique supérieure à la pression de gisement. Cela peut nuire à la future mise en production de cette zone.

I.6.13. Corrosion et usure du matériel :

Le fluide peut accélérer l'usure du matériel de sondage, par une action mécanique, si elle contient des matériaux abrasifs.

Elle peut aussi être corrosive par une action électrolytique (présence d'ions) due à un déséquilibre chimique.

I.6.14. Toxicité et sécurité :

La boue de forage ne devra pas présenter de danger pour la santé du personnel. Elle ne devra pas non plus créer de risques d'incendie, tout particulièrement dans le cas d'utilisation de boues à base d'huile. [7]

I.7. Fonction du circuit "basse pression" :

Le circuit boue "basse-pression" (B.P) est constitué de toute l'installation boue depuis la sortie du puits jusqu'à l'aspiration des pompes haute-pression (H.P) refoulant sur le puits.

Dans l'ordre chronologique, les principales fonctions à assurer sont

- le tamisage
- la décantation
- le dégazage
- le dessablage-désiltage
- les traitements particuliers d'élimination des solides

I.7.1. Tamisage :

En cours de forage, la boue se charge en déblais qui doivent être éliminés au maximum en surface avant d'être recyclés dans le trou. En effet une teneur élevée en solides augmente la densité de la boue, modifie ses caractéristiques physiques et la rend abrasive. Ceci favorise les pertes, le collage par pression différentielle, le colmatage des formations productrices et de nombreux ennuis en forage. Le tamisage est le premier traitement mécanique d'élimination des solides (Figure I.3).

Dès la sortie de la goulotte, la boue passe dans un "mud box" pour régulariser le débit, puis sur des toiles rectangulaires plus ou moins inclinées et soumises à des vibrations (quelques rares appareils ont des toiles circulaires).

La toile est définie par les dimensions de sa maille (carrée ou rectangulaire), exprimée en mesh (le mesh est le nombre de maille au pouce linéaire. Très approximativement, la taille du trou est obtenue en divisant 15 000 par le nombre de mesh, ex : 200 mesh donnent 74 microns).

Les vibrateurs à double étage (quelquefois triples) possèdent des toiles superposées de maillage décroissant.

Le maillage des tamis doit être adapté au débit de forage, à la vitesse d'avancement, à la nature des terrains forés, au type de boue, etc...

Les tamis vibrants ou vibrateurs sont des appareils robustes et d'une excellente fiabilité à condition de respecter les règles de mises en place, d'utilisation et de maintenance :

- contrôle de l'horizontalité du skid-support.

- contrôle de l'inclinaison des toiles.
- contrôle du réglage du système de vibration.
- Nettoyage fréquent des toiles en forage et surtout en début de manœuvre.
- Mise en place des toiles suivant la procédure fixée par le constructeur.
- tensionnement avec une clé dynamométrique.

Après les vibreurs, la boue va circuler par gravité de bassin en bassin, soit par une goulotte en position haute à section rectangulaire ou trapézoïdale, soit par des conduites cylindriques en position basse.

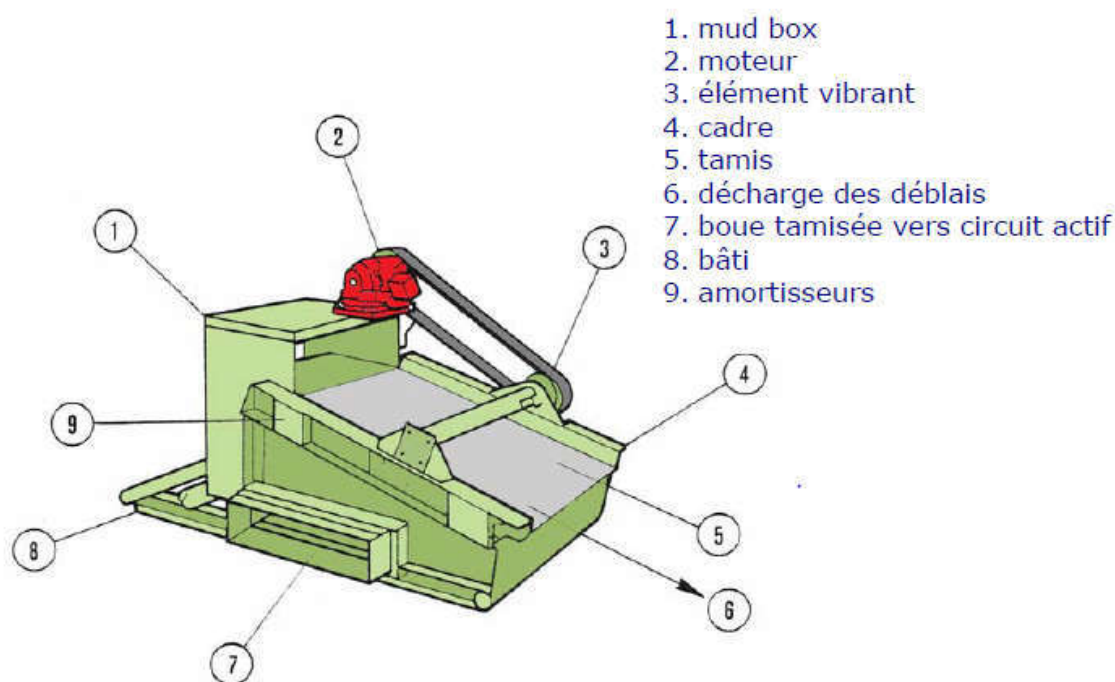


Figure I.3 : Les tamis vibrant (le tamisage) [8]

I.7.2. Décantation :

En général aujourd'hui, la décantation n'est effectuée que dans un petit bassin de 4 à 5 m³, appelé "sablière" et situé sous les vibreurs ou juste en aval de ceux-ci.

Ce bassin ne doit pas être équipé de moyens de brassage, ni de ligne d'aspiration. Il est par contre muni d'un dispositif de vidange rapide afin de faciliter son évacuation et son nettoyage : ceci est également favorisé par l'inclinaison à 45° du fond du bassin.

Pendant les phases de démarrage, cette sablière (ou "Sand Trap") est nettoyée au moins à chaque manœuvre et même à chaque ajout de tige lors d'avancement très rapide dans les sables par exemple.

Un bon usage de la sablière permet de soulager les appareils d'élimination des solides, placés en aval.

Pour certaines opérations (changement de boue), il est nécessaire de pouvoir by passer cette sablière.

I.7.3. Dégazage :

Suivant l'importance de la venue de gaz, deux types de circuit peuvent être établis à la sortie du puits :

I.7.3.1. Séparateur vertical : (cf. figure I.4)

Dans le cas de fortes venues, le puits est circulé sous dusse. Après le manifold de dusses, la boue passe dans un séparateur vertical où elle se dégage par ruissellement sur des plateaux ou des chicanes. La boue propre est recueillie en bas de l'appareil alors que le gaz s'échappe à la partie haute. Un vide partiel peut être créé pour améliorer la séparation.

En général il s'agit d'un appareil artisanal de conception simple et robuste qui lui permet de résister à des venues de gaz brutales. La seule maintenance est un nettoyage soigné après utilisation. La sortie boue du séparateur se fait en général avant les vibrateurs.

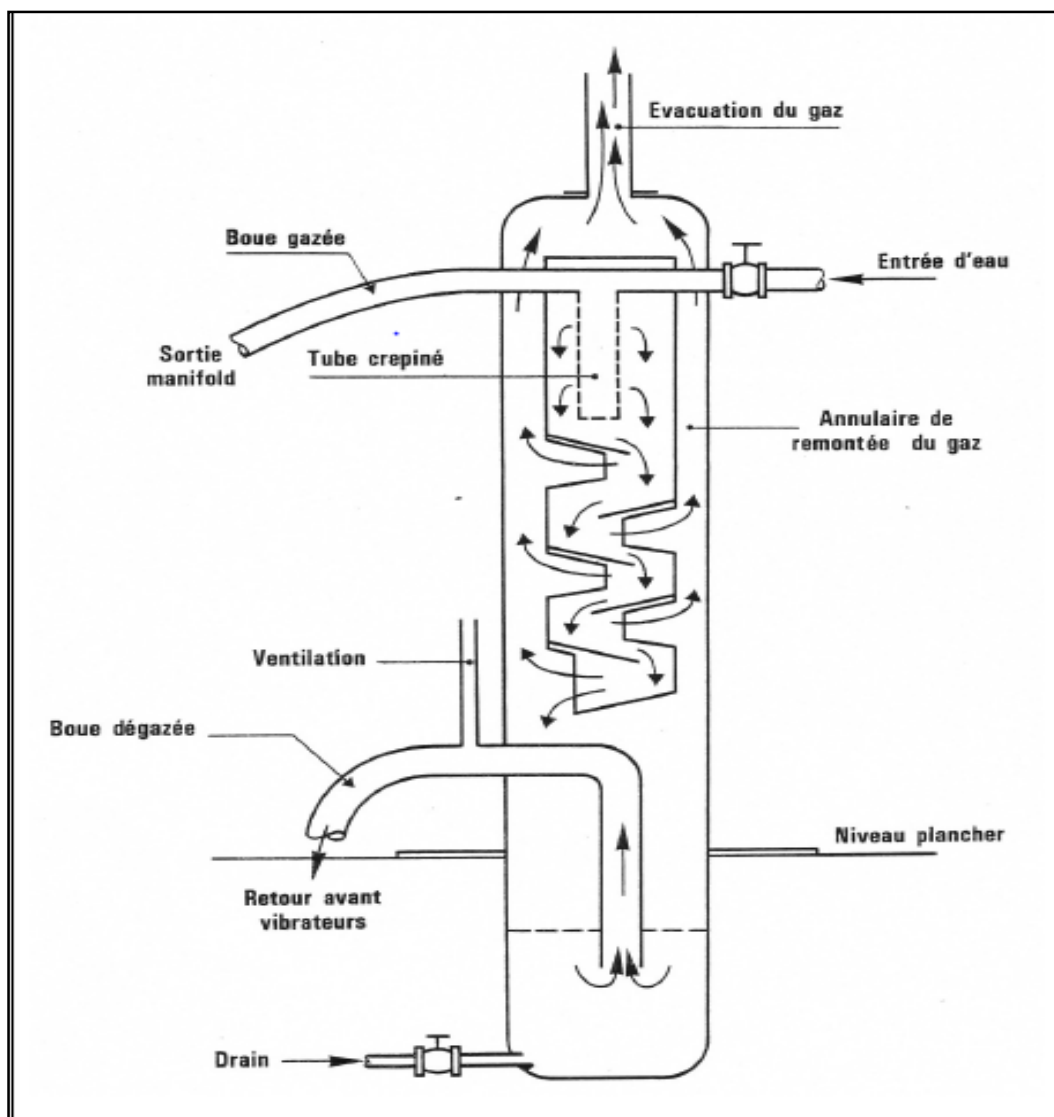


Figure I.4 : Séparateur vertical [8]

I.7.3.2. Dégazeur :

Dans le cas où la teneur en gaz n'est pas trop élevée, soit parce que la venue de la formation est faible, soit parce qu'il s'agit de gaz résiduel après séparateur ou de gaz recyclé, etc.... la boue gazée est passée dans un dégazeur installé en parallèle sur le circuit.

La boue est injectée dans une enceinte où elle est en général soumise à un vide partiel. La boue se dégage par ruissellement sur des chicanes et retourne dans le circuit (SWACO - WELCO - SWECO - etc ...).

Pour l'appareil le plus ancien et encore le plus fréquent SWACO (cf. figure 5), une pompe à air crée le vide dans l'enceinte et aspire la boue gazée. Une pompe centrifuge annexe, circulant de la boue propre, éjecte par effet venturi la boue dégazée.

D'autres dégazeurs (DRILCO - BAROID - PIONEER) fonctionnent à la pression atmosphérique. Le bassin d'aspiration du dégazeur doit être de faible volume de façon à traiter en priorité la boue la plus gazée. Si le bassin est de grande dimension, l'aspiration doit être réglable en profondeur afin d'aspirer de préférence la boue gazée sur nageant. (cf. figure 5)

Le bassin de rejet de la boue dégazée doit être distinct du bassin d'aspiration, un retour vers ce dernier bassin doit être prévu en partie haute, pour permettre un nouveau dégazage de la boue insuffisamment dégazée.

Le dégazage doit être poussé au maximum avant d'aller plus loin dans le circuit : en effet le rendement d'une pompe (centrifuge ou à piston) devient très mauvais si la boue aspirée est gazée.

Toutes les opérations ultérieures :

Hydro-cyclonage, mixing, suralimentation, etc. s'effectueront donc dans de très mauvaises conditions si le dégazage a été incomplet. Il est de plus très dangereux de recycler dans le trou de la boue encore partiellement gazée.

Les dégazeurs sont des matériels assez élaborés dont le rendement ne sera correct que si les recommandations d'utilisations fournies par le fabricant, sont soigneusement respectées. Il s'agit en particulier des pressions de refoulement des pompes "éjecteur par effet Venturi".

L'entretien et le nettoyage doivent être réalisés avec soin après chaque utilisation et notamment après chaque essai de fonctionnement. Ces essais périodiques sont nécessaires pour vérifier le bon état de l'appareil et la non-obstruction des conduites d'aspiration et de refoulement par de la boue sédimentée.

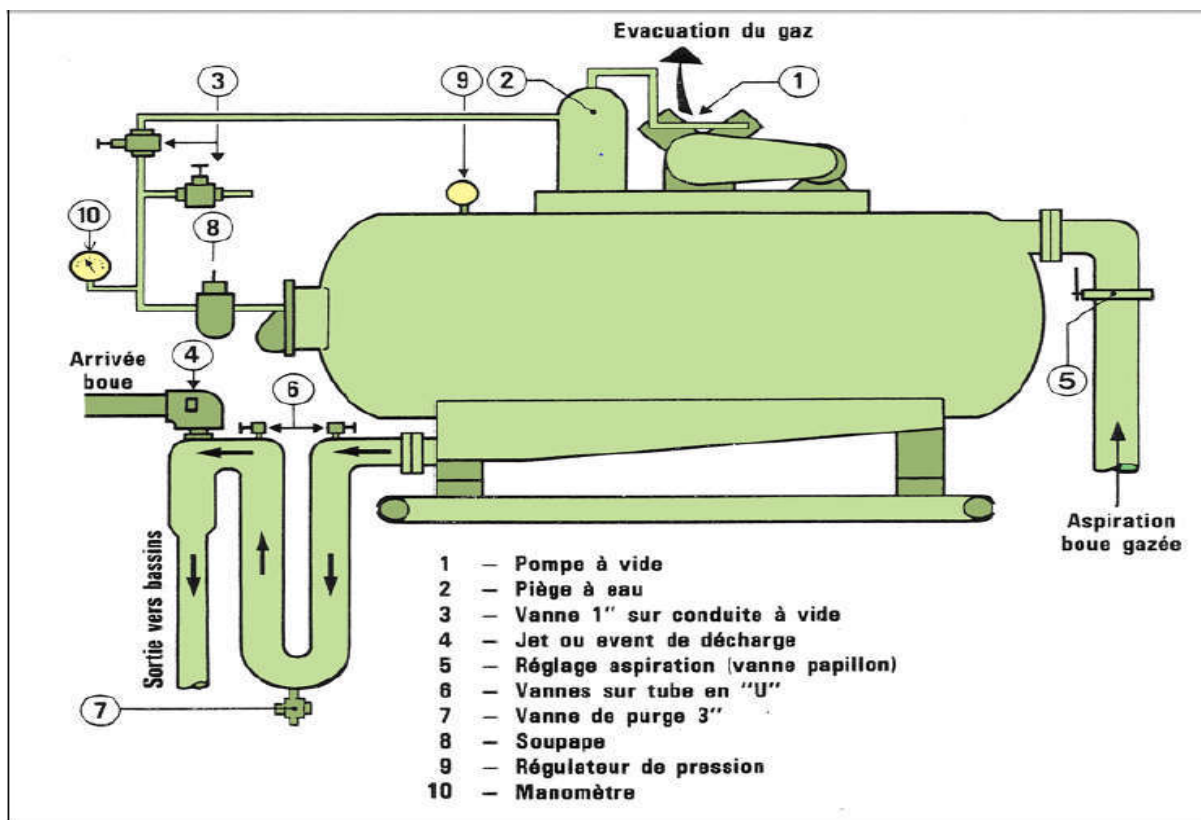


Figure I.5 : Dégazeur (SWACO (R.B)) [8]

I.7.4. Traitements particuliers d'élimination des solides :

Les appareils d'élimination, décrits ci-dessus, peuvent se révéler insuffisants ou inadaptés dans différentes circonstances :

- Les avancements et la charge en solides sont très rapides
- la boue doit être maintenue à une densité très faible
- Il s'agit d'une boue chère ou polluante qui ne peut pas être éjectée avec l'effluent lourd des hydrocyclones, etc...

Pour régler ce genre de problèmes, il faut utiliser des appareils ou des associations d'appareils particuliers.

