



وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique

جامعة أمحمد بوقرة بومرداس

Université M'Hamed BOUGARA-Boumerdes

كلية المحروقات و الكيمياء

Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie



Département Génie des procédés Chimique et pharmaceutique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En Vue d'obtention de diplôme de Master 2

Spécialité : Génie des procédés

Option : Hygiène Sécurité et Environnement (HSE)

Thème :

Etude d'impact environnemental lies aux activités de forage pétrolier

Présenté par :

Gheribi Mohamed Abd El Malek.

Benradi Zin eddine

Encadré par :

Dr. MAHDI Karima

Soutenu devant les jurys :

- | | | | |
|-------------------|-----|------|--------------|
| • BENRAHOU Fatima | MCB | UMBB | Président |
| • LEDJRI Amina | MAB | UMBB | Examinatrice |
| • MAHDI Karima | MCB | UMBB | Encadreur |

Année universitaire : 2023/2024

Remerciement

A Dieu tout le merci.

Ce mémoire, ne pourrait exister sans l'aide et l'engagement d'un certain nombre de personnes qui ont décidé de nous accompagner résolument dans notre parcours. Que tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué par leurs conseils, leurs encouragements et leur assistance à l'aboutissement de ce travail, trouvent ici l'expression ma profonde gratitude. Tout d'abord, je tiens à remercier mon promoteur ; Mme Mahdi Karima, pour les efforts qu'il n'a cessé de ménager pour m'aider et m'orienter, jusqu'à la finalisation de ce modeste travail. Je tiens aussi à remercier Chacun des membres du jury pour m'avoir fait l'insigne honneur d'accepter d'examiner mon travail.

j'adresse mes remerciements au personnel du Enafor à Hassi-Messaoud pour leur aide indispensable. Enfin, Par crainte d'avoir oublié quelqu'un, que tous ceux et toutes celles dont nous sommes redevables se voient vivement remerciés.

Dedicace

Je dédie ce modeste travail et ma sincère gratitude :

A mon chère père ;

A mon adorable et joyeuse mère ;

A toute ma famille;

A tous mes amis ;

A mes camarades de : Ayoub, Yacine, Aymen

,Zin eddine;

Zin eddine,

Dédicaces

Je dédie ce projet :

A ma chère mère,

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles

A mon cher père,

Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager. Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.

A mes frères, SALAH et ABD ENOR et ma chère sœur,

A mon précieux camarade de travail, ZIN EDDINE,

Pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.

A mes chères ami(e)s, spécialement ILYES ,SIMOU,AYOUB et YASSINE

Pour leurs aides et supports dans les moments difficiles.

A toute ma famille,

A tous mes autres ami(e)s,

A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.

MOHAMED ABD EL MALEK

Sommaire :

I. Introduction générale	1
Chapitre I : généralités sur le forage	
I.1. Généralités sur le forage pétrolier	3
I.1.1 Le principe du forage pétrolier.....	3
I.1.2 Classification d'appareil de forage	4
I.1.3 Composants de l'appareil de forage.....	5
I.2. Programme de forage.....	7
I.2.1 Préparation du site de forage.....	7
I.2.2 Mobilisation des équipements de forage	8
I.2.3 Installation de campement du personnel	9
I.3 les principes opérationnels comprennent les activités suivantes	9
I.3.1 Moyens et Mesures de Sécurité	10
I.3.2 la partie de forage.....	12
I.3.3 cimentation	13
I.3.4 Casing	14
I.4. Les fluides de forage.....	15
I.4.1 Boues à base d'eau	16
I.4.2 Boues à base d'huile	17
I.4.3 Choix et programme de boue.....	17
I.4.4 Les principales méthodes de traitement de la boue de forage comprennent. . .	21
I.5. Délimitation de la zone d'étude. . .	22
I.5.1 Description de l'état du périmètre et son environnement. . .	23
I.5.2 HISTORIQUE MÉTÉO À HASSI TARFA	24
I.5.3 Description de chantier de forage	25
I.5.4 le camp de vie	26
I.5.5 Situation géologique. . .	28

I.6 Milieu biologique.....	32
Chapitre II : les impacts de l'activité de forage sur l'environnement et les eaux souterraine	
Introduction.....	33
II. Identification des impacts de l'activité de forage sur l'environnement.....	33
II.1. Les aspects environnementaux et leurs impacts.....	33
II.1.1. Les sources d'émissions de gaz.....	33
II.2 Les impacts des déblais de forage sur l'environnement et les sol et eaux souterraines.....	43
II.2.1 Généralités sur les déblais	44
II.2.2 Impacts Sur les sols et les eaux souterraines	47
II.2.3. Stockage des produits chimique de fabrication de boue	52
II.3 Impact positif de forage.....	52
Chapitre III : traitement des déblais.	
Introduction	56
III.1 Des mesures préventive proposé pour réduire les impacts environnementaux	56
III.2 Système de traitement de la boue	57
III.2.1 Waste management.....	57
III.2 Partie expérimentale	62
III.2.1 Procédure de mesure de la teneur en l'huile (oil on cuttings (OOC%))	62
III.2.2. Le calcule de la teneur en l'huile (oil on cuttings (OOC%)cas de shakers solids :(avant traitement)	64
III.2.3 Le calcule de la teneur en l'huile (oil on cuttings (OOC%)) cas de Dryer Solids Measurement (après le traitement).....	65
Interprétation des résultats.....	67
Conclusion:.....	68
Conclusion générale.....	69
Référence bibliographique.....	71
Annexe	73

Liste des figures :

Figure 1 : Schéma de principe d'un appareil de forage.....	7
Figure 2 : Casing dans le forage.....	15
Figure 3 : Circulation de boue de forage.....	21
Figure 4: Plan de position du périmètre de Hassi Terfa et situation du puits HTF 15.....	23
Figure 5 : Précipitations mensuelles moyennes.....	24
Figure 6 : Températures moyennes mensuelles.....	24
Figure 7 : Taux d'humidité relative et inconfort par rapport à la température.....	25
Figure 8 : le chantier de forage.....	26
Figure 9 : le camp de vie.....	28
Figure 10 : Stratigraphie géologique.....	30
Figure 11 :Aquifère Continental Intercalaire de region sahara.....	32
Figure 12 : Diagramme des flux (activité de forage).....	33
Figure 13 : torche.....	37
Figure 14 : Plusieurs COV (composés organiques volatils).....	38
Figure 15 :les émissions du Nox région sud.....	41
Figure 16 : Eutrophisation.....	43
Figure 17 : Composition de déblais de forage.....	44
Figure 18 : Bourbier pour stocker les rejets de déblais.....	47
Figure19 : schéma de traitement de boue.....	59
Figure 20 : le verti-g dryer.....	60
Figure 21 : Schéma simplifié de l'unité de la centrifugeuse.....	61
Figure 22 : Photo Montage de la cellule avec le godet.....	63
Figure 23 : Histogramme montre les résultats de calcule et la norme.....	67

Liste des abréviations :

WM : waste Management

GES : Gas effet de ser

COV : compose organique volatile.