I.7.4.1. MUD-CLEANER :

La perte de boue avec l'effluent lourd des désilteurs est jugée excessive. Cet effluent lourd est donc récupéré sur un tamis vibrant à toile fine (150 à 200 mesh) : les solides sont éliminés au borbier et la boue épurée sous vibrateurs est remis en circuit. En général, le MUD-CLEANER est un appareil indépendant monté en parallèle sur le circuit et comporte sa pompe d'alimentation, sa batterie de cônes 4" et son tamis vibrant (Figure I.6).

Ce système n'est rentable que dans le cas de boue chère et/ou polluante.

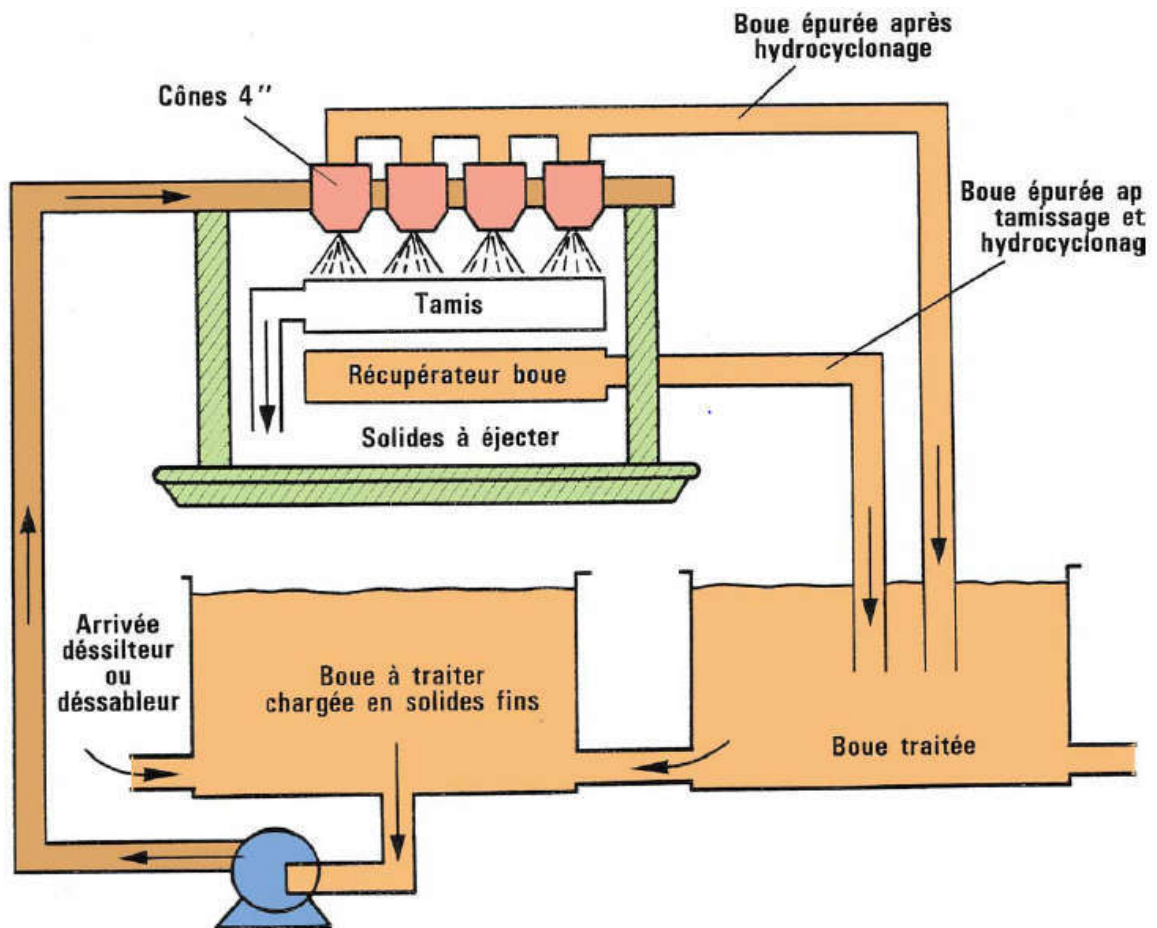


Figure I.6 : Le MUD-CLEANER. [8]

I.7.4.2. Centrifugeuses :

Les centrifugeuses semi-continues à axe vertical et à bol de grand diamètre sont les appareils qui donnent le meilleur pouvoir séparateur et la plus grande capacité de traitement (10 à 15 m³/heure de boue). (Figure I.7)

Le principal inconvénient est qu'elles nécessitent la présence d'un opérateur au moins à temps partiel, si on veut en tirer le rendement maximum.

Elles ont été utilisées avec une excellente rentabilité pour récupérer la boue perdue avec les effluents lourds désableurs - désilteurs. Cet effluent est rassemblé dans un petit bac où il décante, la boue sur nageant est centrifugée et la boue propre est renvoyée dans le circuit.

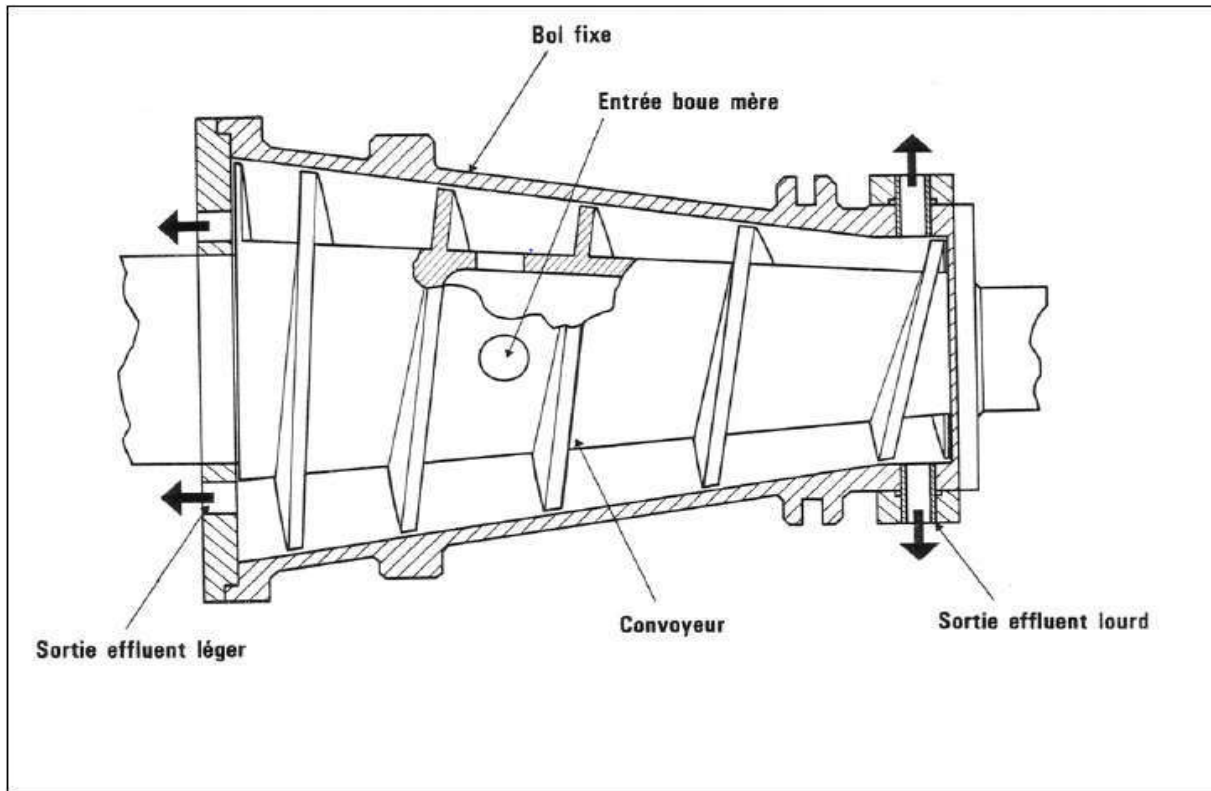


Figure I.7 : Centrifugeuse à vis convoyeuse. [8]

CHAPITRE II :

Les déchets de forage pétrolier et leur impact sur l'environnement

Chapitre II : les déchets de l'industrie pétrolière et leur impact sur l'environnement

II.1. Introduction

L'industrie pétrolière a beaucoup de problèmes qui accompagnent les travaux pétroliers, depuis qu'ils ont commencé et jusqu'à présent, le pétrole se mélange à son environnement et laisse derrière lui de nombreux problèmes environnementaux, en plus d'un certain nombre d'autres problèmes accompagnant les opérations de forage qui atteignent des milliers de mètres de profondeur dans la terre.

Depuis le début de l'industrie pétrolière, il n'y a pas d'alternative aux marécages (bourbiers) qui sont généralement à côté du puits pour être un dépotoir pour les déchets pétroliers et les déchets de forage, et la production (car il existe des appareils de forage spécialisés dans la réparation des puits et des appareils de forage).

II.2. Définition des bourbiers :

Dans le domaine de l'exploitation pétrolière, une panoplie des produits chimiques est employée dans la formulation des boues de forage. Ces composés de natures différentes et dont la toxicité et la biodégradabilité sont des paramètres mal définis, sont cependant déversés dans la nature. En plus des hydrocarbures (HC, tels que le gazole) constituant majeur des boues à base d'huile, on note les déversements accidentels du pétrole, ainsi que d'une variété d'autres produits et additifs spéciaux (tensioactifs, polymères, ..) qui peuvent exister sur les sites de forage. Ces rejets sont généralement stockés dans des endroits appelés 'bourbiers'. [2]



Photo II.1 : Bourbiers étanche au début de forage.



Photo II.2 : Bourbiers après l'avancement des opérations de forage.

II.3. Les bourbiers et impacts sur l'environnement :

Les bourbiers 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 rejets de forage risquent de contaminer le sol et le sous-sol par les actions suivantes :

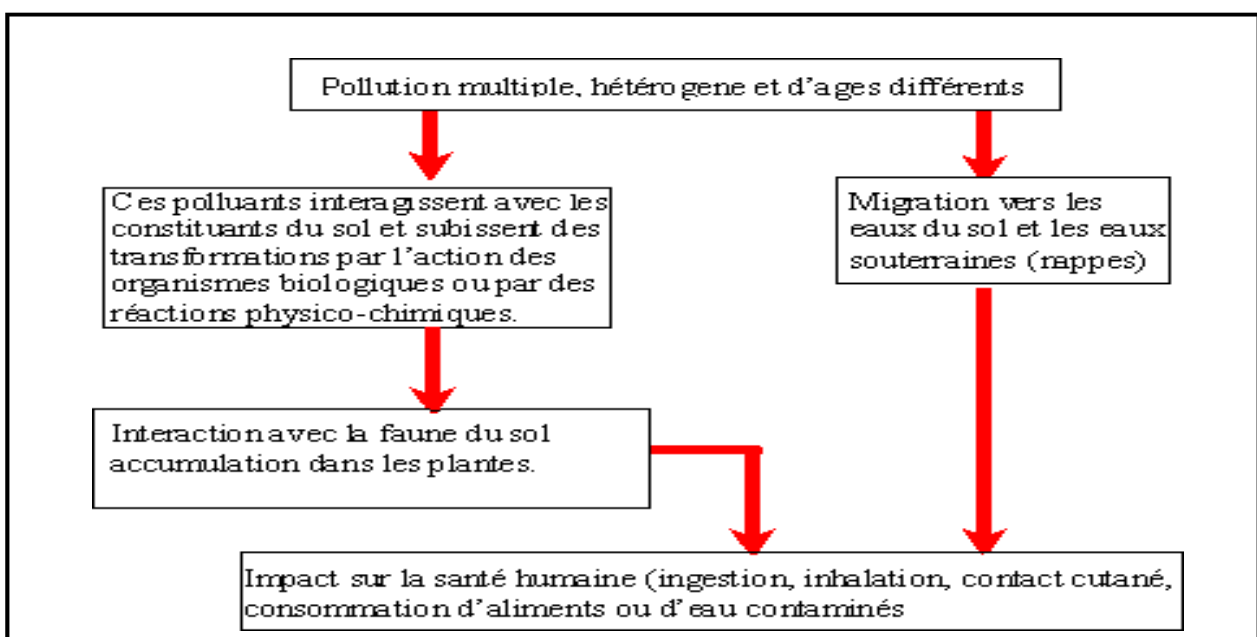


Figure II.1: Action des polluants dans le sol [9]

Chapitre II : les déchets de l'industrie pétrolière et leur impact sur l'environnement

L'entreprise doit respecter les lois sur la protection de l'environnement, nous les mentionnons :

Les exigences et méthodes pour favoriser l'éco-conception des produits, réduire l'impact environnemental (ISO 14004, 14006, 14031, 14062).

La mise en place de l'audit environnemental (ISO 14010, 14011, 14012).

Le marquage et les déclarations environnementales (ISO 14020, 14021, 14024 et 14025).

Le bilan des émissions de gaz à effet de serre (ISO 14064).

L'analyse et l'amélioration du cycle de vie des produits, arrivé à une économie circulaire, avec recyclage (ISO 14040 et 14044).

II.4. Les sources des bourbiers :

I.4.1. L'activité de forage :

Parmi les couches géologiques traversées par les fluides de forage, on Rencontre les différents aquifères qui risquent une contamination sérieuse par infiltration de ces fluides ; sont :

- 1- à partir de la surface par les rejets et liquides de forage (boue de forage, cutting, etc....) déversés, dans la plupart des cas, directement sur le sol sans aucune protection, ainsi que les rejets solides et liquides domestiques, déversent dans des fosses non conformes et non protégées
- 2- en cour de forage, la contamination se traduit par le contact de deux fluides de caractéristiques rhéologique différentes (mélange d'un fluide de formation traversée et la boue de forage en question).
- 3- une mauvaise cimentation peut provoquer des pertes du laitier de ciment dans les formations et une venue de fluide de formation.
- 4- par infiltration des hydrocarbures en développement.
- 5- le stockage non conforme des produits chimiques utilisés pour les différents fluides peut provoquer une contamination des sols donc des aquifères de surface.

II.4.2. Les opération de production sur puits :

Lors des opérations de production (extractions des hydrocarbures, et leur acheminement vers les centres de production), des risques majeurs de pollution et de contamination des aquifères (de surface et autres) peuvent survenir

1. lors des déversements d'hydrocarbures volontaires en surface (dégorgement des puits ou lorsd'opérations de "snubbing" de "work-over", etc....).
2. des fuites d'hydrocarbures dues aux détériorations et à la corrosion des tubages et casing
3. des résidus de pertes de fracturation, d'acidification, etc. Pendant les opérations spéciales

Chapitre II : les déchets de l'industrie pétrolière et leur impact sur l'environnement

4. des rejets de produits de pertes issues de l'opération d'évaluation du réservoir
5. des rejets de produits utilisés pour l'entretien des puits et des installations de production.

Les hydrocarbures produits passant d'abord par des séparateurs (huile/gaz) et sont débarrassés des eaux résiduelles pour être acheminés vers des bacs de stockage

Les rejets générés proviennent des eaux de décantation, des slopes et également des fuites d'hydrocarbures dues aux défaillances des bacs.

Lors de l'acheminement des hydrocarbures par canalisations, des déversements et fuites peuvent survenir, ce qui induit forcément une pollution de sol et des aquifères de surface.

De plus, l'empiètement de ces canalisations (pouvant atteindre un diamètre 40") peut gêner jusqu'à l'évolution naturelle du système écologique.

II.4.3. Traitement des hydrocarbures :

Une activité qui consiste à transformer la matière première (pétrole brut, gaz) en plusieurs produits finis, en lui faisant subir un certain nombre de traitements physiques et chimiques cela induit des rejets qui peuvent entraîner une contamination des sols et des aquifères :

- rejets des produits de traitement.
- déversements et fuites d'hydrocarbures sur la surface.
- opération de torchage du gaz qui provoque une importante pollution atmosphérique et des nuisances sur la santé. [10]

II.5. Les méthodes de traitement des déblais de forage :

Après un prétraitement on-line (fonction du circuit "basse pression") les déblais qui sont stockés dans le borbier sont repris par un engin et amenés dans l'unité de traitement. Les différentes méthodes de traitement sont utilisées en offline traitement :

II.5.1. Traitement par Stabilisation et Solidification :

Les traitements de stabilisation/solidification ont pour but d'améliorer la rétention des polluants 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 il consiste en un processus physico-chimique complexe pour obtenir la stabilisation et la solidification des polluants.



Figure II.2 : Photo de l'unité de traitement (stabilisation/solidification) [11]

II.5.1.1. Stabilisation :

La stabilisation (fixation) d'une matière résiduelle ou d'un sol consiste à effectuer des réactions chimiques afin de réduire le niveau de risque associé à chacun des contaminants en limitant leur mobilité. Elle a pour but d'amener les contaminants sous une forme moins soluble ou moins toxique [12].