NOx : les azotes

SOx : les soufres.

PM : particule matière.

ZPE : ZONE DE PROTECTION DES EAUX

LGS : Low gravity solid.

HAP : Hydrocarbures aromatiques polycycliques

BTEX ; Benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes

HTF : Hassi Terfa.

OOO: Oil on cuttings

CI : continental intercalaire

CT : complexe terminal.

KOMEX : Konstanz Methods Excellence Workshops

HP : horse power.

Verti-G : centrifugeuse verticale.

PMU : plan de mesure d'urgence.

HSE : Hygiène sécurité et environnement.

ENAFOR : Entreprise nationale de forage.

DTM : Démontage transport montage.

CAT : Caterpillar (Groupe Electrogène)

Liste des tableau:

Tableau 1: programme de boue de forage	19
Tableau 2 : émissions de gaz des engins et des véhicules de site Enafor 47	34
Tableau 3: consommation des ressources et matière et énergie par Caterpillar	35
Tableau 4 : Carburants consommés pendant le forage de site Enafor 47 dans 2023.....	35
Tableau 5 : Estimation des émissions atmosphériques durant le projet	40
Tableau 6 : Estimation de quantité de déblais de forage	45
Tableau 7 : Stockage des produits toxique et dangereux.....	52
Tableau 8 : les aspects et leurs impacts sur l'environnement.....	53
Tableau 9 :les valeurs des masses du procédure.....	64

Introduction générale

L'exploration et l'exploitation des ressources naturelles, notamment celles liées aux activités de forage, revêtent une importance cruciale dans le contexte économique et énergétique actuel. Cependant, ces activités ne se déroulent pas sans conséquences sur l'environnement. C'est pourquoi l'étude d'impact environnemental (EIE) sur les activités de forage joue un rôle essentiel dans la gestion durable de ces ressources.

Dans le cadre de ses activités d'exploration pétrolière & gazière en Algérie, la Division Exploration de SONATRACH se propose de réaliser une étude d'impact sur l'environnement du projet d'exploration dans le chantier ENAFOR 47. Ce projet comporte la réalisation d'un forage Exploration.

L'Étude d'Impact Environnemental (EIE) est un dispositif instauré par la loi n° 03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable. Le décret exécutif n° 07-145 du 19 mai 2007 précise le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et notices d'impact environnemental. Ce décret a été modifié par les textes n° 18-255 du 29 Moharrem 1440 et n° 19-241 du 8 Moharrem 1441, ainsi que par le décret exécutif n° 08-312 du 5 octobre 2008. Ce dernier fixe les conditions d'approbation des études d'impact environnemental pour les activités relevant du domaine des hydrocarbures.

Cette étude vise à minimiser les effets potentiels des opérations de forage sur les écosystèmes terrestres et aquatiques, ainsi que sur les communautés humaines avoisinantes. Elle examine les risques de contamination des sols et des eaux, les émissions de gaz à effet de serre, les perturbations de la faune et de la flore locales.

Ainsi, une identification des aspects et impacts environnementaux liés au projet a été établit afin de proposer des mesures préventives.

Enfin, on parle sur les traitements de déblais de forage à cause de leurs toxicités et grande absorption des huiles.

Introduction générale

Le projet comporte les chapitres suivants :

- Généralités sur le forage.
- Les impacts de l'activité de forage sur l'environnement et les eaux souterraine.
- Traitement des déblais.

Chapitre I : généralités sur le forage

I.1.Généralités sur le forage pétrolier

Le forage pétrolier vise à accéder aux formations géologiques souterraines contenant des hydrocarbures liquides ou gazeux, tels que le pétrole et le gaz naturel.

Le processus de forage pétrolier comprend plusieurs phases, de l'identification du site propice à l'exploration à la mise en place de l'équipement de forage, en passant par le forage effectif, l'extraction des échantillons de roche, et la surveillance des paramètres de forage.

Le forage pétrolier utilise des équipements spécialement conçus pour les conditions de subsurface, tels que les foreuses rotatives, les tiges de forage, les marteaux perforateurs, les boues de forage, et les systèmes de contrôle de pression[1].

I.1.1. Le principe du forage pétrolier

Le principe du forage pétrolier consiste à utiliser des équipements spécialisés pour pénétrer dans le sol ou le sous-sol afin d'atteindre des formations géologiques susceptibles de contenir des hydrocarbures liquides ou gazeux, Le forage d'un puits s'effectue généralement à l'aide de la méthode dite Rotary.

- **Les principaux aspects du processus de forage pétrolier**

- **L'Analyse géologique**

Avant le début du forage, une analyse géologique approfondie est réalisée pour étudier la composition du sous-sol, identifier les formations potentiellement productrices de pétrole ou de gaz, et évaluer les caractéristiques géologiques du site.

- **Sélection de l'équipement**

Selon les données de l'analyse géologique, l'équipement de forage adéquat est choisi. Cela peut inclure des foreuses rotatives, des trépan, des tiges de forage, des pompes de circulation de boue, et des équipements de contrôle de pression.

- **L'Installation de la plateforme de forage**

Une fois l'équipement sélectionné, une plateforme de forage est installée sur le site pour soutenir les opérations de forage et assurer la stabilité des équipements.

Chapitre I : généralités sur le forage.

La circulation de boue permet de refroidir et nettoyer le trépan, améliorer la tenue des parois du trou et remonter les déblais à la surface. Elle permet également le maintien, en fond de puits d'une pression qui empêche toute venue d'hydrocarbures ou autres fluides des couches traversées lors du forage.

➤ Surveillance et contrôle

Tout au long du processus de forage, des mesures de surveillance sont effectuées pour contrôler les paramètres tels que la pression de la boue de forage, la température, la vitesse de rotation, et la profondeur atteinte. Cela garantit la sécurité des travailleurs et la performance des équipements.

➤ Tests et évaluation des résultats

Une fois la profondeur visée atteinte, des tests sont effectués pour évaluer la qualité et la quantité des hydrocarbures présents dans les formations géologiques. Ces tests peuvent inclure des analyses de la boue de forage, des logs de forage, et des tests de production.

➤ Sécurité et réglementation

Le forage pétrolier est soumis à des normes de sécurité strictes et à des réglementations environnementales pour minimiser les risques pour les travailleurs, prévenir les accidents, et limiter les impacts sur les écosystèmes.

I.1.2. Classification d'appareil de forage

Les appareils de forage sont classés en différentes catégories selon leur poids et leur capacité à travailler à différentes profondeurs. Deux critères principaux entrent en jeu dans cette classification :

- La capacité maximale de forage en profondeur.
- La puissance nécessaire au treuil.