II.5.1.2. Solidification :

La solidification est l'étape du procédé où la matière résiduelle ou le sol est mélangé avec des réactifs afin d'obtenir une matrice inerte habituellement formée de silicates. À la fin de la période de mûrissement, la matière résiduelle ou le sol traité se retrouve sous la forme d'une matrice solide (monolithe) ayant une intégrité structurelle. À cause de sa faible perméabilité, le monolithe emprisonne les contaminants et limite leur mobilité tout en réduisant les surfaces exposées. [12]

II.5.1.3. Procédés de stabilisation et solidification :

Un procédé de stabilisation et solidification consiste en une série d'étapes de traitement visant à modifier les caractéristiques d'une matière résiduelle ou d'un sol contaminé afin de le rendre sous une forme stable, moins mobile et plus sécuritaire pour l'environnement. Le plus souvent, l'immobilisation des contaminants aura pour objectif de réduire le risque de contamination de l'eau souterraine ou de surface [12].

Les déblais sont acheminés vers une trémie de malaxeur à travers une grille pour éliminer les gros éléments, ensuite les déblais sont déversés dans le mixeur où il y aura un mélange du ciment, de silicate et d'eau. Ce mélange est mixé pendant environ 15 minutes puis évacué à l'aide d'un convoyeur pour l'éloigner du site, à la fin on obtient des rejets solides qui sont éliminés dans une fosse. Ce procédé consiste à stabiliser au moyen d'un produit chimique toutes

Chapitre II : les déchets de l'industrie pétrolière et leur impact sur l'environnement

les concentrations d'hydrocarbure et de métaux lourds contenus dans les déblais et à solidifier ces déblais par le ciment. Les silicates donnent un précipité insoluble en présence des métaux lourds et lorsqu'ils réagissent avec des cations polyvalents tel que le calcium, ces derniers formant un film imperméable autour des particules solides.

Le ciment permet d'enrober et de renforcer la qualité du film résultant de la réaction chimique (silicate et calcium libéré). Le ciment durcit au contact de l'eau ce qui donne un produit stable et inerte qui empêche la mobilisation des métaux lourds par lixiviation, ce qui diminue leur impact sur l'environnement.

Après traitement, et une fois que le processus de durcissement est atteint, nous obtenons une matrice qui incorpore les rejets en une pierre synthétique. Ce phénomène est appelé l'encapsulation (Figure II.3). [13]

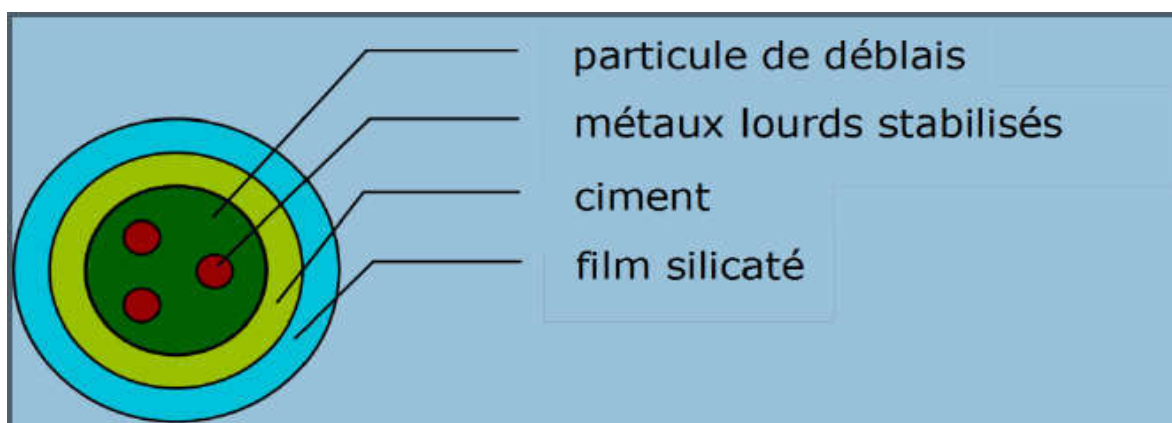


Figure II.3 : Phénomène d'encapsulation [13].

II.5.2. Traitement par Désorption Thermique :

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 de 250 à 550°C. Cette dernière permet la volatilisation des polluants sous forme de gaz qui seront dépoussiérés et épurés par des filtres 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. [14]

II.5.2.1. Principe de fonctionnement :

Les déblais de forage sont portés à des températures comprises entre 250°C et 550°C, selon les types de contaminants.

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

Chapitre II : les déchets de l'industrie pétrolière et leur impact sur l'environnement

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. Les polluants hydrocarbonés sous forme gazeuse collectés au sommet du four rotatif sont condensés à la phase liquide qui est traitée dans un séparateur huile/eau. L'eau récupérée est réutilisée pour hydrater de nouveau les déblais en aval du four. L'huile récupérée est réutilisée soit pour la fabrication d'une nouvelle OBM ou pour le fonctionnement du four (Figure .II.4)

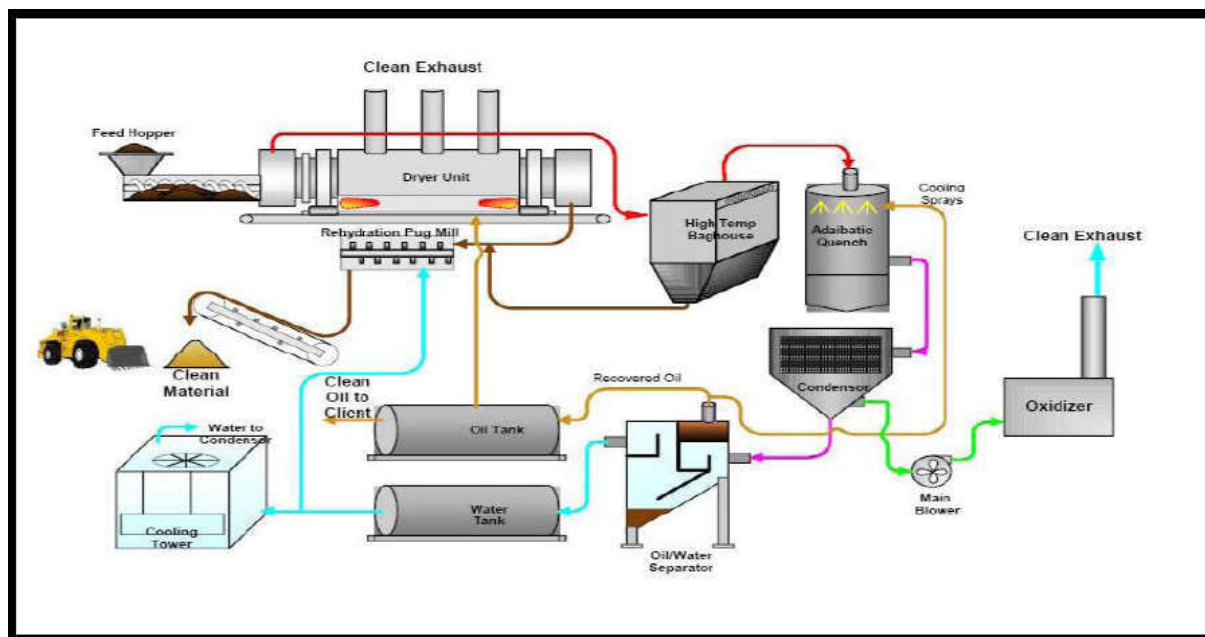


Figure II.4 : Procédé de traitement de désorption thermique. [15]

II.6. Toxicité de la boue :

II.6.1. Métaux :

Certains contaminants tels que les métaux, sont susceptibles d'être toxiques de façon immédiate envers un être vivant. En raison de leurs propriétés chimiques (solubilité, état d'oxydation) les métaux se présentent sous différentes formes (ions, complexes) et liés à divers ligands. Leur spéciation influe directement sur leurs toxicités et leurs biodisponibilités. La présence simultanée de plusieurs métaux peut engendrer une toxicité supérieure à celle de chaque métal séparé. Par exemple, le zinc, le cadmium et le cuivre sont toxiques faibles pH et agissent en synergie pour inhiber la croissance des algues et affecter les poissons.

Dans les écosystèmes aquatiques, la biodisponibilité des métaux repose sur leur charge mais aussi sur les caractéristiques chimiques, biologiques et hydrogéologiques de l'eau dans laquelle ils sont déversés. Cette toxicité entraîne la mortalité des espèces quand la DL_{50} (dose létale spécifique) est atteinte.

Chapitre II : les déchets de l'industrie pétrolière et leur impact sur l'environnement

Chez les personnes souffrant d'intoxication métallique, on trouve des métaux toxiques dans la plupart des tissus mous, surtout le foie, les reins mais aussi dans les os. Une fois absorbés, les éléments métalliques sont souvent difficiles à éliminer. La demi-vie de la plupart d'entre eux dans le corps humain est longue (30 ans pour le cadmium, 70 an pour le plomb). Les effets d'une exposition de longue durée aux métaux (Cd, Cu, Pb, Sn, Zn) sont : gastro-entérite, irritation pulmonaire, insuffisance rénale et hépatique. L'exposition aux métaux peut aussi provoquer des cancers. Plus spécifiquement, selon les études de l'INERS (institut national de l'environnement industriel et de risque, La France) le plomb à forte dose, entraîne une anémie, il perturbe le système nerveux et les reins, il a un effet mutagène quand il est combiné sous forme d'acétate et de phosphate. Sur l'environnement il a un effet neurologique sur le comportement (mésos-faune et macrofaune) ; il inhibe l'activité microbienne dans la décomposition de la matière organique.

Le zinc n'a pas d'effet cancérigène par voie orale ou par inhalation. Dans l'environnement, le zinc perturbe l'écosystème forestier au niveau de la décomposition de la matière organique et du recyclage des nutriments.

➤ Cuivre :

Il est rare de trouver du cuivre dans les eaux naturelles, et sa présence est due essentiellement à des canalisations. Bien que non toxique à l'état de traces, le cuivre donne un goût métallique à l'eau à partir de 2 mg/l et une coloration perceptible.

➤ Zinc :

Il peut provenir des régions dont le sol est riche en sulfates ou en carbonates de zinc, de pollutions industrielles (galvanisation) et de l'attaque de citernes ou de canalisations en acier galvanisé.

Comme le cuivre, il n'est pas toxique à l'état des traces, mais il peut causer un trouble et un goût désagréable à l'eau. De plus le zinc d'origine métallique est souvent accompagné des impuretés qui sont toxiques (Cd, Sn, et Sb).

➤ Cadmium :

Les sels de cadmium sont présents dans les eaux de surface et particulièrement sous forme de sulfates à cause des rejets provenant des industries métallurgiques, photographiques et de peintures.

Les tests de toxicité ont été réalisés sur les poissons et ont prouvé que le cadmium est toxique à des concentrations allant de 0,01 à 1 mg/l et que cette toxicité augmente en

Chapitre II : les déchets de l'industrie pétrolière et leur impact sur l'environnement

présence du cuivre.

Le cadmium affecte également la santé humaine à une dose de 0,4 mg est mortelle c'est pour cette raison que la limite maximum de cadmium dans les eaux de concentration est fixée à 0,01 mg/l.

> Chrome :

La présence du chrome dans les eaux de surface est due à leur contamination par les eaux de rejets industriels. Seul le chrome hexa valent est considéré, comme toxique, c'est pourquoi sa teneur dans les eaux de consommation est limitée à 0.05 mg/l par l'Organisation Mondiale de la Santé.

> Magnésium :

Il provient essentiellement de l'attaque des dolomies, des calcaires dolomitiques ou des sels de magnésium qui peuvent se trouver mêlés au gypse et l'anhydrite. Il est à remarquer que se sont les formes les plus fréquentes qui sont les plus solubles $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ (espionite) et $Ca(HCO_3)_2$ et $Mg(HCO_3)_2$ (hydrogénocarbonates).

Le magnésium peut être un indicateur de pollution dans les eaux non polluées. Le rapport Ca/Mg est de 4 à 5, si les eaux sont contaminées par l'urine ou du purine, ce rapport change. La présence de magnésium donne un goût amer à l'eau.

II.6.2. Les hydrocarbures :

Les hydrocarbures, regroupent différents produits pétroliers (pétrole brut, pétrole raffiné, kérosène, essences, fuel, lubrifiants, huiles à moteurs).on peut employer aussi le terme d'hydrocarbures paraffinaques.

Cette famille comprend principalement des alcanes (hydrocarbures aliphatiques) constituées de chaînes linéaires ou ramifiées comprenant au minimum cinq atomes de carbone, caractérisés par un point d'ébullition compris dans l'intervalle 35-490°C. Elle contient en proportions, parfois significative, des hydrocarbures aliphatiques cycliques (cyclane), des hydrocarbures aromatiques monocycliques (benzène, toluène, xylène...) ou polycycliques (HAP : ex. benzo (a) pyrène).

On définit les hydrocarbures des familles de dérivés en fonction de leur utilisation ; ces familles sont basées sur des coupes de raffinages pétroliers, il est possible de préciser le nombre d'atomes des molécules les composant.

Au laboratoire, ils sont généralement dosés globalement (indice hydrocarbures totaux,

Chapitre II : les déchets de l'industrie pétrolière et leur impact sur l'environnement

IHT), d'où l'appellation impropre mais fréquente d'hydrocarbures totaux pour ce groupe.

La solubilité des hydrocarbures est variable mais jamais élevée. On note des valeurs de 3 à 30 mg/l (C_5 - C_7), qui chutent de 0,07 sur C_9 , jusqu'à 0,007 pour C_{12} . La plupart des hydrocarbures sont peu miscibles avec l'eau. Ils tendent à former des couches distinctes lorsqu'ils atteignent les nappes phréatiques. La densité des hydrocarbures varie avec la longueur des chaînes carbonées

.la plupart des hydrocarbures (C_5 à C_{26}) s'accumuleront sélectivement sur la surface de la nappe (densité inférieure à 1) et les hydrocarbures les plus lourds (fuel, lourds) s'accumuleront au plancher de celle-ci (densité supérieure à 1).

La stabilité des hydrocarbures aliphatiques est assez élevée, leur dégradation dans l'environnement, sous l'effet de la lumière ou des bactéries étant très lente.

Dans le cas des hydrocarbures plus légers que l'eau, la quantité déversée doit être suffisante pour qu'il ait constitution d'une phase continue. Sinon, la pollution se manifestera sous forme de gouttelettes d'huile piégées dans les pores constituant autant de micro-sources de pollution, par relâchement dans la phase eau de composants solubles.

S'il y a constitution d'une phase « huile » non miscible et continue, celle-ci va migrer vers la nappe sous l'influence de la gravité et des forces capillaires, ces dernières induisent de plus un étalement latéral.

La phase « huile » en déplacement peut être enveloppée d'une phase gazeuse formée par la vaporisation des composants les plus volatils.

Si la nappe est atteinte, les composants solubles passeront dans la phase eau et seront entraînés par convection et dispersion. La quantité de polluant restant à l'état de phases distinctes continuera de se déplacer lentement sous l'effet de ses propres gradients de pression en exerçant sur la nappe une action qui en déprimera légèrement la surface. [10]

Chapitre III : matériel et méthode

III.I. Introduction

A cause de l'augmentation de l'activité de forage pétrolier dans le sud algérien et les bourbiers qui en résultent après l'utilisation des fluides de forage à base d'huile, ces bourbiers provoquent des problèmes qui menacent la vie de l'homme, des animaux et des plantes.

Elimination de la couverture en sable

avant échantillonnage à différentes profondeurs

Vue globale d'un bourbier

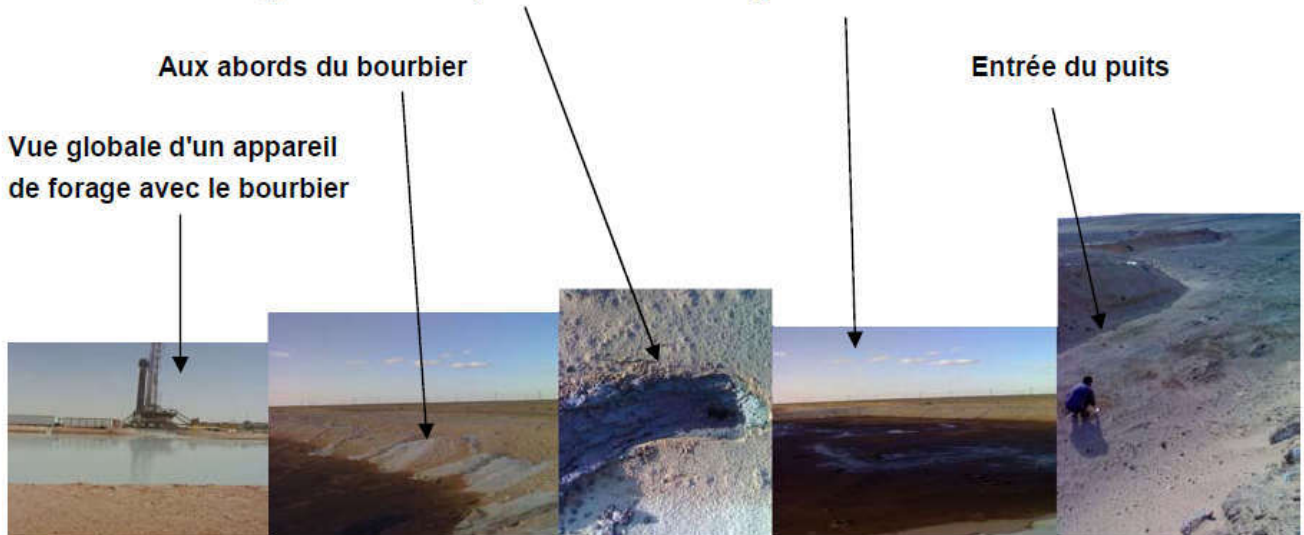


Figure III.1 : Vue des bourbiers et des points d'échantillonnage [5]

III.1. Sur chantier :

III.1.1. La Densité :

La densité est le rapport de la masse d'un corps à la masse volumique d'un corps de référence dans des conditions qui doivent être spécifiées pour les deux corps (l'eau à 4 °C pour les liquides et les solides, et l'air pour les gaz). Elle s'exprime par un nombre sans dimension.

III.1.1.1. Rôle de la densité :

La densité est une caractéristique très importante des boues de forage. Elle doit être suffisamment élevée pour que la pression hydrostatique exercée par la boue sur les formations et les fluides qu'elles contiennent empêche l'éboulement des formations et les venues de fluides. Elle ne doit pas être trop élevée pour que la pression hydrostatique soit inférieure à la résistance des roches en tout point du découvert, afin de ne pas créer des fractures dont une des conséquences est la perte de circulation puis la venue possible d'un fluide. En conséquence nous serons amenés à augmenter ou diminuer la densité des boues pour satisfaire ces impératifs. Alors qu'aucun traitement de boue en cours ne peut affecter la densité:

- Un accroissement en cours de forage est l'indice :

- D'un enrichissement de la boue en particules solides (actives ou inertes) en provenance de la formation.

- D'une venue de fluide de densité supérieure à celle de la boue (eau salée saturée en Na Cl et / ou autres chlorures).

- Une diminution en cours de forage est l'indice :

- D'une venue de fluide de densité inférieure à celle de la boue (eau, huile, gaz).

- D'un bullage de la boue causé par une prise d'air accidentelle dans le circuit surface ou par une action secondaire d'un des additifs en présence dans la boue (dérivée ligneux en particuliers).

- Densités moyennes des produits sur secs :

BARYTINE : 4,2 à 4,3

CARBONATE DE CALCIUM : 2,7

SEL (Na Cl) : 2,1

ARGILE : 2,5

III.1.1.2. Mesure de la densité (Le Densimètre) :

Au niveau de laboratoire, la densité des boues de forage se mesure à l'aide d'un densimètre dont le principe est analogue à celui de la balance romaine à curseur.

Certains de ces densimètres permettent de lire directement les densités, les poids volumiques en livres/gallon, livres par cubic foot et les pressions exercées par la colonne de boue en PSI par 1000 Feet.

❖ Mode d'emploi :

- Remplir le godet de boue à mesurer.

- Mettre le couvercle et évacuer l'excès de boue qui sort par le trou central du couvercle prévu à cet effet.

- Nettoyer à l'eau et sécher en prenant soin de maintenir le trou du couvercle obstrué en permanence.

- Placer les couteaux du fléau dans le porte-couteau du socle.

- Déplacer le curseur jusqu'à obtenir l'horizontal du fléau. Cette horizontalité doit être contrôlée à l'aide du niveau du bulle situé au dessus des couteaux. - Lire la densité ou le poids volumique directement sur le bras du fléau, au droit de la position du curseur.

❖ **Étalonnage :**

- Remplir le godet d'eau pure.
- Placer le curseur sur la densité 1,00 ou le poids volumique correspondant à celui de l'eau pure.
- si l'horizontalité n'est pas obtenue, ajuster en modifiant la tare prévue à cet effet à l'extrémité du bras du fléau.

Cet étalonnage nécessaire n'est pas suffisant. Il est indispensable de renouveler l'opération précédente avec un liquide de densité connue (contrôlée sur une balance au laboratoire par exemple) d'une valeur égale ou supérieure à 1,50.

Si le premier étalonnage est correct et que le second ne l'est pas, il faut renvoyer ce densimètre au laboratoire, l'étalonnage devant s'avérer délicat ou impossible.

❖ **Avantage des densimètres :**

Ce sont des appareils de chantier robustes, permettant de mesurer des densités de 0,95 à 2,20. Les résultats ne sont pas affectés par les changements de températures (étant donné la précision requise).

❖ **Densimètre pressurisé :**

Afin de minimiser les erreurs de mesures dues au "bullage" de la boue un nouveau type de densimètre pressurisé est normalisé par l'American petroleum institute (API) pour les ciments (Figure III.2). Ce densimètre peut aussi être utilisé avec profit pour les boues. Sa mise en œuvre ne diffère de celle du densimètre classique (Figure III.3) que par la présence d'une pompe manuelle qui permet de comprimer le gaz dans la coupe. [16]

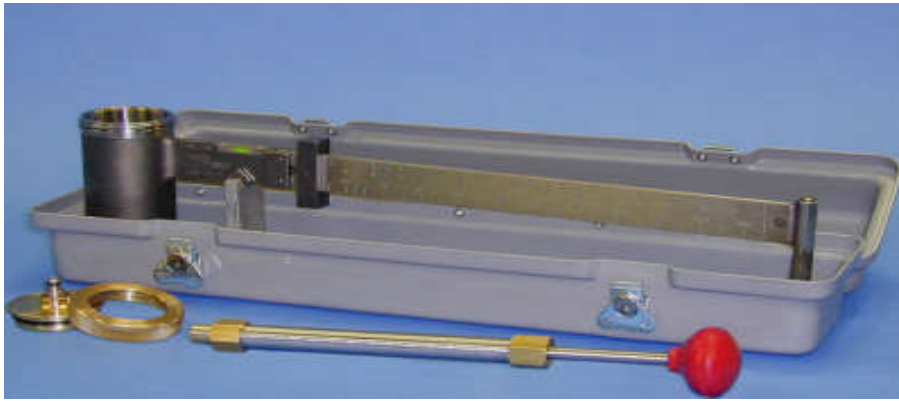


Figure III.2 : Densimètre pressurisé [8]



Figure III.3 : Densimètre Classique [8]

III.1.2. La rhéologie :

La rhéologie étudie la déformation des matériaux (cas des solides) ou leur écoulement (cas des liquides) sous l'effet d'une contrainte.

Une force appliquée à un corps lui fait subir une déformation. Pour un solide, il y aura déformation élastique si le corps revient à son état premier dès qu'on cesse d'appliquer cette force (c'est le cas de l'élastique que l'on étire) ou déformation plastique s'il revient à son état premier sous l'action d'autres forces (c'est le cas de la boule de mastic que l'on déforme). Pour un fluide, l'action d'une force donne un écoulement. [6]

III.1.2.1. Détermination expérimentale des caractéristiques rhéologiques Dans la profession :

Les appareils utilisés sont :

- ✓ Le viscosimètre Marsh.
- ✓ Le viscosimètre Fann.

III.1.2.1.1. Viscosimètre Marsh:

❖ Principe:

C'est un appareil du type statique : on mesure le temps en secondes que met une certaine quantité de boue pour s'écouler à travers l'ajutage de l'appareil qui n'est autre qu'un entonnoir normalisé. La boue s'écoule dans un godet gradué (Figure III.4).



Figure III.4 : Viscosimètre Marsh [17].

❖ Mode d'emploi :

- Prendre l'entonnoir et fermer l'ajutage à l'aide du doigt.
- Relever de la boue dans la goulotte et verser sur le tamis de l'entonnoir jusqu'à ce que le niveau de boue affleure la surface de ce tamis (ceci correspond à un volume de 1 500cm³).
- Tenir l'entonnoir par la poignée latérale, déclencher un chronomètre et laisser couler dans le godet gradué.
- Stopper le chronomètre lorsque le niveau de boue atteint 946 cm³ (1/4 de gallon dans le godet, symbolisé par un trait).
- Le nombre de secondes lu au chronomètre représente la viscosité Marsh de la boue.

III.1.2.1.2. Viscosimètre Fann :

❖ Principe :

Le Fann est l'appareil qui permet de déterminer le rhéogramme du fluide de forage (Figure III.5), c'est-à-dire la loi d'écoulement qui est représentée par la fonction : $t = f(\gamma)$



Figure III.5 : Viscosimètre cylindre fann [17].

Système rhéologique	Équation rhéologique	Courbe d'écoulements coordonnés cartésiennes	Courbe d'écoulements coordonnés logarithmiques
Newtonien	$\tau = \mu \dot{\gamma}$		
Plastique binghamien	$\tau = \tau_0 + \mu_p \dot{\gamma}$		
Pseudo-plastique "en puissance"	$\tau = K \dot{\gamma}^n$		

Tableau III.1 : Systèmes rhéologiques [18]

Avec : τ : Tension de cisaillement, n : puissance, $\dot{\gamma}$: Taux de cisaillement, μ : viscosité.

❖ **Mode d'emploi :**

Prendre de la boue, tamiser sur le tamis de l'entonnoir Marsh, agiter 5 mn à l'aide d'un agitateur, puis remplir le godet du viscosimètre.

- Immerger les cylindres coaxiaux (l'appareil est muni d'un système de coulisse avec une molette de blocage) jusqu'à ce que le trait repère du rotor affleure la surface de la boue;
- Faire tourner le rotor à 600 T/ mn en choisissant la position convenable du bouton de changement de vitesse et de l'interrupteur;
- Lire la déviation sur le cadran;
- Sans arrêter l'entraînement du rotor, régler la vitesse de rotation à 300 T/mn;
- Lire la déviation de la graduation;
- Faire de même pour les autres vitesses;

III.1.3. filtre presse API :

❖ **Principe :**

On soumet la boue à une pression de 100 PSI (7 bar) dans un cylindre normalisé doté d'une surface perméable, de section et perméabilité normalisées. On note la quantité de liquide qui filtre en 30 minutes, à température ambiante, c'est le filtrat api.

Les solides déposés pendant la filtration constituent ce que l'on appelle le cake, l'épaisseur du cake est mesurée et notée.

La filtration s'effectue donc en statique, à température ambiante ce qui ne reflète qu'imparfaitement les conditions de filtration dans le sondage.

❖ **Description et mode d'emploi**

Le filtre-presse se compose essentiellement d'un étrier muni d'une vis de serrage permettant le blocage des trois parties du corps du filtre (Figure III.6). Ce corps se compose :

- d'une embase percée d'un trou et dotée d'un ajutage par lequel s'écoule le filtrat. Cette embase supporte un tamis métallique de 60 à 80 mesh sur lequel est placé le papier filtre de 90 mm de diamètre (surface de filtration 7 pouces carrés) du type WHATMAN no 50 dont l'équivalent est le type Durieux bleu no 3.

L'ensemble tamis et papier est placé entre deux joints plats qui assurent l'étanchéité entre l'embase et le cylindre.

- d'un cylindre de diamètre intérieur 3 pouces (76,2 mm) et de hauteur 5 pouces (128 mm).

L'A.P.I recommande au moins 2 ½ pouces de hauteur (64 mm).

- d'un couvercle muni d'une arrivée de gaz comprimé dont l'étanchéité avec le cylindre est assuré à l'aide d'un joint plat du même type que ceux placés sur l'embase.

Pour utiliser le filtre-presse

- poser le joint sur l'embase,
- poser le tamis sur le joint,
- poser le second joint sur le papier filtre,
- emboîter le cylindre sur l'embase et verrouiller le système à baïonnette.
- remplir de boue (jusqu'à environ 1 cm du haut du cylindre),
- poser le couvercle sur le cylindre en intercalant un joint,
- placer l'ensemble dans l'étrier et bloquer à l'aide de la vis de serrage
- disposer une éprouvette graduée sous l'ajutage,
- appliquer (assez progressivement pour ne pas rompre le papier filtre) une pression de 7 bar (100 psi) et simultanément déclencher le chronomètre.
- après 30 minutes lire le volume de fluide recueilli dans l'éprouvette, exprimé en cm^3 c'est la valeur du filtrat API.
- fermer et purger le circuit de gaz comprimé, démonter l'appareil et recueillir le papier filtre qui est recouvert d'une couche de solides, c'est le cake. Après un lavage superficiel, mesurer l'épaisseur de ce cake, exprimer la valeur en millimètre.

nota important

L'alimentation en gaz comprimé ne doit jamais être faite avec de l'oxygène ou avec de l'air, une boue contenant des hydrocarbures peut provoquer une explosion.

Sources d'erreurs :

- pression instable durant la mesure.
- papier filtre non normalisé.

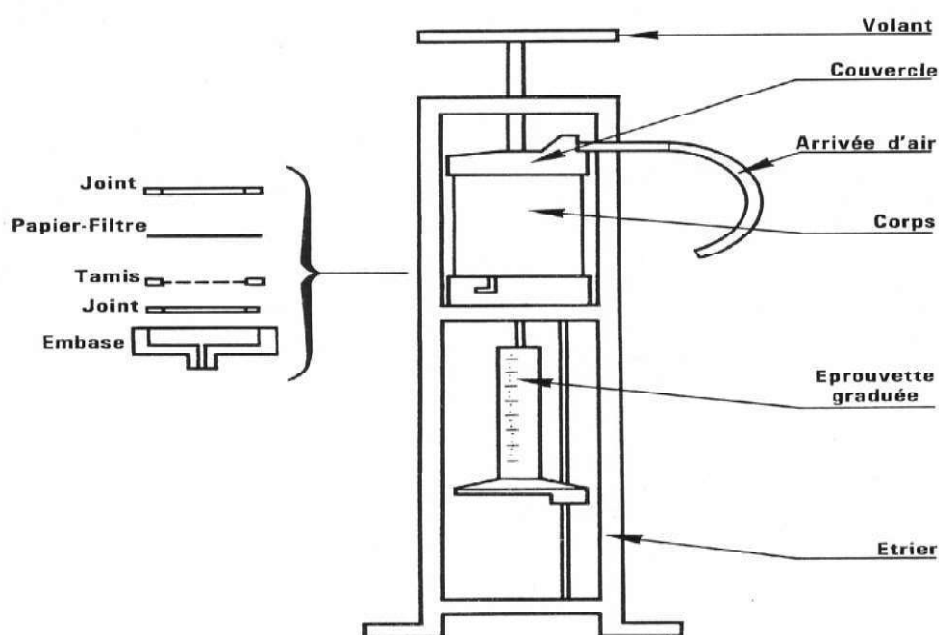


Figure III.6 : Filtre presse API [19]

III.1.4. Distillateur a boue :

Une unité de distillation de boue utilisée pour mesurer la teneur en eau, en huile et en solides d'une boue. Il se compose d'un corps cylindrique muni d'un porte-échantillon de boue, d'une résistance chauffante (ou d'un four) et d'un condenseur en aluminium. Un récepteur en verre gradué capte et mesure les volumes d'eau et d'huile qui se condensent à partir de la boue (Figure III.7). Les dispositifs d'autoclave sont disponibles en trois tailles, 10, 20 et 50 cm³, qui sont les volumes de boue placés dans la coupelle d'échantillon de l'autoclave. Les données du test sont le pourcentage en volume d'eau, d'huile et de solides de l'autoclave

❖ Principe :

On chauffe un volume connu de boue (20 cm³).

Les vapeurs d'eau et d'huile se condensent dans un condenseur et on récupère l'eau et l'huile dans une éprouvette graduée directement en pourcentage en volume. On connaît ainsi le pourcentage en volume d'eau et d'huile et par différence le pourcentage en solides.

❖ Mode d'emploi :

- Désaccoupler la cellule.
- Remplir le godet de boue.
- Mettre doucement le couvercle du godet et essuyer l'excès de boue qui sort par le trou central.
- Retirer le couvercle et essuyer l'excès de boue sur le bord de la file Tague du godet.
- Visser le godet sur la chambre d'expansion.
- Plonger l'électrode dans la chambre et visser.
- Emboîter la cellule dans le condenseur.
- Mettre l'éprouvette graduée sous le tube de sortie du condenseur.
- Relier à une source de courant appropriée. Lorsqu'il ne sort plus de liquide du condenseur (après 30 mn environ) coupé le courant.
- Lire le pourcentage en volume d'eau.
- Lire le pourcentage en volume d'huile.
- Pour connaître le pourcentage de solides en volume, appliquer :

$$\%solide = 100 - (\% \text{ eau} + \% \text{ huile})$$

Nettoyer la cellule après usage en grattant (à l'aide de grattoirs prévus à cet usage) les solides collés aux parois.