Chapitre I : généralités sur le forage.

Selon une règle générale, pour chaque 100 pieds de forage, environ 10 chevaux de puissance sont nécessaires au treuil. En se basant sur cela, voici les différentes catégories d'appareils de forage et leurs spécifications :

- Appareil léger : 4921' – 6561' (1500 – 2000 m), nécessitant 650 chevaux de puissance.
- Appareil moyen : 11484' – (3500 m), nécessitant 1300 chevaux de puissance.
- Appareil lourd : 19685' - (6000 m), nécessitant 2000 chevaux de puissance.
- Appareil super lourd : 26246' - 32805' (8000 -10000 m), nécessitant 3000 chevaux de puissance.

I.1.3. Composants de l'appareil de forage

L'appareil de forage comprend plusieurs composants essentiels qui travaillent ensemble pour permettre le forage du sol ou du sous-sol.

- **La tête de forage :**

C'est la partie de l'appareil qui est en contact direct avec le sol ou le sous-sol et qui effectue le travail de forage. Elle peut être équipée de différents types de trépan selon le matériau à forer (roche, terre, etc.)

- **Les tiges de forage :**

Ce sont des éléments allongés et solides qui relient la tête de forage à la surface. Elles transmettent la rotation et la force de poussée nécessaires pour creuser le trou de forage.

- **Le moteur de rotation :**

Il fournit la puissance nécessaire pour faire tourner les tiges de forage et la tête de forage. Le type de moteur utilisé dépend du type de forage et des conditions du sol.

- **Le système de circulation de fluide de forage :**

Pendant le forage, un fluide de forage est pompé à travers les tiges de forage pour évacuer les déblais de forage du trou et refroidir la tête de forage. Ce fluide peut également aider à maintenir la pression dans le trou de forage pour éviter les effondrements

Chapitre I : généralités sur le forage.

- **Le système de levage :**

Il est utilisé pour soulever et abaisser les tiges de forage, ainsi que pour manipuler d'autres composants de l'appareil de forage. Il peut être constitué de treuils, de câbles, et de dispositifs de levage.

- **Les dispositifs de contrôle et de surveillance :**

Ils comprennent des instruments pour surveiller la profondeur du forage, la pression du fluide de forage, la vitesse de rotation, la température, et d'autres paramètres essentiels. Ces dispositifs aident les opérateurs à contrôler le processus de forage et à détecter d'éventuels problèmes.

- **La plateforme de forage :**

C'est la structure qui supporte l'ensemble de l'appareil de forage et qui assure sa stabilité pendant les opérations. La plateforme peut être montée sur des roues ou des chenilles pour permettre le déplacement sur le terrain.

- **Les équipements de sécurité :**

Ils incluent des dispositifs de protection individuelle pour les travailleurs, des systèmes de détection des gaz dangereux, des extincteurs, des dispositifs anti-incendie, et d'autres mesures de sécurité pour prévenir les accidents.

L'appareil de forage comportera les équipements suivants :

- Treuil,
- Deux moteurs : Diesel, équipé de compresseur et système de fermeture automatique,
- Un compresseur,
- Une tête d'injection,
- Deux pompes à boue,
- Deux pompes de surcharge,
- Un bac du tamis vibrant,
- Deux bacs intermédiaires,
- Deux tamis vibrants,

Chapitre I : généralités sur le forage.

- Un dessableur : composé de deux cyclones,
- Un désilteur / mudcleaner,
- Un Dégazeur.

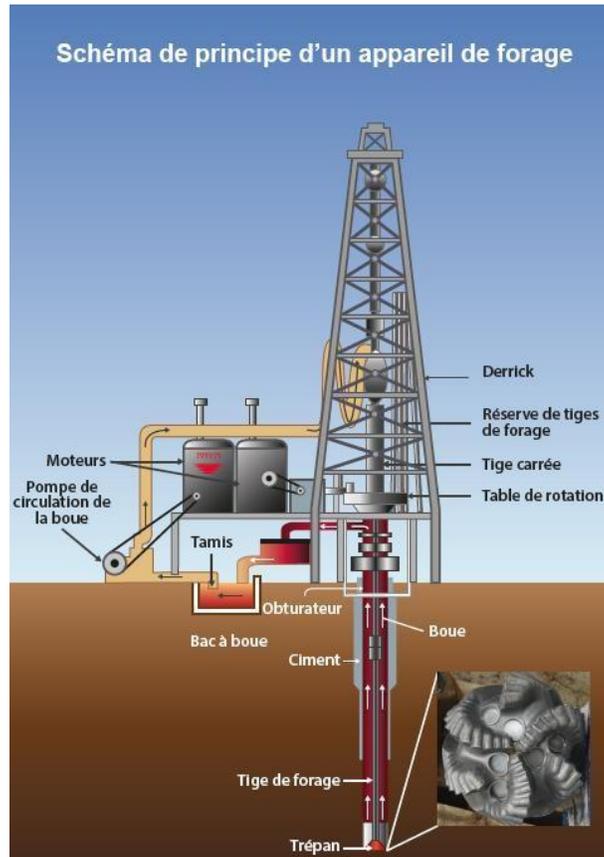


Figure 1 : Schéma de principe d'un appareil de forage

I.2. Programme de forage

I.2.1. Préparation du site de forage

Les opérations de préparation du site de forage consistent essentiellement en :

- L'ouverture d'une piste large de 8 m vers le site du forage
- Une plateforme en béton armé sera construite pour l'installation de la foreuse et de ses équipements annexes.

Chapitre I : généralités sur le forage.

- Deux fosses à boue étanches seront aménagées pour la récupération de la boue.
- Un bassin étanche sera construit pour stocker l'eau nécessaire aux différentes opérations de forage. L'eau sera transportée sur le site du puits par des camions-citernes.
- Un bac de stockage étanche sera installé pour la récupération des huiles usées.
- Des fosses septiques seront construites.
- Des plateformes en béton seront construites sous les bacs à boue et sous les pompes.
- Une zone sera aménagée pour l'installation du campement.
- Une zone de stockage des produits chimiques sera aménagée.

I.2.2. Mobilisation des équipements de forage

La mobilisation d'un équipement, également appelée D.T.M (Démontage, Transport, Montage), est le processus qui assure le déplacement de cet équipement d'un emplacement à un autre. Ce processus se déroule en trois phases distinctes :

- La phase de **Démontage** : Pendant cette première phase, le personnel de l'entreprise de forage ou du contractant rassemble les composants de l'équipement en colis transportables.
- La phase de **Transport** : Cette étape implique le transfert des colis assemblés du site d'origine vers le nouveau site de forage.
- La phase de **Montage** : Elle se déroule sur le nouveau site de forage et vise à rendre l'équipement opérationnel.

En général, l'opération de mobilisation (D.T.M) comprend à la fois le transfert de l'équipement lui-même et celui du camp de base pour le personnel.