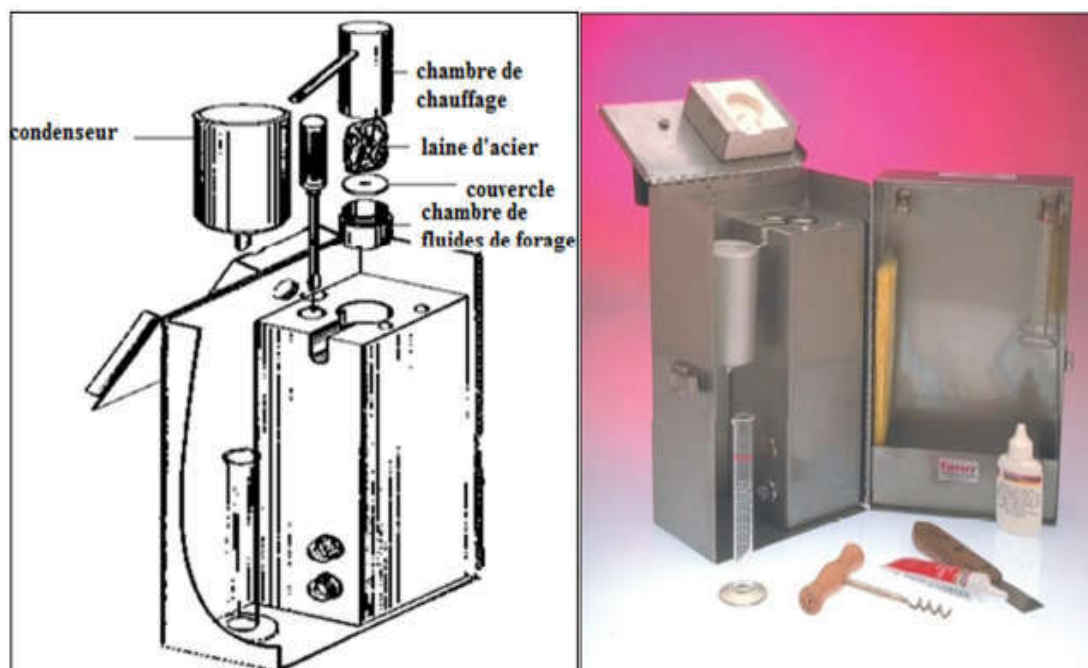


Figure III.7 : Distillateur à boue [20]

III.1.5. Le sable :

❖ La concentration en sable :

En terminologie boues de forage, on désigne par sable les particules qui ne passent pas au tamis de 200 mesh, c'est-à-dire les particules dont la section est supérieure à 0,074 mm.

❖ L'importance de la teneur en sable :

La présence de sable dans la boue a un effet abrasif sur tout le matériel au contact de la boue :

- circuit de surface, conduite, vannes.
- pompes volumétriques et centrifuges.
- garniture de forage, tiges, masse tiges etc...
- outils de forage conventionnels, à jet ou diamant.
- turbine, carottier.

De plus, une concentration élevée en sable augmente la densité de la boue et peut amener une sédimentation dans le puits pendant les arrêts de circulation.

Il est recommandé de maintenir la teneur en sable à moins de 1.96%. Ceci est possible en utilisant des cyclones appropriés et/ou par sédimentation dans un ou des bacs de décantation.

❖ Matériel de contrôle :

1. Principe :

On filtre de la boue sur un tamis 200 mesh tyler et on mesure dans une éprouvette conique (élutriomètre) le pourcentage en volume de sable contenu dans la boue (Figure III.8). La terminologie "sable" n'est pas prise dans son sens minéralogique mais indique tous les insolubles d'une section supérieure à 74 microns.

2. Le mode d'emploi :

- Remplir de boue l'élutriomètre jusqu'à la graduation "boue" (75 em3).
- Ajouter de l'eau jusqu'à la graduation "eau" et agiter vigoureusement après obturation avec le pouce.
- Verser la boue diluée sur le Tamis puis rincer l'élutriomètre et verser les eaux de lavage sur le tamis.
- Mettre le Tamis sous un robinet et faire couler l'eau lentement jusqu'à ce qu'elle ressorte propre.
- Emboîter l'entonnoir sur le Tamis (côté sable) puis l'élutriomètre sur l'entonnoir.
- Renverser l'ensemble (élutriomètre vers le bas) et faire couler l'eau sur le tamis (côté opposé au sable).
- Laisser décanter le sable et effectuer la lecture directement en 96 en volume par rapport à la boue.

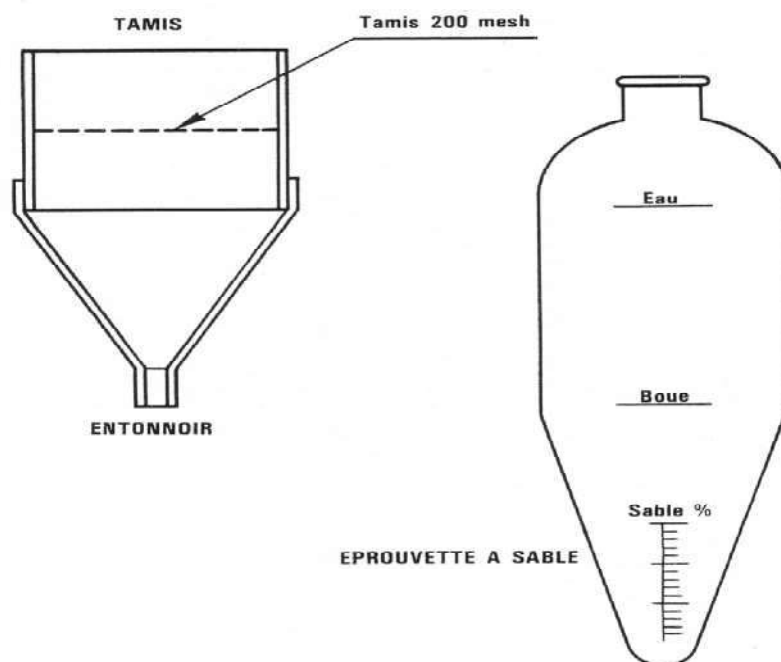


Figure III.8 : Elutriomètre [19]

III.1.6. Mesure du PH :

III.1.6.1 Mesure du PH par les indicateurs :

Pour déterminer le PH, la première méthode mise à notre disposition est celle des indicateurs colorés, basée sur la décoloration de certaines substances organiques. Elle est peu précise mais souvent suffisante sur chantier.

Cette méthode consiste à mettre au contact de la boue ou du filtrat une bande de papier qui prend rapidement une certaine teinte qu'il faut comparer avec une gamme calorimétrique étalon pour obtenir la valeur du PH.

❖ Le mode d'emploi :

Déposer dessus une goutte de liquide à mesurer (filtra), ou bien plonger une extrémité du papier dans le liquide. Noter immédiatement le changement de la coloration du papier et comparer avec le pH indiqué par l'échelle colorimétrique de la boîte.

III.1.6.2. Mesure du pH par PH-mètre électronique :

C'est un indicateur de concentration en ions hydrogène avec lequel on mesure le potentiel électrique d'une pile où s'effectue une réaction faisant intervenir les ions H^+ .

C'est un appareil fonctionnant sur pile ou secteur. On lit directement sur un cadran la valeur du PH de la solution (boue ou filtrat).

Il existe un grand nombre de types d'appareils sur le marché; il est nécessaire de se référer à la notice du fournisseur pour l'utilisation de chacun d'eux.

Le principe consiste à immerger une ou deux électrodes dans la solution à mesurer.

III.1.7. La mesure de l'alcalinité :

L'alcalinité ou PH (des filtrats ou des fluides de forage) est due à la présence des ions hydroxydes OH^- , carbonaté CO_3^{2-} ou bicarbonaté CO_3H^- . Les silicates, les phosphates, les aluminates et les bases organiques peuvent y contribuer mais à un degré moindre.

Pratiquement on mesure trois alcalinités : Pf et Mf sur le filtrat et Pb sur le fluide de forage.

P : signifie Phénolphtaléine, M : signifie Méthylorange, f : filtrat et b : la boue ou le fluide de forage. [21]

III.1.7.1. Alcalinité Pf :

C'est la quantité d'acide sulfurique H_2SO_4 (N/50) nécessaire pour amener 1 ml de filtrat.

III.1.7.2. Alcalinité Mf :

C'est la quantité d'acide sulfurique H_2SO_4 (N/50) nécessaire pour amener 1 ml de filtrat.

III.1.7.3. Alcalinité Pb :

C'est la quantité d'acide sulfurique H_2SO_4 (N/50) nécessaire pour amener 1 ml de fluide de forage.

III.1.8. La teneur en ions chlorure Cl^- :

Cette méthode normalisée consiste à doser l'ensemble des chlorures présents dans le filtrat ou le fluide de forage elle-même et à exprimer les résultats en chlorure de sodium. Ceci explique que dans certains cas, en présence de chlorure de calcium et ou magnésium par exemple le résultat obtenu, exprimé en NaCl, atteint des valeurs supérieures à la solubilité du NaCl. [20]

III.1.9. La teneur en ions calcium Ca^{2+} :

La méthode à l'EDTA (Ethylène Diamine Tetracetic Acide) est basée sur la formation de complexes stables avec les ions Ca^{2+} . [20]

En résumé les modes opératoires d'analyse de PF, PM, MF, Ca^{++} , Cl^- dans le tableau suivants :

	Volumes	Verrerie	Indicateur coloré	Solution Tampon	Réactif Titrant	Virage
PB	1 ml de boue + (25 à 50 ml) d'eau distillée.	Bécher 100 ml	Phénolphtaléine	/	H ₂ SO ₄ N/50	Rose – Incolore dans la phase aqueuse
Cl ⁻	1 ml de filtra + 25 à 50 ml d'eau distillée		Chromate de K ⁺	/	AgNO ₃ N/50	Jaune – rouge orangé dans la phase aqueuse
Ca ⁺⁺	1 ml de filtra + 20 ml d'eau distillée	Bécher 100 ml	Noir Bleu au Chromate	NaOH 1N	EDTA 0.01M	Mauve – Bleu dans la phase aqueuse
PF	1 cc de Filtra	Bécher 100 ml	Phénolphtaléine	/	H ₂ SO ₄ N/50	Rose – Incolore
MF	Même échantillon de PF		Méthylorange	/	H ₂ SO ₄ N/50	Jaune – rouge orangé

Tableau III.2 : Mode opératoire des tests chimiques PB, MF, PF, Cl⁻ et Ca⁺⁺.

III.1.10. MBT :

Le test au bleu de méthylène (MBT), est utilisé pour déterminer la capacité d'échange cationique des solides présents dans une boue de forage. [21]

Seules les parties réactives des argiles présentes sont impliquées dans le test et les matériaux tels que la barytine, les carbonates et les évaporés n'affectent pas les résultats du test car ces matériaux n'absorbent pas le bleu de méthylène. [21]

❖ Mode opératoire :

Mélange 1 ml de boue + 10ml d'eau distillée + 15 ml d'eau oxygénée 3% + 0.5 ml H₂SO₄ (5N), faire bouillir doucement pendant 10mn, diluer avec 50ml d'eau distillée. ajoute bleu de méthylène 0.5ml par 0.5ml , à chaque addition de 0.5 ml agiter la solution contenue dans le bécher pendant 30 secondes , prélever une goutte et poser la sur le papier wattman arrêter l'opération quand la goutte représente sur le papier un anneau vert entourant les solides teintés.

III.2. Sur laboratoires pédagogique :

III.2.1. La centrifugeuse :

Une centrifugeuse est un appareil destiné à générer une force centrifuge (Figure III.9), grâce à un mouvement de rotation, à un mélange généralement liquide/solide. La force centrifuge est une accélération qui s'exerce vers l'extérieur de l'axe de rotation et permet la sédimentation au fond du tube des particules les plus lourdes, le liquide plus léger surnageant.



Figure III.9 : Centrifugeuse [22]

❖ Mode opératoire :

- Soulever le capot de la centrifugeuse.
- Veiller à l'équilibrage statique et dynamique.
- Abaisser et verrouiller le couvercle : un dispositif de sécurité empêche le démarrage si le verrouillage est incorrect.
- Choisir la durée de centrifugation, en règle générale, 60 mn.
- Sélectionner la vitesse de centrifugation en tr/mn, 8 000trs/mn.
- Presser le bouton de commande de démarrage.
- L'arrêt est automatique quand le temps de centrifugation est écoulé.
- Soulever le capot, sortir les plots contenant les tubes.

III.2.2. La spectroscopie infrarouge :

La spectroscopie infrarouge (parfois désignée comme spectroscopie IR) est une classe de spectroscopie qui traite de la région infrarouge du spectre électromagnétique (Figure III.10). Elle recouvre une large gamme de techniques, la plus commune étant un type de spectroscopie d'absorption. Comme pour toutes les techniques de spectroscopie, elle peut être employée pour

l'identification de composés ou pour déterminer la composition d'un échantillon. Les tables de corrélation de spectroscopie infrarouge sont largement présentes dans la littérature scientifique.

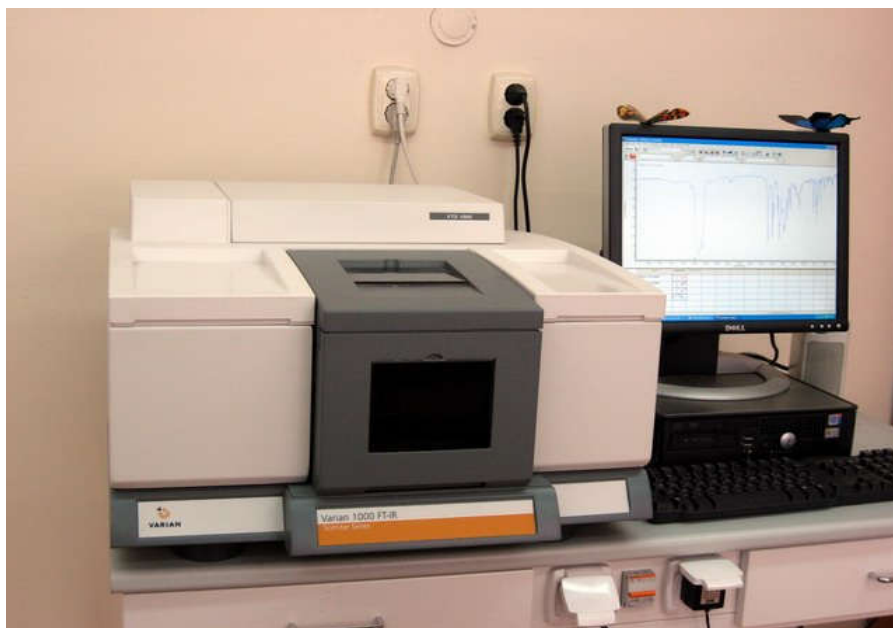


Figure III.10 : Le spectrophotomètre d'absorption atomique. [23]

❖ **Mode opératoire :**

- On prépare un échantillon liquide ($v=1.5\text{ml}$) et un échantillon solide ($m=2\text{g}$).
- Les échantillons liquides peuvent être placés entre deux plaques d'un sel très pur (habituellement le chlorure de sodium, ou sel de table, bien qu'un nombre important d'autres sels comme le bromure de potassium ou le fluorure de calcium soient aussi utilisés). Les plaques sont transparentes à la lumière infrarouge et n'introduisent donc pas de bandes supplémentaires dans le spectre. Cependant, comme de nombreux sels sont très solubles dans l'eau, les échantillons et agents de lavage doivent être anhydres.
- les échantillons solides la méthode consiste à moudre finement une quantité de l'échantillon avec un sel spécialement conçu (comme le bromure de potassium) afin de supprimer les effets de diffusion des gros cristaux. Ce mélange poudreux est ensuite comprimé dans une presse afin de fournir une pastille translucide au travers de laquelle un faisceau de spectromètre peut passer.
- Trace la courbe de chacun échantillon.

III.2.3. Diffraction des Rayons X sur poudres :

La cristallographie aux rayons X, radiocristallographie ou diffractométrie de rayons X est une technique d'analyse fondée sur la diffraction des rayons X par la matière, particulièrement quand celle-ci est cristalline. La diffraction des rayons X est une diffusion élastique, c'est-à-dire sans perte d'énergie des photons (longueurs d'onde inchangées), qui donne lieu à des interférences

d'autant plus marquées que la matière est ordonnée. Pour les matériaux non cristallins, on parle plutôt de diffusion.

Cette méthode utilise un faisceau de rayons X qui, rencontrant un cristal, est renvoyé dans des directions spécifiques déterminées par la longueur d'onde des rayons X et par les dimensions et l'orientation du réseau cristallin. Par la mesure des angles et de l'intensité des rayons diffractés, il est possible d'obtenir les dimensions de la maille cristalline, les symétries de la structure cristalline (groupe d'espace) et une image tridimensionnelle de la densité électronique dans la maille. À partir de cette densité, la position moyenne des atomes du cristal formant le motif cristallin peut être déterminée ainsi que la nature de ces atomes (dans une certaine mesure), leurs liaisons chimiques, leur agitation thermique et d'autres informations structurales.

L'appareil de mesure s'appelle chambre de diffraction quand il est photographique et diffractomètre quand il comporte un système de comptage des photons (détecteur ou compteur). (Figure III.11)

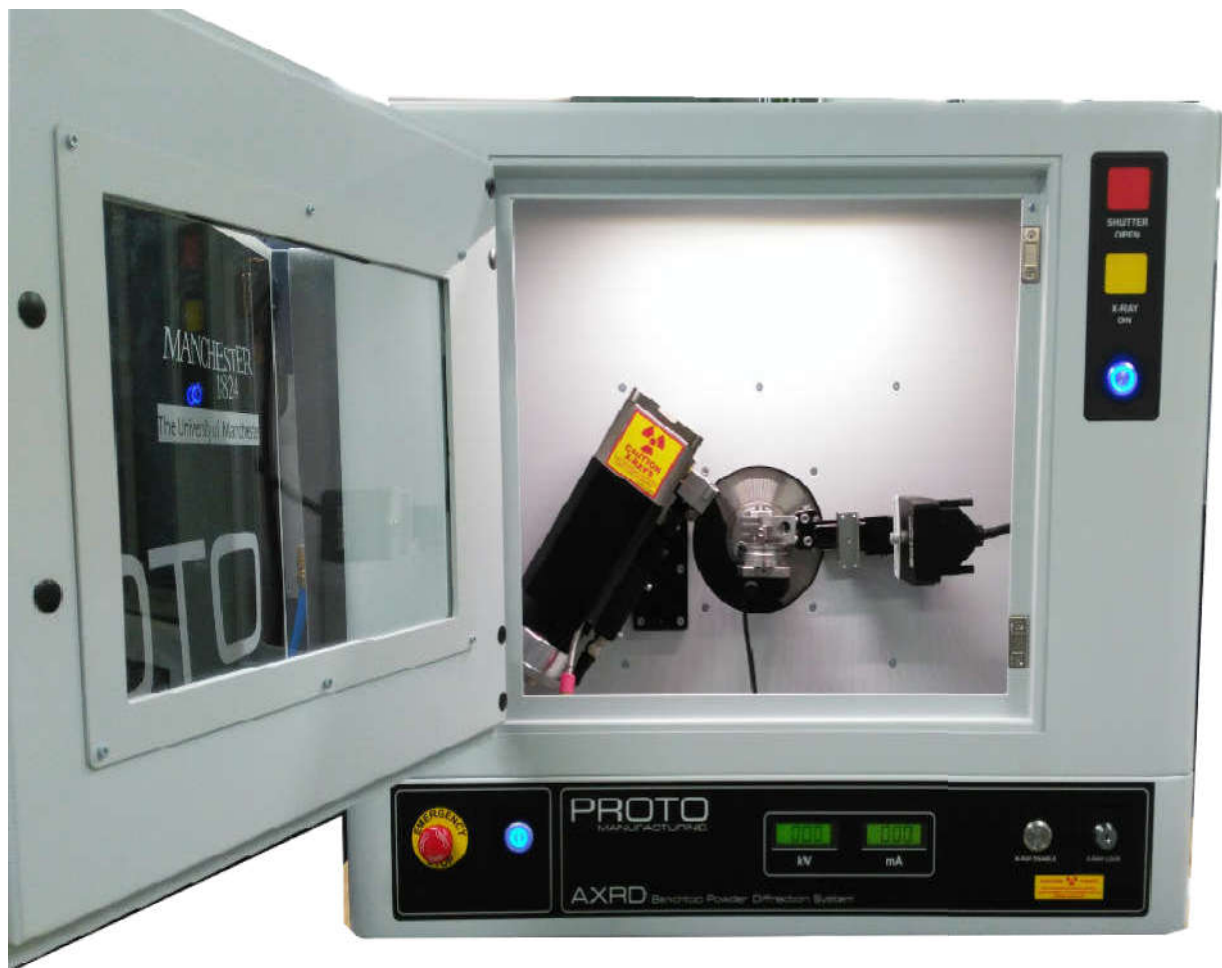


Figure III.11 : Cristallographie aux rayons X [24]

❖ Mode opératoire :

La préparation des échantillons de poudre commence par la pesée des masses souhaitées pour la décomposition et il est important de ne pas oublier de noter les valeurs de ces masses. Ensuite on le broie au maximum avec un broyeur afin d'obtenir une poudre uniforme et homogène on utilise le pinceau pour récupérer les derniers grains et on pose la poudre sur le porte échantillon puis on appuie dessus avec l'outil pression et on lisse la surface avec une lame. avant de placer la porte échantillons dans l'appareil il faut s'assurer qu'il n'y ait pas de différence de hauteur entre la poudre et le porte échantillons nous plaçons ensuite le porte échantillons dans la machine et nous veillons à bien fermer les portes demander de l'aide d'enseignants en cas de problème.

Une fois le processus terminé, nous dessinons le graphique et identifions les différents composants à l'aide de l'ordinateur.

Les données collectées forment le diagramme de diffraction ou diffractogramme. (Figure III.12)

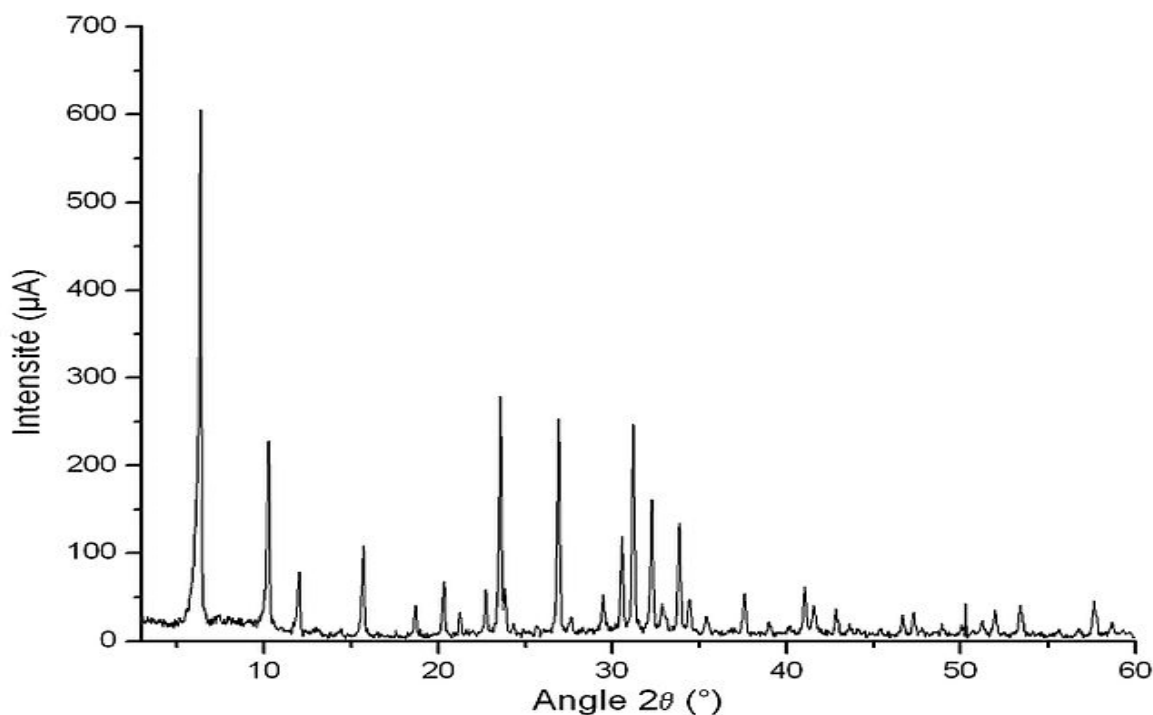


Figure III.12 : Exemple de diffractogramme de poudre DRX [25]

La diffraction des rayons X repose sur l'enregistrement d'un diffractogramme et sur l'analyse des pics de ce diagramme qui permet de caractériser les cristallites présents dans l'échantillon à partir des éléments suivants :

- Position des pics : analyse qualitative, identification de phases cristallines présentes.
- Largeur des pics : taille et forme des cristallites, contraintes internes.
- Intensité des pics : estimation de composition chimique, analyse quantitative, orientation préférentielle.

Chapitre IV : Résultat et discussion

IV.1.Introduction :

Dans ce chapitre sera subdivisé, en deux parties, la première partie au les essais et travaux réalisés niveau du chantier lors du forage et la deuxième partie les essais réalisés au laboratoire de l'université, où nous allons étudier un échantillon de boue prélevé et le soumis a des de nombreuses expériences a savoir: la détermination des fractions massiques des différentes phases, la détermination des fonctions chimiques par l'essai le spectroscopie infrarouge (IR), des mesures physicochimiques (densité, pH, viscosité, DRX). Le but de ces expériences réalisées sur la partie liquide et solide de l'échantillon étudié est la détermination de sa composition chimique et propriétés physiques, ainsi que les matériaux qui pourraient avoir un impact sur le milieu environnant et qui ont un lien avec ce fluide pendant et après le forage.

IV.2.Résulta d'essais réalisés sur chantier :

Le but de faire des tests physiques et des analyses chimiques de boue dans laboratoire de chantier lors de forage est pour traiter la boue au même temps conserver a ça caractéristique par rapport le programme de boue, et pour éviter les différents problèmes résultant de la boue de forage.

VI.2.1. Test physique :

IV.2.1.1. Mesure de densité :



Figure IV.1 : Matériel méthode de mesure de densité.

Résultat : le résultat de teste de viscosité Marsh est 46 (s)

IV.2.1.2. Mesure de rhéologie :

IV.2.1.2.1. Viscosité Marsh :



Figure IV.2 : Matériel méthode de mesure de viscosité Marsh.

Le résultat de teste de viscosité Marsh est : 46 (s)

IV.2.1.2.2. Viscosité fann (120°F) :

Le résultat de teste de Viscosité fann (120°F) sont dans le tableau suivant:

Vitesse de rotor (T/min)	600	300	200	100	6	3
Viscosité	38	21	17	10	4	3

Tableau IV.1 : Les résultats obtenus de mesure de viscosité.

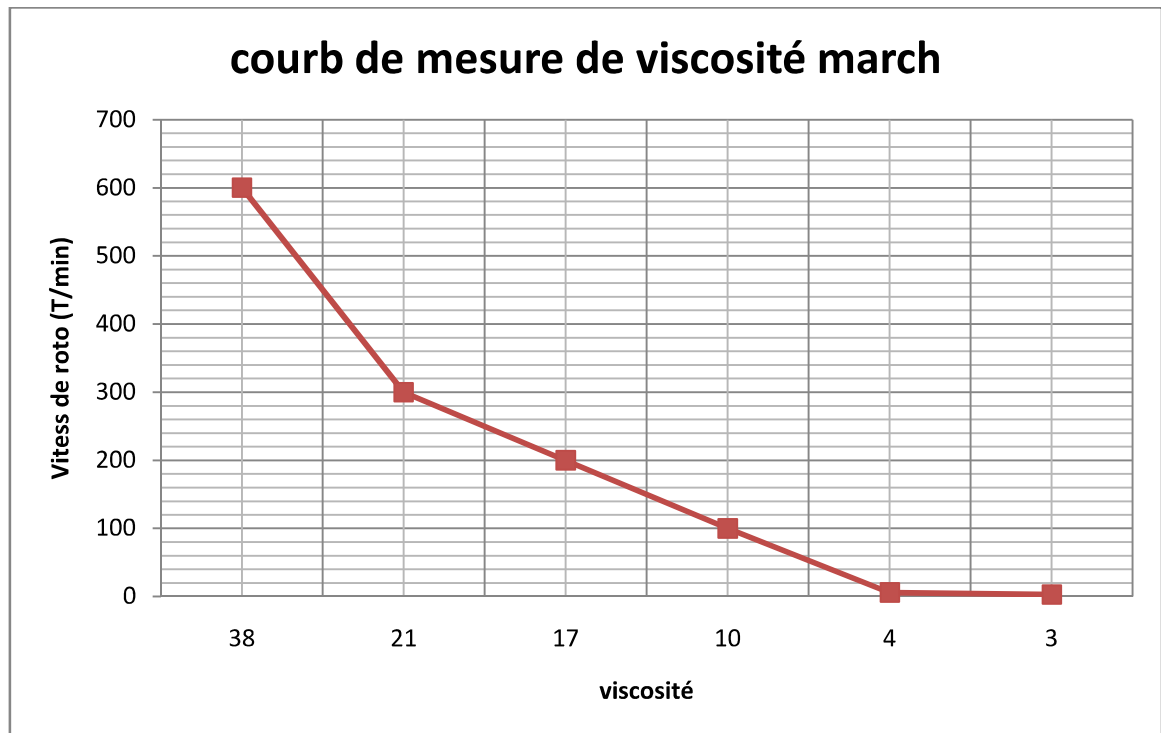


Figure IV.3 : courbe de mesure de viscosité March

❖ Les paramètres de rhéologie :

a) yeild point :

$$y_p = 2(\text{Lect300}) - \text{Lect600} = 4$$

b) plastique visco :

$$PV = \text{Lect600} - \text{Lect300} = 17$$

c) appareat visco :

$$AV = \frac{(\text{Lect600})}{2} = 19$$

d) Low shear rate visco:

$$LSRV = 2(\text{Lect3}) - \text{Lect6} = 2$$

IV.2.1.3. Mesure d'API filtrat pour 30 min (100 psi) :

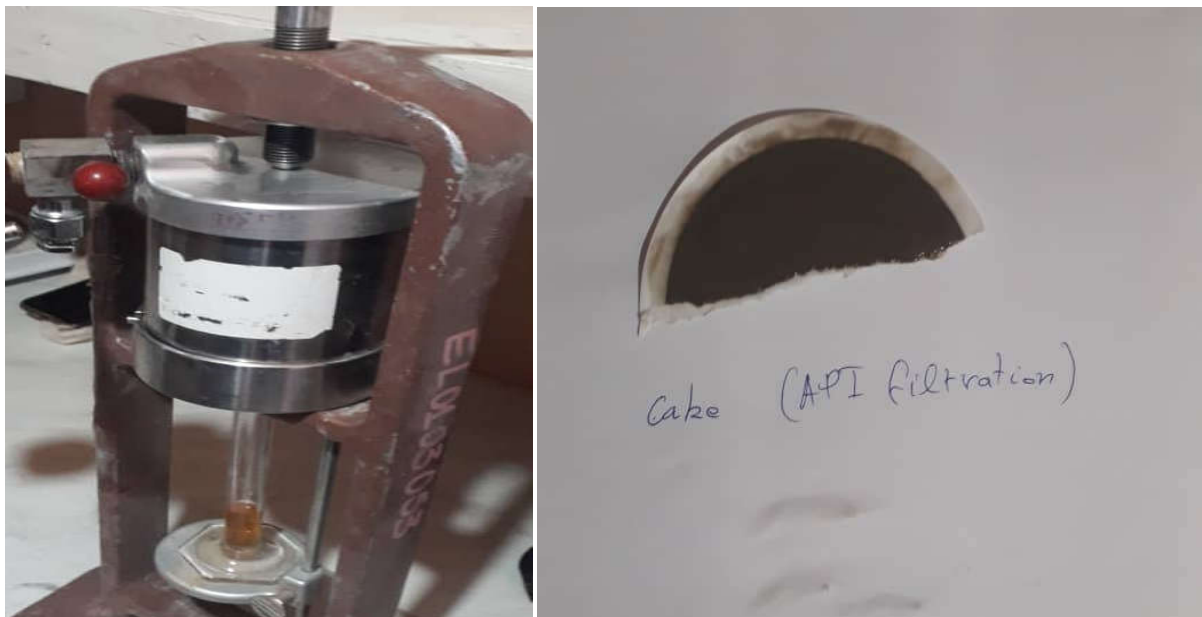


Figure IV.4 : Mesure de filtra et l'épaisseur de cake.

Le résultat obtenu de ce teste est : Volume de filtra=4 ml et L'épaisseur de cake=2 mm.

IV.2.1.4. Mesure de distilla :

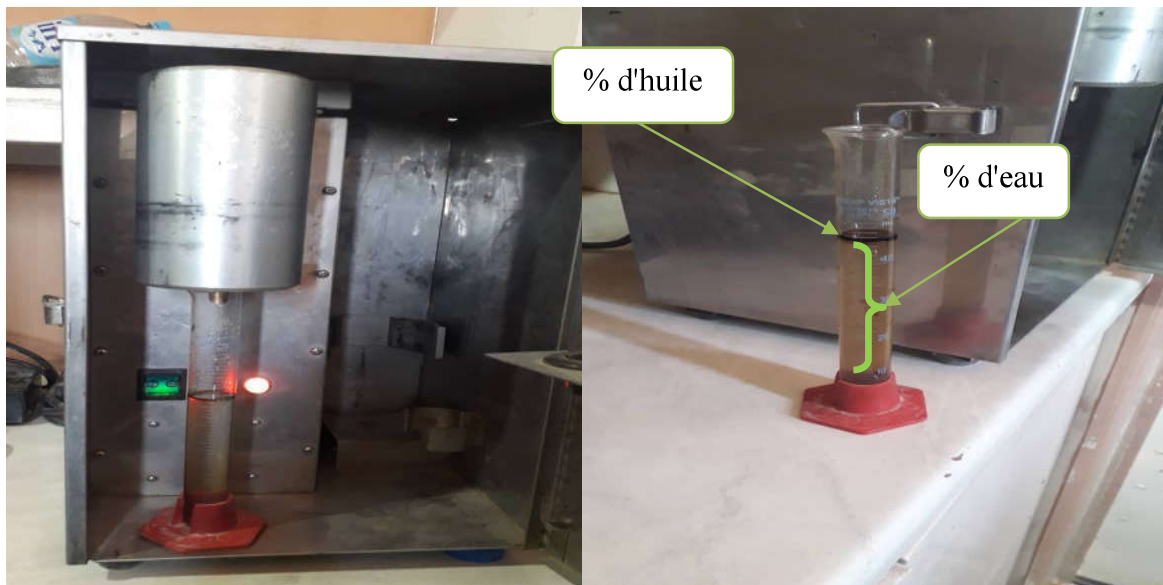


Figure IV.5 : Mesure la teneur d'eau, d'huile et de solide par distillateur boue.