I.2.3. Installation de campement du personnel :

Un campement pour le personnel sera érigé à une distance de 200 mètres de l'appareil de forage. Ce campement sera équipé des installations essentielles pour l'hébergement, la restauration et les

loisirs, comprenant notamment des cabines pour le sommeil, des cabines de douche et de toilette, une salle de télévision, une cuisine, un restaurant, une infirmerie, une chambre froide, un entrepôt pour la nourriture, des réservoirs d'eau, des générateurs électriques et un réservoir de carburant diesel.

I.3. Les principes opérationnels comprennent les activités suivantes.

- **Le forage**

Bien que cela constitue l'activité de base, le forage nécessite le moins de personnel, seul le chef de poste travaillant aux commandes du treuil. La table de rotation entraîne l'outil de forage à travers l'ensemble de la garniture de forage et d'entraînement. Le levier de frein est contrôlé par la commande principale. Le chef de poste régule la descente du crochet de forage en agissant sur ce frein. Les deux paramètres, rotation et débit de boue, sont généralement fixes. Le foreur ajuste ces valeurs selon le programme et s'assure que la pression de refoulement aux pompes reste conforme.

- **Ajout de tiges**

Lorsque l'outil a foré une longueur de tige de 30 mètres, il est nécessaire de rallonger la garniture de forage en vissant sous la Kelly une tige de forage selon les étapes suivantes : Pendant le forage, les ouvriers placent une tige dans un fourreau appelé mousse-hole situé près de la table de rotation. Le chef de poste active le treuil pour soulever la garniture jusqu'à la première tige de forage sous la Kelly, et les sondeurs mettent en place les cales. La Kelly peut alors être dévissée car la garniture est suspendue sur la table de rotation, ce qui arrête naturellement la circulation de boue. Les sondeurs insèrent la tige d'entraînement dans le filetage femelle de la tige positionnée dans le mousse-hole.

- **La Manoeuvre**

La procédure consiste à remonter l'ensemble de la garniture lorsque l'outil est usé ou lorsque la profondeur désirée est atteinte, que ce soit pour remplacer l'outil ou pour descendre les tubes de tubage. La première étape implique de détacher la tête d'injection du crochet de forage et de la ranger dans un fourreau appelé Rat-hol, tout en laissant la Kelly reliée aux pompes via le flexible. Les opérateurs (O.P) stabilisent l'élévateur sous le joint de la première tige, puis le chef de poste actionne le treuil pour soulever la garniture à une hauteur équivalente à trois tiges. La quatrième

Chapitre I : généralités sur le forage.

tige est bloquée dans la table de rotation par des cales, et cette connexion est dévissée à l'aide de clés. Un ensemble de trois tiges est alors suspendu à l'élévateur. Les opérateurs repoussent l'extrémité inférieure de cette longueur pour la placer sur un sommier de gerbage (set back). Une fois cela fait, l'accrocheur, situé sur une passerelle autour de la tour, ouvre l'élévateur pour maintenir la longueur, puis range l'extrémité supérieure de cette même longueur dans des râteliers. Ce processus se répète jusqu'à ce que toutes les masses de tiges soient également stockées verticalement par groupes de trois. La hauteur de gerbage dépend de la hauteur de la tour.

- **Tubage**

Après avoir achevé le forage à la profondeur prévue, l'étape suivante consiste à descendre les tubes de tubage dans le puits. Cette opération, délicate en raison de l'espace restreint entre le tubage et le trou et de la difficulté de rotation de la colonne, se fait par une manœuvre de descente avec l'ajout unitaire de tubes de tubage à la fin de la descente. Le ciment est mis en place dans l'annulaire par une circulation directe, c'est-à-dire l'injection du fluide à l'intérieur du tube avec retour par l'annulaire.

- **Montage de la tête de puits**

Une fois que le tubage est en place et cimenté dans le puits, divers équipements de suspension et d'étanchéité doivent être montés sur son extrémité supérieure. Ces opérations sont manuelles en tête de puits aérien. Les équipements de tête de puits permettent également la mise en place des obturateurs équipés de conduites haute pression appelées kill-line et choke line.

I.3.1.Moyens et Mesures de Sécurité

Le prestataire de services de forage appliquera des méthodes de contrôle rigoureuses pour toutes les opérations à risque d'accident. Il élaborera et renforcera des protocoles et des mesures de sécurité spécifiques afin de diminuer les dangers.

- **Sécurité contre les éruptions**

Toutes les mesures nécessaires sont prises pour anticiper les risques potentiels d'éruption. Celles-ci incluent :

- L'usage de pompes à boue avec une puissance hydraulique adéquate,

Chapitre I : généralités sur le forage.

- La constitution d'un stock suffisant de baryte et d'alourdissant pour ajuster la densité de la boue si nécessaire,
- L'ancrage et la cimentation des conduites,
- L'emploi permanent de dispositifs de fermeture pour les conduites et les tiges, avec des tests réguliers. L'équipement de forage est équipé de préventeurs de déversement (BOP : Blow Out Preventers) qui permettent de fermer le puits instantanément en cas de besoin, réduisant ainsi tout risque d'émission dangereuse. En cas de besoin, la fermeture de ces dispositifs permettra de maintenir le puits sous contrôle en attendant d'ajuster la densité de la boue de forage.
- **Matériel de lutte contre l'incendie**

Les équipements de forage, les tests de production de puits et toutes les structures annexes sont équipés d'extincteurs adaptés aux différentes classes de feu. Les moyens de lutte contre les incendies sont clairement signalés et facilement accessibles. Ces équipements sont vérifiés régulièrement par du personnel qualifié et spécifiquement désigné à cet effet.

- **Moyens humains et campement**

L'équipe de travail sur le site comprend environ 80 personnes et est logée dans un camp proche des sites de forage. Les installations comprennent des locaux avec des installations sanitaires, des réserves d'eau potable suffisantes, ainsi que des moyens de stockage pour la nourriture, la régulation de la température et l'éclairage. Le personnel est formé en matière de prévention des risques professionnels, ainsi qu'en sécurité et santé au travail, conformément à la réglementation algérienne, notamment en ce qui concerne le stockage et la manipulation de substances dangereuses en milieu professionnel.

Approvisionnement en eau : L'eau nécessaire au forage sera fournie par des camions-citernes à partir de puits existants ou réalisés par Sonatrach.

Chapitre I : généralités sur le forage.

- **Énergie**

Les besoins en électricité de l'unité de forage et des quartiers résidentiels sont couverts par quatre groupes électrogènes diesel autonomes. La consommation quotidienne de diesel est estimée à 275 litres par jour. Le stockage de diesel se fait dans des citernes protégées par des remblais, à l'abri des feux ouverts, des étincelles et autres sources de chaleur.