On a obtenues 90% d'eau et 2% d'huile, Donc %solide = $100 - (90 + 2) = 8\%$

Le but des analyses physiques de la boue est savoir le pourcentage de rendement lors de l'opération de forage (remonté des cutting, colmatage des vides, contrecarré la pression de fond, refroidissement de matériels de fond et l'attaque de matériaux rocheux. Les résultats obtenus sont présentés dans les tableaux suivants :

Propriété physique		Résulta
Densité		1.14
Rhéologie	Lect 600/300	38/21
	Lect 200/100	17/10
	Lect 6/3	4/3
	Gel 10min/10sec	5/3
	YP	4
	PV	17
	AV	19
	LSRV	2
Api filtra/cake		4 ml/2mm
% eau		90%
% huile		2%
% solide		8%

Tableau IV.2 : Les résultats obtenus de mesure des paramètres physiques de boue.

IV.2.2. Les analyses chimiques :

IV.2.2.1. Mesure de PH :



Figure IV.6 : Mesure de PH

Résultat obtenue : PH=10

IV.2.2.2. Mesuré de PB, MF, PF, Cl⁻, Ca⁺⁺ et MBT :

Résultats des analyses chimiques réalisées sur chantier :

	Méthode de détermination	Résultat
PB (ml)	Le nombre de ml de H ₂ SO ₄ (N/50) versé	2.9
PF (ml)	Le nombre de ml de H ₂ SO ₄ (N/50) versé	1.1
MF (ml)	Le nombre total de ml de H ₂ SO ₄ (N/50) utilisé dans les deux opérations de titrage.	2.4
Cl ⁻ (g/l)	$V \text{ AgNO}_3 \times 35.45 \times 0.1$	35.45
Ca ⁺⁺ (mg/l)	400* volume en ml d'EDTA versé	240
MBT (kg/m ³)	Nombre de fois de 0.5 ml de bleu méthylène utilise*14.25	25
PH		10

Tableau IV.3 : méthode de mesure et résultats obtenues.

DRILLING FLUID DAILY REPORT		
Sample From	Return (FL)	
Time Sample Taken	19H30	20H15
Flowline / Pit Temperature °C	41	46
Depth - M.D. m	810	810
Mud Weight Sp Gr / ppg	1,17	1,17
Rheo Readings	33/27	33/27
Rheo Readings	22/19	22/19
Rheo Readings	16/14	14/11
Funnel Viscosity sec/l @	51	51
Plastic Viscosity cp @ 50 °C	6	6
Yield Point lb/100ft ²	21	21
Gel Str. 10 sec / 10 min lb/100ft ²	11/13	
Gel Strength 30 min lb/100ft ²		
n / K g secn/100cm ²	0,29/4,45	0,29/4,45
API Filtrate ml/30 min @ °C	16	16
Water % by Vol.	95	95
Solids % by Vol.	5	5
Corrected Solids % by Vol.	4,84	4,84
Avg. Sp. Gravity of Corr. Solids	4	4
Low Gravity Solids % by Vol./ High Gravity Solids	0,6/4,23	0,6/4,23
Sand Content % by Vol.	0,4	0,4
Specific gravity of brine	1,01	1,01
Cl- / NaCL in mud g/l	2,83/4,68	2,98/4,91
Alkalinity Mud Pf / Mf ml H ₂ SO ₄ 0,02N	0,2/0,5	0,2/0,5
NaCL %	0,49	0,49
Ca ⁺⁺ mg/l	350	350
PH	10	10
M.B.T. kg/m ³ Bent. Eq. / ppb	57	57

Tableau IV.4. Rapport journalier de mesures des caractéristiques de la boue sur chantier.

IV.3. Résultats d'analyses de laboratoire pédagogique :

Le but de ces analyses est la détermination des composants chimiques polluants, toxiques et des métaux lourds dans le fluide de forage. Pour accomplir cet objectif les testes suivants sont réalisés : le spectrophotomètre IR et la diffraction DRX. Avant l'analyse l'échantillon de bue a subir des séquences de préparations et mesures quantitatives :

IV.3.1. Mesure de la fraction massique de solide et liquide dans la boue de forage :

Nous avons apporté un échantillon de fluide de forage à calibrer en laboratoire.

Nous avons pris un volume $V=300$ ml de fluide de forage avec une masse $m=319$ g.

Puis on le met dans la centrifugeuse.

IV.3.1.1 Étalonnage :

- Remplit les tube avec la boue (en respecte l'équilibré $v_1=v_2=\dots=v_6=50$ ml).
- Mettre les tubes dans la centrifugeuse pendant 60 minutes.



Figure IV.7 : Les étapes de séparation des phases.

- Après le processus de séparation, nous procédons a déterminons des volumes et le poids de chaque phase.





Figure IV.8 : Les étapes de pesée des échantillons obtenus après séparation.

- Séchage de la phase solide dans un l'étuve Pendant 70 minutes à 70°C.



Figure IV.9 : L'étape après le séchage de solide.

- Prendre une quantité de solide (15 g) et broyez-le bien.



Figure IV.10: Les étapes de préparation des échantillons

IV.3.1.2. Résultats :

		Volume (ml)	Masse (g)
	échantillon initial	300	319
Séparation	Fluide	210	237
	Solide	90	77
Séchage	Masse de solide avant le séchage		77
	Masse de solides après le séchage		76.87
Masse de solide broyée			15

Tableau IV.5 : Les valeurs obtenues après la séparation et le séchage.

IV.3.2. Résultats de Spectroscopie infrarouge (IR) :

IV.3.2.1. Les constituants de la phase fluide de l'échantillon analysé :

La courbe de spectrophotomètre IR de la phase fluide séparé :

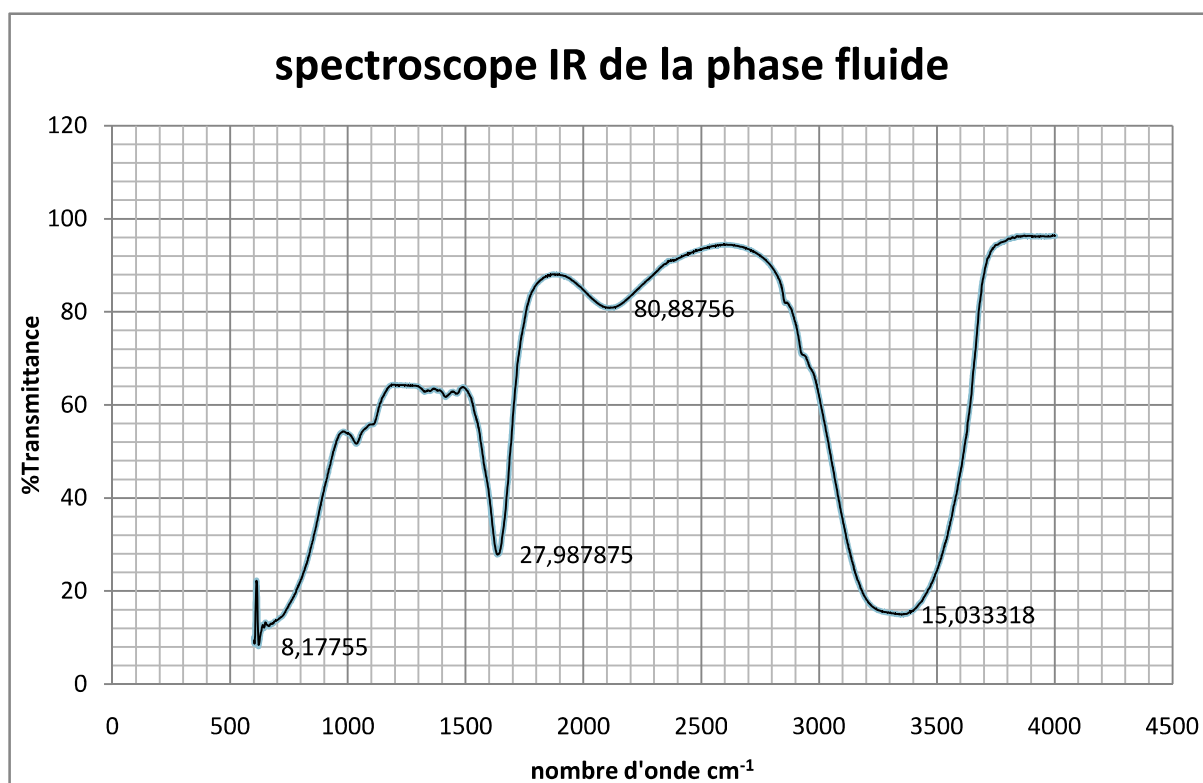


Figure IV.11 : La courbe spectroscopie IR pour le fluide

La courbe IR montre quatre pics d'adsorption et les fonctions chimiques identifier dans de ce fluide sont dans le tableau suivant :

Chapitre IV : Résultats et discussion

Liaison	Type de liaison	Type spécifique de Liaison	Pic d'absorption cm^{-1} (nm)	Apparence
C—H	Vinyle	Alcènes cisdisubstitués	670–700 cm^{-1} (14286-14925 nm)	Forte
C=C	C=C conjugué	Diènes	1 600 cm^{-1} (6250 nm)	Forte
			1 650 cm^{-1} (6061 nm)	Forte
	Avec cycle Benzénique		1 625 cm^{-1} (6154 nm)	Forte
	avec C=O		1 600 cm^{-1} (6250 nm)	Forte
C=C	C≡C	Alcynes terminaux	2 190–2 260 cm^{-1} (4425-4566 nm)	Faible
		Alcynes disubst.	2 190–2 260 cm^{-1} (4425-4566 nm)	Très faible (souvent indistinguable)
O—H	Alcools, phénols	à haute concentration	3 200–3 400 cm^{-1} (2941-3125 nm)	Large
	Acides carboxyliques	à faible concentration	3 500–3 560 cm^{-1} (2809-2857 nm)	Large
		à haut concentration	3 000 cm^{-1} (3333 nm)	Large

Tableau .IV.6 : interprétation de la courbe IR de la phase liquide de la boue.

IV.3.2.2. Les constituants de la phase solide de l'échantillon analysé :

La courbe d'étalonnage par le spectrophotomètre IR de solide séparé :

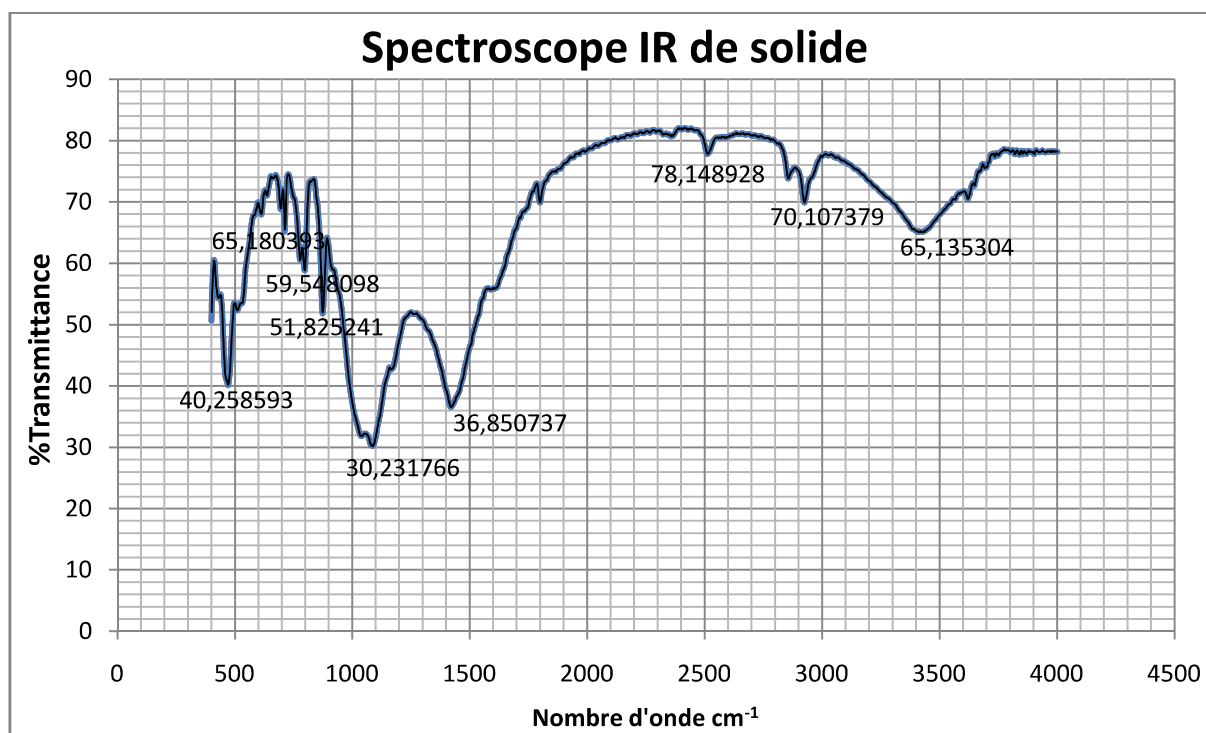


Figure IV.12 : La courbe spectroscopie IR pour le solide.

La courbe IR de cette phase montre huit (8) pics d'adsorption. Les fonctions chimiques identifiées de la courbe IR de la phase solide est consigné dans le tableau suivant :

Liaison	Type de liaison	Type spécifique de Liaison	Pic d'absorption cm^{-1} (nm)	Apparence
C—X	Iodoalcanes		500 cm^{-1} (20000 nm)	moyenne à forte
	Chloroalcanes		$540\text{--}760 \text{ cm}^{-1}$ (13158-18519 nm)	faible à moyenne
C—H	Vinyle	Alcènes trisubstitués	$800\text{--}840 \text{ cm}^{-1}$ (11905-12500 nm)	forte à moyenne
	Composé aromatique	Benzène métadisub.	$860\text{--}900 \text{ cm}^{-1}$ (11 111-11628 nm)	Forte
C—O	Esters		$1\ 100\text{--}1\ 300 \text{ cm}^{-1}$ (7692-9091 nm)	deux bandes
C—H	Alkyle	Méthine	$2\ 890 \text{ cm}^{-1}$ (3460 nm)	Faible
N—H	Amines secondaires		$>3\ 000 \text{ cm}^{-1}$ ($>3\ 333 \text{ nm}$)	faible à moyenne

Tableau IV.7 : Interprétation de la courbe IR de la phase solide de la boue.

IV.3.3. Les analyses diffraction rayon X (DRX) :

Cette analyse a été réalisée sur la phase solide uniquement.

IV.3.3.1. Résultat et interprétation de DRX :

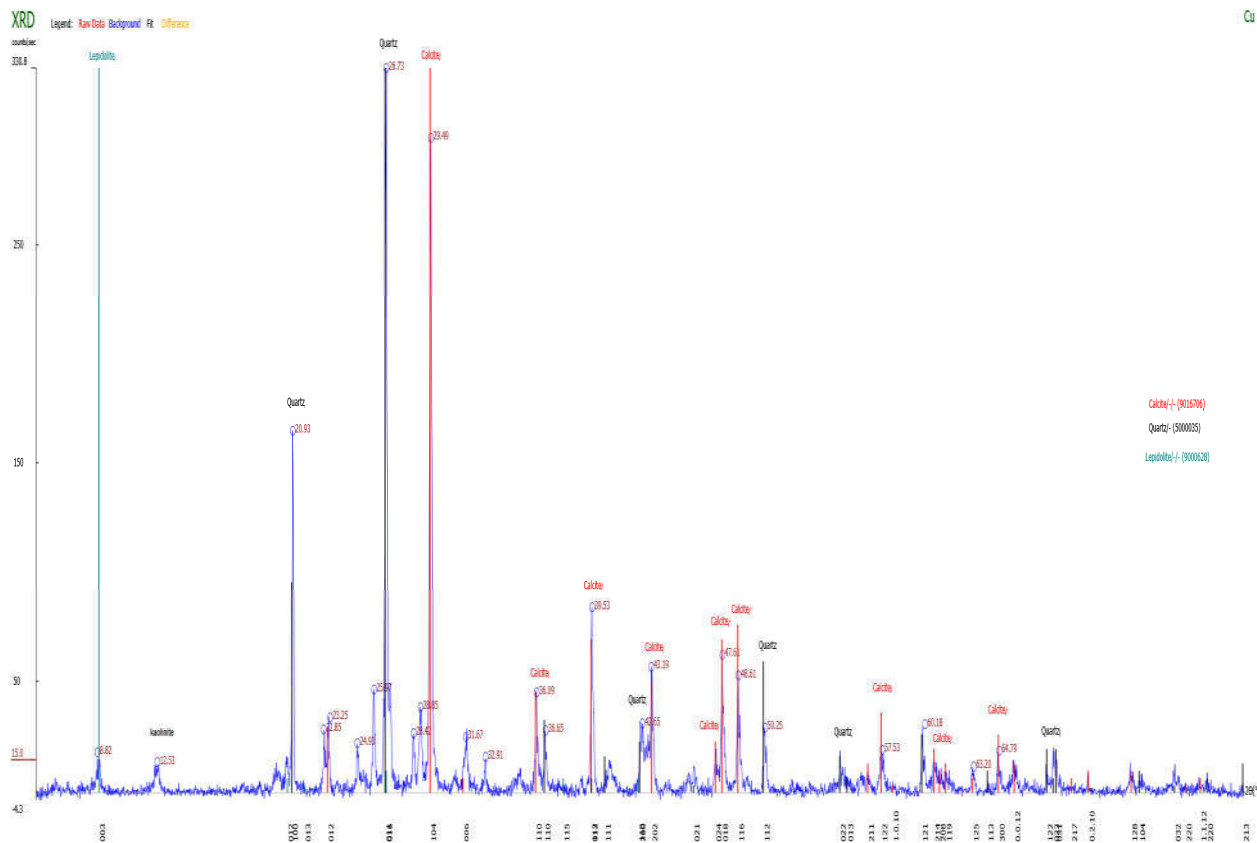


Figure IV.13 : Spectre de diffraction rayon X (DRX).