- **Test de production du puits**

En ce qui concerne le forage d'exploration, le programme prévoit l'utilisation, en cas de découverte, d'installations appropriées pour tester le puits. Dans ce scénario, les effluents et le brut seraient dirigés via une conduite vers une torche pour être brûlés. Cette opération de torchage devra respecter la réglementation en vigueur en Algérie. Toutes les activités liées à la caractérisation et au traitement des hydrocarbures produits seront effectuées dans une station de traitement dédiée installée à cet effet[4].

I.3.2.La partie de forage

En raison des différentes couches géologiques, le programme de forage du puits sera divisé en cinq phases distinctes :

- Phase 26" : Il s'agit de la première étape du forage, avec un diamètre de trou de 26 pouces.
- Phase 16" : La deuxième étape, avec un trou de 16 pouces de diamètre.
- Phase 12" 1/4 : La troisième étape, avec un trou de 12.25 pouces de diamètre.
- Phase 8" 1/2 : La quatrième étape, avec un trou de 8.5 pouces de diamètre.
- Phase 6" : La cinquième et dernière étape, avec un trou de 6 pouces de diamètre.

I.3.3.Cimentation

La cimentation est exécutée par la société de services, impliquant le déploiement d'un mélange de ciment approprié à une profondeur spécifique du puits et dans l'espace entre le trou foré et le tubage en place (casing). Ce processus implique l'injection de ciment directement dans le tubage ou à

Chapitre I : généralités sur le forage.

travers les tiges de forage, permettant ensuite son remontage dans l'espace annulaire jusqu'à une hauteur préétablie.

Il existe diverses méthodes de cimentation, chacune répondant à des objectifs spécifiques, notamment :

- Isoler une couche productrice des couches environnantes,
- Renforcer mécaniquement les tubages dans la formation,
- Protéger les tubages contre la corrosion causée par les fluides dans les couches traversées,
- Assurer l'étanchéité des équipements de contrôle et de sécurité en tête de puits.

L'installation de bouchons de ciment pendant le forage vise à :

- Abandonner un puits en isolant les couches perméables et en scellant définitivement avec un bouchon de ciment au sabot de la colonne.
- Fermer un niveau aquifère.
- Obstruer des zones à perte de boue de forage.
- Servir de point d'appui pour un forage dévié ou une assise de train de test.
- Abandonner un réservoir épuisé avant la production d'un niveau supérieur.

Le mélange de ciment utilisé comprend principalement du ciment et de l'eau, auxquels s'ajoutent divers additifs ayant des fonctions spécifiques. Différentes catégories de ciment, conformes aux normes API, sont sélectionnées en fonction de la profondeur, de la température du fond du puits et de la présence éventuelle d'eaux de formation corrosives. Il existe 9 classes de ciment définies par les normes API 10, classées de A à J et utilisées en fonction des besoins.

Le ciment est généralement fourni en sacs, puis mélangé avec divers additifs pulvérulents avant d'être acheminé vers le puits. L'opération de cimentation est réalisée par une unité spécifique comprenant des bacs d'eau, une ou plusieurs pompes centrifuges pour alimenter les bacs, mélanger les fluides et alimenter les pompes haute pression, ainsi que des dispositifs de contrôle et de mesure.

I.3.4. Casing

Dans le forage pétrolier et plus généralement dans de nombreux forages, le casing (en français tubage) joue un rôle essentiel pour la stabilité et la réussite du puits[2].

- **Fonction principale**

Le casing est un tube en acier résistant installé à l'intérieur du puits foré. Son rôle principal est de renforcer et stabiliser les parois du forage afin de prévenir les effondrements et d'assurer la sécurité des opérations.

- **Mise en place**

Le casing est descendu par sections dans le puits foré. Une fois la section positionnée à la profondeur requise, de la cimentation est injectée entre le casing et la paroi du forage. Cette opération permet de sceller l'espace annulaire et de garantir la solidité de l'ensemble.

- **Plusieurs phases de casing**

Plusieurs sections de casing de diamètres décroissants peuvent être installées successivement. Chaque section est cimentée avant de procéder à la suivante, permettant ainsi de renforcer progressivement le puits foré et de s'adapter aux différentes couches géologiques traversées[2].

Avantages du casing : En plus de la stabilisation des parois, le casing offre plusieurs avantages :

- **Isolation des fluides :** Il empêche la contamination des formations géologiques traversées par les fluides de forage et de production.
- **Prévention des éruptions :** Il aide à contenir la pression des fluides souterrains et à prévenir les éruptions incontrôlées d'hydrocarbures.
- **Facilitation des opérations ultérieures :** Il permet le passage ultérieur d'outils et d'équipements nécessaires à la production ou à l'abandon du puits en toute sécurité [2].

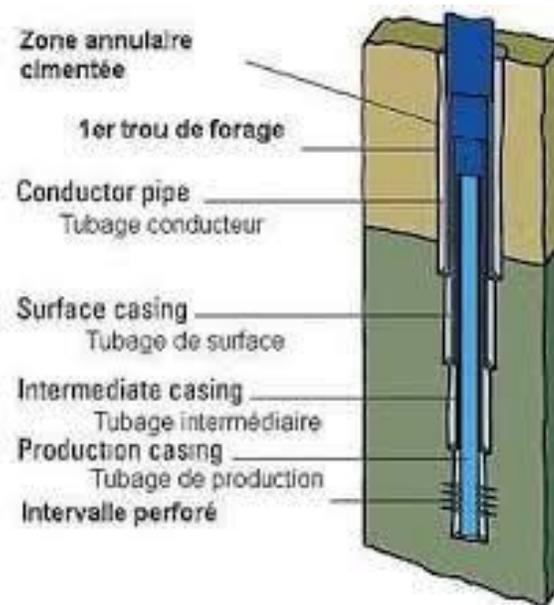


Figure 2 : Casing dans le forage

I.4. Les fluides de forage

Les fluides de forage, qui sont pompés depuis la surface jusqu'au fond du puits et récupérés ensuite, jouent un rôle essentiel dans la technologie actuelle de forage, remplissant les fonctions suivantes :

- Contrôle de la pression du puits en utilisant le poids des fluides pour empêcher les fluides de formation de pénétrer dans le trou.
- Élimination des débris de forage du fond du puits et leur remontée à la surface.
- Lubrification et refroidissement du tubage et du trépan.

On distingue généralement deux grandes catégories de boues de forage : les boues à base d'eau et les boues à base d'huile.

I.4.1. Boues à base d'eau : Ces boues contiennent divers produits, notamment des particules solides (souvent des argiles) pour augmenter la densité, ainsi que des produits chimiques adaptés aux conditions géologiques rencontrées. Certains produits chimiques utilisés dans

Chapitre I : généralités sur le forage.

la préparation des fluides de forage comprennent des viscosifiants tels que des argiles naturelles (comme les bentonites), des polymères synthétiques ou biopolymères, des réducteurs de filtrat, des inhibiteurs de gonflement et de dispersion des argiles, des agents alourdissant comme la barytine, la calcite, l'hématite ou la galène.

En raison de la variété de produits utilisés, il est important de noter que divers contaminants peuvent se retrouver dans les boues de forage, provenant à la fois des produits chimiques ajoutés et des déblais de forage générés.

Avantages des boues à base d'eau :

- Avantages en termes de sécurité, de santé et d'environnement.

Inconvénients des boues à base d'eau :

- Pénétration de l'eau dans les roches et les pores.
- Risque d'hydratation des argiles.
- Dissolution des sels, notamment les chlorures.
- Filtration dans les formations poreuses.
- Risque d'endommagement des formations.
- Possibilité de réaction avec les fluides de formation.

I.4.2. Boues à base d'huile

Ces boues sont spécialement composées pour s'adapter aux conditions géologiques rencontrées. Elles sont surveillées en continu par un ingénieur des fluides de forage pour maintenir leur homogénéité et leur stabilité.

Les composants principaux des boues à base d'huile incluent principalement le gazole, auxquels sont ajoutés des argiles organophiles, des agents réducteurs de filtrat, du chlorure de sodium (NaCl) et d'autres additifs spéciaux.

Chapitre I : généralités sur le forage.

Avantages des boues à base d'huile

- Contrôle facilité des caractéristiques en l'absence d'eau ou d'huile.
- Insensibilité aux contaminants des boues à base d'eau.
- Densité proche de 1 g/cm³.
- Réduction des frottements et amélioration de la durée de vie des outils de forage.
- Meilleure récupération en carottage et augmentation de la productivité.

Inconvénients des boues à base d'huile

- Sensibilité à l'eau et à certains composés.
- Impact environnemental.
- Manipulation salissante.
- Risque d'incendie et de détérioration des matériaux.
- Coût plus élevé que les boues à base d'eau[3].

I.4.3.Choix et programme de boue

Le choix des fluides de forage dépend des conditions géologiques et des contraintes spécifiques à chaque phase de forage. Chaque étape du processus de forage requiert l'utilisation d'un fluide de forage particulier ayant des caractéristiques distinctes [4].

Le programme de boue varie en fonction de l'évolution des opérations sur le terrain et de la qualité des formations rocheuses rencontrées. Selon les expériences tirées des forages précédents, la quantité totale de boue nécessaire est généralement estimée comme suit :

- 10 fois le volume total du trou foré pour la boue à base d'eau,
- 07 fois le volume total du trou foré pour la boue à base d'eau (KCL/polymère),
- 05 fois le volume total du trou foré pour la boue à base d'huile.

Chapitre I : généralités sur le forage.

Cette différence dans les coefficients de sécurité de la boue s'explique par deux principaux facteurs :

- Au début du forage, lorsque les formations géologiques sont très dures et que le diamètre du trou est plus grand, une quantité plus importante de boue est nécessaire.
- À mesure que le forage progresse en profondeur et que le trou devient plus petit en raison de formations poreuses plus proches, la pénétration est facilitée et la quantité de boue nécessaire diminue.

Les caractéristiques physiques des boues qui seront éventuellement utilisées dans les forages prévus sont répertoriées dans le tableau. [4].

- **Norme sur la boue de forage :** Une norme bien connue dans l'industrie pétrolière concernant les boues de forage est la norme API RP 13C, publiée par l'American Petroleum Institute (API). Cette norme établit des spécifications techniques pour les écrans de contrôle de solides utilisés dans les équipements de forage, y compris les spécifications de taille des mailles pour les écrans de tamisage des boues de forage. Elle vise à garantir des performances cohérentes et fiables des écrans pour optimiser l'efficacité des opérations de forage et la gestion des boues.

Chapitre I : généralités sur le forage.

Tableau 1 : programme de boue de forage

Type de boue	Boue à base d'eau (KCL/Polymère)	Boue à base d'eau	Boue à base d'huile		
Phase	26"	16"	12¼"	8½"	6"
Casing	18 5/8"	13 3/8"	9 5/8"	7"	4 1/2"
Profondeur cumulative (m)	400	2006	2700	3936	4288
Profondeur du trou (m)	400	1606	694	1236	352
Masse volumique de la boue (kg/L)	1.135	1.4	1.327	1.507	1.201
Coefficient de sécurité boue	7	10	5	5	5
Volume trou (m ³)	137	202	49	39	5
Volume boue (m ³)	959	2020	245	195	25
Volume total de boue pour l'ensemble des niveaux du puits (m ³)	3444				

Circulation de boue de forage

Le circuit de la boue de forage, également appelé système de boue de forage, est un élément essentiel dans le processus de forage pétrolier et gazier. Il est utilisé pour plusieurs fonctions clés pendant le forage et comprend plusieurs composants interconnectés. Voici les étapes typiques du circuit de la boue de forage

Préparation de la boue

La boue de forage est préparée dans une unité de préparation où des additifs chimiques sont mélangés à de l'eau pour créer une boue de forage adaptée aux conditions géologiques du puits.

Injection dans le puits

La boue préparée est injectée dans le puits de forage à travers une conduite appelée colonne de boue. Cette boue est utilisée pour refroidir les outils de forage, maintenir la pression dans le puits,

Chapitre I : généralités sur le forage.

transporter les déblais de forage à la surface, et stabiliser les parois du puits pour éviter les effondrements.

Retour de la boue : Une fois la boue de forage injectée dans le puits, elle remonte à la surface chargée des débris et des coupures de roche provenant du forage. Cette boue et les débris sont recueillis dans un réservoir appelé réservoir de boue ou réservoir de décantation.

Séparation des débris : les débris solides sont séparés de la boue. Des équipements de séparation comme des décanteurs et tamis vibrant sont utilisés pour éliminer les particules solides de la boue, permettant ainsi de réutiliser la boue pour le forage.

Contrôle des propriétés de la boue : Pendant ce processus, les propriétés de la boue sont surveillées et ajustées au besoin. Cela peut inclure le contrôle de la viscosité, de la densité, du pH et d'autres caractéristiques importantes pour garantir un forage efficace et sûr.

Recyclage et réutilisation : Une fois que les débris solides ont été séparés, la boue de forage est recyclée et réinjectée dans le puits pour continuer le processus de forage. Ce recyclage réduit les coûts et minimise l'impact environnemental en limitant la quantité de boue de forage nécessaire.

En résumé, le circuit de la boue de forage est un système complexe mais crucial qui permet de maintenir la stabilité du puits, de refroidir les outils de forage, d'évacuer les déblais et de faciliter le processus de forage dans l'industrie pétrolière et gazière.