La courbe DRX montre 26 pics. Les fonctions chimiques identifiées de la courbe DRX est consigné dans le tableau suivant :

File Number	Smith-Snyder FOM/ $\Delta 2\theta_{av}$	Line Matches	Chemical Formula	Name(s)	Quality Marker	Temperature	Sub file
9016706	17.89	9	CaCO ₃	Calcite//	N/A	N/A	N/A
5000035	12.64	5	SiO ₂	Quartz/Silicon oxide/	N/A	N/A	N/A
9000628	19.77	2	Al1.107 F H1.334 K0.667 Li1.153 Mn0.037 O7.004 Si2.334	Lepidolite//	N/A	N/A	N/A

Tableau IV.8 : Interprétation spectre de diffraction rayon X de la phase solide de la boue.

✚ Ce résultat montre clairement que la boue analysée est complètement infectée par les constituants terrestres et des couches traversées.

Économiquement la région d'Adrar est caractérisée par une activité pétrolière prépondérante, et principalement, les activités de forage pétrolier, de productions et raffinages Ces activités pétrolières ont des conséquences très graves sur les composantes de l'environnement (sol, eau, animaux et végétaux) dans cette région, favorisant la génération de rejets qui ont des effets graves sur l'écosystème. Les boues des forages pétroliers et de l'exploitation et traitement des hydrocarbures favorisent la pollution des différents aquifères. Le traitement des hydrocarbures a permis aussi l'apparition d'une importante toxicité envers l'environnement écologique et la santé et même des êtres vivants animaux.

De point de vue hydrogéologique, la région d'Adrar est caractérisée par des réserves d'eau très proches de surface, voire en surface, cette caractéristique naturelle met ces réserves naturelles sous un risque majeur de pollution.

Sur ce plan environnemental, les pertes de circulation des fluides pendant et après le forage sont le facteur le plus favorable des contaminations des réservoirs d'eau avoisinants, pendant et après l'achèvement des opérations de forage. Le bouage, en tant que collecteur des produits liquides et solides issus du forage, représente une grande source de pollution et de danger. Toutefois, la pollution qu'ils engendrent rend indispensable un traitement des boues usagées. Au cours de cette étude, 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 de pollution.

Chapitre IV : Résultats et discussion

N°	Puits	Date du forage	Profondeur	Hydrocarbures totaux (g/kg de sol)	COT (%)
1	OMOZ#472	Du 22/04/05 au 04/06/05	-20 cm	27,84	02,30
2	OMKZ#32	Du 19/06/05 au 13/09/05	Surface (1 à 5 cm)	50,16	01,18
3	OMKZ#32	Du 19/06/05 au 13/09/05	-10 cm	31,01	02,39
4	OMKZ#32	19/06/05 au 13/09/05	-20 cm	59,07	07,10
5	OMKZ#32	19/06/05 au 13/09/05	- 30 cm	51,87	01,62
6	OMKZ#502	Du 14/09/06 au 01/12/06	Aux abords	69,83	10,71
7	OMKZ#502	14/09/06 au 01/12/06.	Surface (1 à 5 cm)	36,05	-
8	OMKZ#502	14/09/06 au 01/12/06	-20cm à l'entrée	43,71	-
9	OMKZ#502	Du 14/09/06 au 01/12/06	- 20 cm	25,87	-
10 *	Sable non contaminé	13/03/07	Surface (1 à 5 cm)	10,40	-
11 *	100 g sable non contaminé + 20 gWBM (PHPA)	13/03/07	Surface (1 à 5 cm)	12,25	-
12 *	100 g sable non contaminé + 20 gGazole	13/03/07	Surface (1 à 5 cm)	76,53	-
13 *	100 g sable non contaminé + 20 gOBM (95/05)	13/03/07	Surface (1 à 5 cm)	36,60	-
14 *	100 g sable non contaminé + 10 gWBM + 10 g OBM	13/03/07	Surface (1 à 5 cm)	37,18	-

Tableau IV.9: Teneurs en hydrocarbures totaux et en carbone des échantillons en fonction de profondeur [5]

la caractérisation chimique et physique du fluide de forage sur le chantier et au laboratoire pédagogique de l'université nous a permis de déterminer les composants chimiques suivants : le

Chapitre IV : Résultats et discussion

dioxyde de silice, Iodo-alcanes, Chloro-alcane, vinyle, composé aromatique, amines secondaires, alkyle, phénols, acides carboxyliques, sur la base de ces résultats on peut dire et sans aucun doute que boue de forage avec ces composés chimique est très néfaste sur l'environnement en général et en particulier sur les eaux souterraines (qui sont largement utilisées ressource de base d'eau domestique et pour l'agriculture) qui ont un lien direct avec elle lors du forage (c'est-à-dire que l'eau est sous l'influence de ces composants dans son état actif et concentré) et sur les animaux sauvages (oiseaux , chameaux, reptiles...) ainsi que après forage, car les vapeurs émises par les borbier évaporés par la chaleur se mélangent à l'air ambiant et peuvent atteindre les zones urbaines.

En effet, le décharge de certains produits (solides ou liquides) dans la nature peuvent entraîner une modification des propriétés physico-chimiques des composés naturels, entraînant une détérioration des propriétés de ces milieux en diminuant leurs capacités d'assèchement ([26], [27]), et induisant des effets portant atteinte l'écosystème avoisinant, de façon directe ou indirecte, et à l'environnement de manière globale.

Face à cette situation, plusieurs techniques de traitement sont recommandées, mais des considérations sont tenues à cause de son coût ou de son efficacité.

D'après DRILLING WASTE MANAGEMENT INFORMATION SYSTEM, 2004 [28] de nombreuses méthodes, utilisées pour le traitement des rejets des fluides de forage, est facilement accessible (website). Citons :

- la réduction du volume des déchets de forage grâce à des techniques spéciales (forage directionnel, faible diamètre du trou, utilisation de faibles quantités de fluide) ou l'utilisation de fluides et d'additifs à faible impact environnemental;
- le recyclage des rejets de boue.
- le traitement sur site (fosse, décharge), l'épandage sur le sol ("landfarming", "landspreading").
- les traitements biologiques (biodégradation, bioréacteurs, "vermiculture techniques").
- le traitement thermique (incinération, désorption par voie thermique).

Conclusion général et recommandation

Conclusion générale

L'un des défis majeurs rencontrés tout au long de l'exploitation des gisements pétroliers est le respect des obligations environnemental et spécialement l'impact des rejets de chantier forage de puits et celle des usines de traitement. Pour cela, nous avons récolté plusieurs données de forage et de production et fait appel à une diverse techniques pour caractériser l'un des plus répandue rejet de l'industrie pétrolière qui est la boue de forage. 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 liés aux pollutions causées par ce type de produit.

Dans cette étude, nous avons étudié les propriétés physiques et chimiques du fluide de forage, où nous avons fait des expériences et des testes sur chantier, et nous avons prélevé un échantillon de ce fluide de forage (boue) et étudié ses propriétés pour la connaissance de ses compositions chimiques au laboratoire pédagogique de l'université en calculant les différentes fractions massiques des phases et en utilisant spectrophotomètre infrarouge IR et les DRX pour la caractérisation physicochimique des phases.

Dans les tests physiques, nous nous sommes concentrés sur la connaissance de l'efficacité de la boue lors du forage en confrontant les résultats des tests avec le rapport quotidien de forage.

Alors que les tests chimiques que nous avons étudiés visaient à déterminer les composants chimiques polluants et toxiques et les métaux lourds présents dans le fluide de forage, il s'agit d'étudier son comportement vis-à-vis du milieu environnant.

Selon les résultats obtenus de notre étude, nous avons constaté que les fluides de forage présentent d'énormes risques irréductibles pour l'environnement en raison de leur composition, qui été déterminée par des expériences au laboratoire à l'université, où nous mentionnons les plus importants de ces compositions : dioxyde de silicium, alcanes iodés, alcanes chlorés, phényle, composé aromatique, amine secondaire, alkyle, phénols, acides carboxyliques, alcools, cycle benzénique.

On signalera spécialement les formulations obtenues à partir de DRX et IR pour les phases solides de la boue a savoir Iodoalcanes, Chloroalcanes, Vinyle, amines secondaires, SiO₂, CaCO₃, qui composé habituellement la majeure partie du MUD cake qui est en contact direct avec les parois du puits et donc contact direct avec l'environnement.

A partir des résultats du chantier, nous avons obtenu différents résultats par rapport au rapport journalier, où certains résultats étaient proches (comme le PH et le % d'eau...) et d'autres non (comme MBT et Yeiled point...) et cette différence peut être attribuée au manque de disponibilité d'argile sur les conditions nécessaires ou à l'exposition aux interférences environnementales lors du forage. Cela nuit plus à l'environnement qu'à l'entreprise.

Conclusion et recommandations

Ce sont des formulations nocives qui peuvent atteindre les sources d'eau ainsi que d'autres ressources naturelles.

Les fluides à base d'eau sont plus sensibles à la contamination que les fluides à base d'huile. La pollution affecte le bon fonctionnement de ces fluides, qui résulte du contact avec des éléments extérieurs en modifiant les paramètres physiques et chimiques de ces fluides. Il en résulte que les couches géologiques se plient lors tous les passages de fluide forge et causant des problèmes majeurs en profondeur et niveau des de réservoirs pétroliers, (la déstabilisation des équilibres en profondeur) et création des nouveaux systèmes en vois d'équilibre.

À la fin de cette étude, pour minimiser l'impact des l'industrie pétrolière et spécialement les opérations de forage sur l'environnement il est demander d'appliquer des consignes et les règlements de protection de l'environnement dans contexte nous préconisons les recommandations suivantes :

Recommandations :

Obliger les opérateurs à effectuer des procédures de contrôle et d'analyse de leurs rejets, et même fournir des explications en cas de non-respect des limites indiquées

Il est important de connaitre les phénomènes de diffusion des polluants dans la nature.

L'application des réglementations en matière de traitement et de rejets défluent industriels.

Améliorer et optimiser les performances environnementales des activités E&P

L'application des méthodes de traitement sont efficace pour le piège des métaux lourds, et efficace pour dépollution des hydrocarbures.

Traitement instantané des borbiers pendant le forage pour éviter toute infiltration des produits chimiques

L'application d'une bonne isolation des surfaces de contact entre les rejets liquides et sol.

La clôture des borbiers pour éviter l'approche des animaux locaux (oiseaux, chameaux, reptiles...)

Pour minimiser les risques de pollution chimique il faut utiliser une boue de forage respectueuse de l'environnement telle que la boue de silicate, bien que son coût soit élevé, mais en raison de son faible impact sur l'environnement par rapport aux autres types de boue de forage ; c'est le meilleur choix possible.

Références bibliographiques:

- [1] MOHAMMED CHERIFI., 2006. drilling waste management for environmental protection in HASSI MESSAOUD field" faculty of design and technology, school of engineering, the Robert Gordon University, Aberdeen, ».
- [2] Journal officiel de la république algérienne 15/02/2001.
- [3] SchemaSource Web, redessiné par auteur, URL https://www.researchgate.net/figure/Schema-simplifie-dune-installation-de-forage-rotary_fig15_333172998.
- [4] Balla Faysal, Belhabib Abdeloihab et Tama Ali Saber ; 2013 les fluides de forage a basse d'huile : impacte sur l'environnement et technique de traitement ; Ouargla, Algérie; P 4.
- [5] KHODJA.M. (2008): les fluides de forage : étude des performances et considérations environnementales. Thèse de doctorat, École doctorale : Science des Procédés Spécialité : Génie des Procédés et de l'Environnement. Master Géosciences Environnement et Risque, Université Louis Pasteur Strasbourg – France ; P 4, 5, 11, 12, 177, 179.
- [6] Dada Moussa et Behmene Ahmed., 2016 étude comparative entre deux puits de forage portant sur l'amélioration de la boue de forage champs d'Adrar ; Ouargla-Algérie ; P 9, 11, 15, 60.
- [7] ENSPM. 2006., formation industrie Forage; Production Gisement ; Algérie; P 5 -8.
- [8] M. DADDOU., 2004 les fluides de forage de contribution de SONATRACH division forage ; P 6, 8, 10, 18, 19, 21.
- [9] Yacine YAICHE., 2006. "Environmental Impact Assesment of the Drilling Activities in the Hassi Messaoud Field", Faculty of Design and Technology, School of Engineering, The Robert Gordon University, Aberdeen,
- [10] Rahmani.T et Bougutta; 2004 A (étude sur l'efficacité de traitement des bourbiers de forage pour la protection de l'environnement, cas de Hassi R'mel).
- [11] LASFRI Said : 2018 techniques de traitement des déblais de forage et impacts sur l'environnement Tizi-ouzou, Algérie, P 60.
- [12] Gouvernement du Québec, 2021 ministre de l'environnement et de la lutte contre les changements climatique : lignes directrices sur la gestion des matières résiduelles et des sols contaminés traités par stabilisation et solidification ; P 4, 5.
- [13] Benkacimi Nacer : 2013 traitement de la pollution engendrée par les fluides de forage, Blida, Algérie; P : 40.
- [14] CHOUAOUA Maroua IDAMI Chahrazed : 2019 Traitement des fluides de forage par la méthode stabilisation/solidification au niveau du champ de Hassi Messaoud, Constantine, Algérie; P 21, 22.

Références bibliographiques

- [15] SLIMANI Hanan : 2016/2017 " mémoire master; étude préliminaire sur la valorisation d'un déblai de forage polluant par incorporation dans un matrice cimentaire ; département: génie de procédés industriels ; Université M'Hamed Bougara – Boumerdés.
- [16] M.DADDOU ; 2009 Les caractéristiques physiques de la boue de forage ; SONATRACH Algérie; ; P 6, 22, 28-34, 44, 45.
- [17] Web page: Direct Industry URL <https://www.directindustry.fr/prod/rigchina-group-company/product-39431-1618568.html>.
- [18] Manuel de rhéologie des fluides de forage et laitiers de ciment, 1979 Editions Technip, Paris.
- [19] KHERFI Aissa et GANOUNE Laid : 2016/2017 étude de l'efficacité des méthodes de traitement de boue de forage appliquée "méthode Solidification/Stabilisation (S/S) sur le borbier de forage MD660", Ouargla, Algérie p : 18.
- [20] BOUGHENDJA Saad et BERRIAH Fadhila ; 2016 Effet de la contamination sur les propriétés physico-chimiques des fluides de forage ; Bejaia, P : 61, 64, 67, 69.
- [21] DI-CORP Down to earth business (TESTING EQUIPMENT: METHYLENE BLUE TEST) www.di-corp.com.
- [22] Web page : VWR AVANTOR URL is <https://be.vwr.com/store/product/fr/2104324/centrifugeuse-de-paillasse-rotofix-nbsp-32-nbsp-a>.
- [23] Web page : Wikipedia URL is [:https://commons.wikimedia.org/wiki/File:IR_spectrometer.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:IR_spectrometer.jpg)
- [24] web page : <https://xray.materials.manchester.ac.uk/equipment/protoaxrd.html>.
- [25] Web page : Wikipedia URL is <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Drx-z%C3%A9olithe.jpg>.
- [26] Atlas., R. M. (1984) Petroleum microbiology. Edition, Macmillan Publishing Company, P.685.
- [27] Scriban, R. (1999) Biotechnologie.5ème édition, Tec.et doc. Lavoisier, Paris, France.
- [28] Drilling Waste Management Information System website (2004) launched in 2004. The URL is <http://web.ead.anl.gov/dwm>.