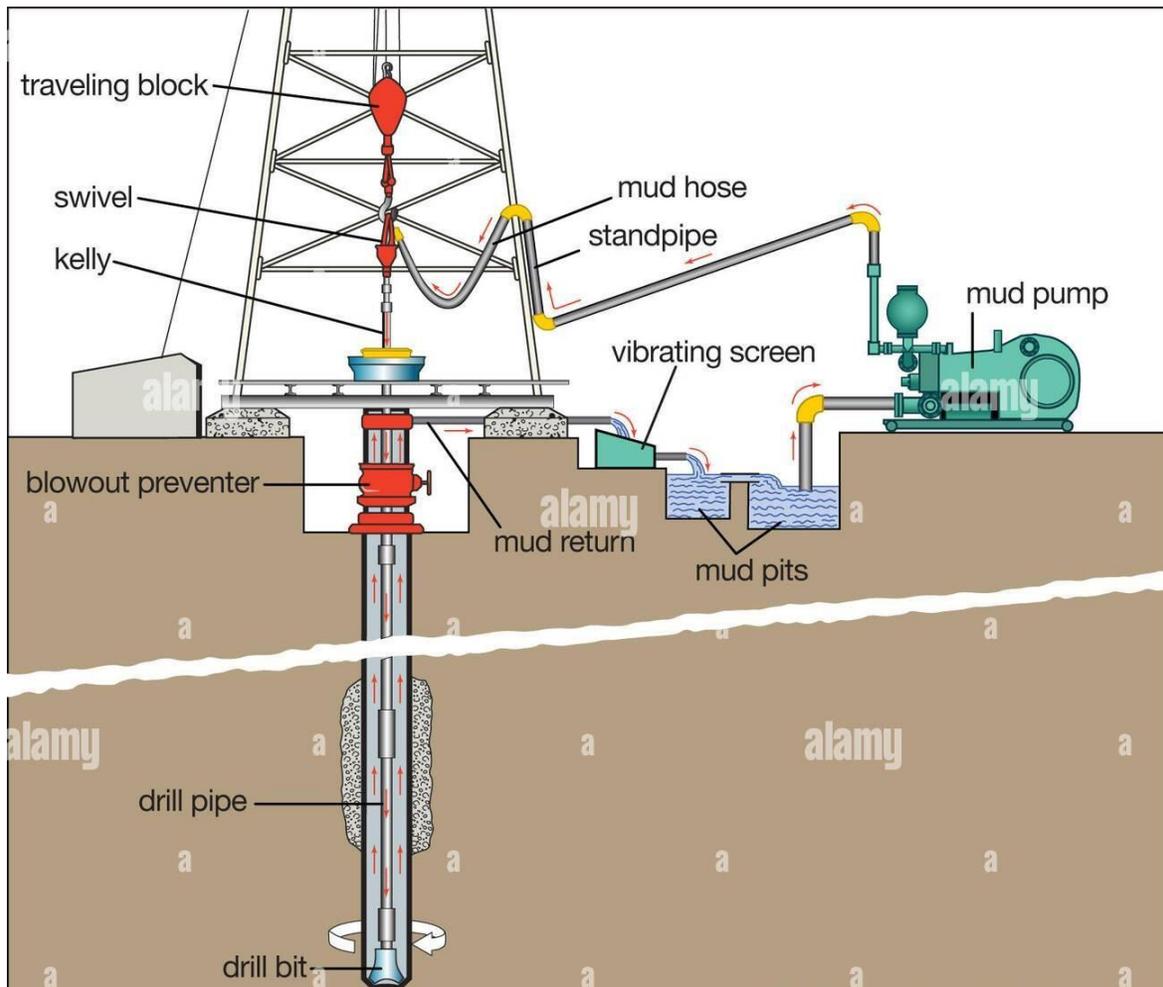


Figure 3 : Circulation de boue de forage [5].

I.4.4. Les principales méthodes de traitement de la boue de forage comprennent

➤ Tamisage et séparation

- La boue est passée à travers des tamis vibrants ou rotatifs pour éliminer les déblais de grande taille (roches, fragments de formation).
- Des hydrocyclones ou des centrifugeuses peuvent être utilisés pour séparer les particules fines (argile, silt) en fonction de leur densité et de leur taille.

Chapitre I : généralités sur le forage.

➤ **Dégazage**

- Le gaz naturel présent dans la boue peut être éliminé par dégazage sous vide ou par des équipements de dégazage atmosphérique.
- Le dégazage permet de réduire le risque d'éruptions gazeuses et d'améliorer la stabilité de la boue.

➤ **Enjeux du traitement de la boue de forage**

Le traitement efficace de la boue de forage est crucial pour plusieurs raisons:

- **Efficacité du forage** : Une boue aux propriétés adéquates permet un forage plus rapide et plus efficace, réduisant ainsi les coûts et les risques.
- **Stabilité du puits** : La boue maintient la stabilité des parois du puits, empêchant les effondrements et les éruptions incontrôlées.
- **Protection de l'environnement** : Le traitement de la boue permet de minimiser l'impact environnemental des opérations de forage en réduisant la contamination des sols et des eaux souterraines.
- **Sécurité des opérations** : Une boue correctement traitée contribue à la sécurité des travailleurs en réduisant les risques d'accidents liés aux éruptions, aux explosions et aux effondrements de puits[3].

I.5. Délimitation de la zone d'étude.

Le périmètre de prospection Hassi Terfa est situé sur la zone nord de Hassi Messouad.

Le périmètre d'étude est rattaché administrativement à la wilaya d'Ourgla.

Le gisement, de dimensions 15 x 10 km, est situé dans le Sahara algérien, Latitude: 31° 58' 54" N Longitude: 6° 6' 19" E Ce gisement présente une structure en dôme anticlinal, largement héritée de la phase orogénique hercynienne dont le paroxysme s'est produit à la fin du Paléozoïque.

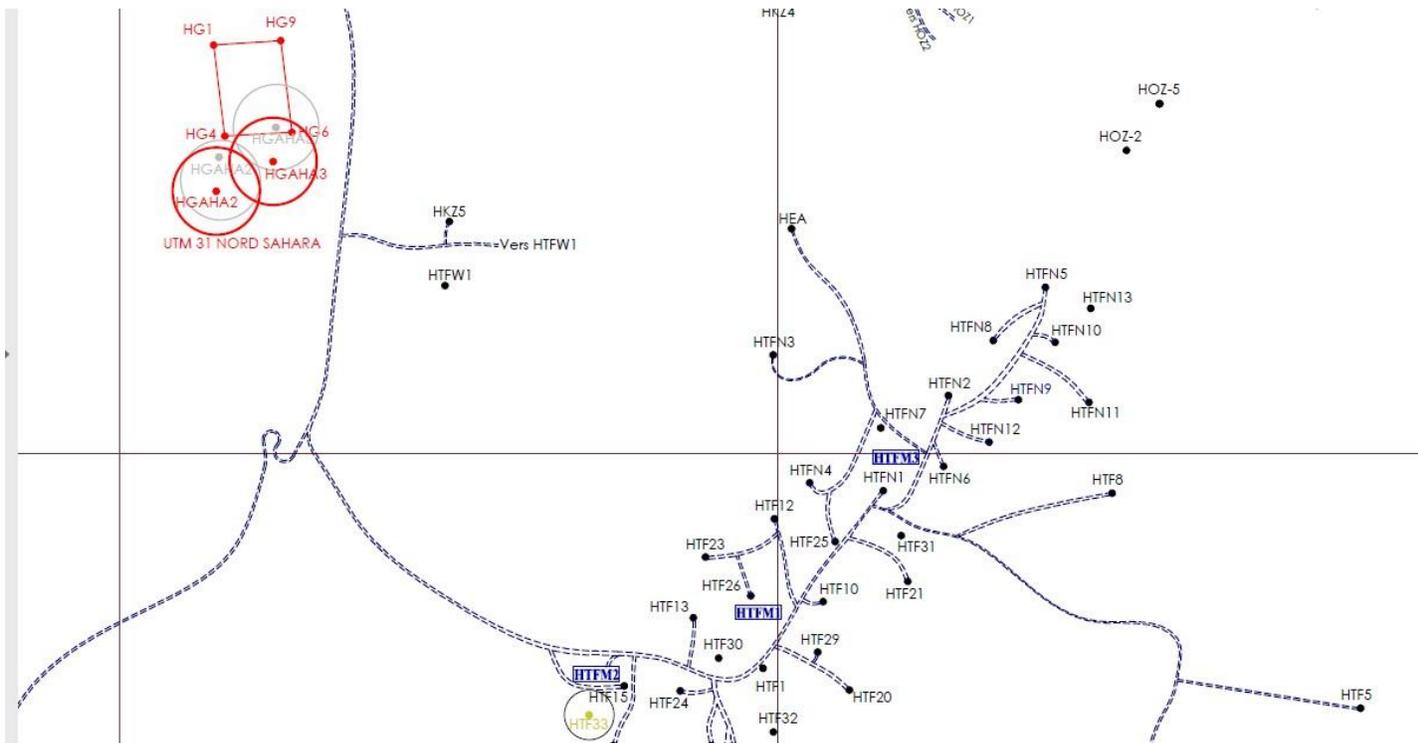


Figure 4 : Plan de position du périmètre de Hassi Terfa et situation du puits HTF 15.

I.5.1. Description de l'état du périmètre et son environnement

Hassi Tarfa possède un climat tempéré méditerranéen à été chaud et sec (Csa) selon la classification de Köppen-Geiger. Sur l'année, la température moyenne à Hassi Terfa est de 23.4°C et les précipitations sont en moyenne de 140.4mm. À titre de comparaison à Alger, la température moyenne annuelle est de 19.7°C et les précipitations sont en moyenne de 672.3mm.

I.5.2.HISTORIQUE MÉTÉO À HASSI TERFA

- **Température et pluviométrie à Hassi Terfa :**

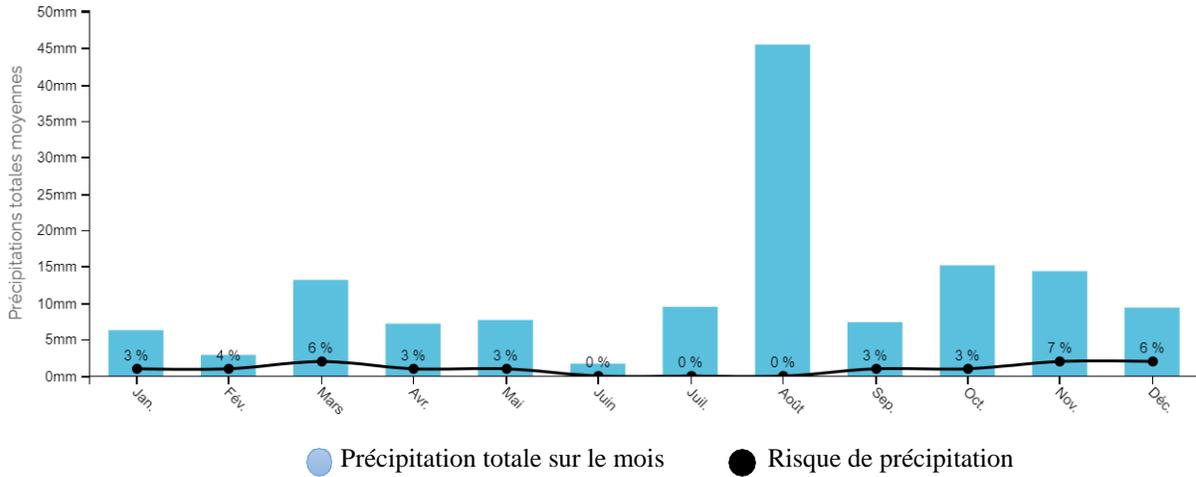


Figure 5 : Précipitations mensuelles moyennes.

Des précipitations moyennes de 1.7mm font du mois de Juin le mois le plus sec. En Août, les précipitations sont les plus importantes de l'année avec une moyenne de 45.5mm [6].

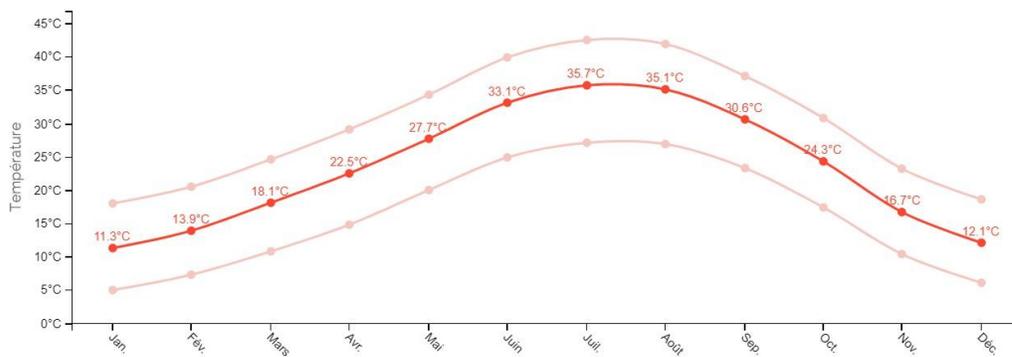


Figure 6 : Températures moyennes mensuelles.

Chapitre I : généralités sur le forage.

Au mois de Juillet, la température moyenne est de 35.7°C. Juillet est de ce fait le mois le plus chaud de l'année. Janvier est le mois le plus froid de l'année. La température moyenne est de 11.3°C à cette période.

Le record de chaleur est de 54°C enregistré le samedi 3 juillet 1993 et le record de froid de -2°C enregistré le jeudi 12 janvier 1995 [7].

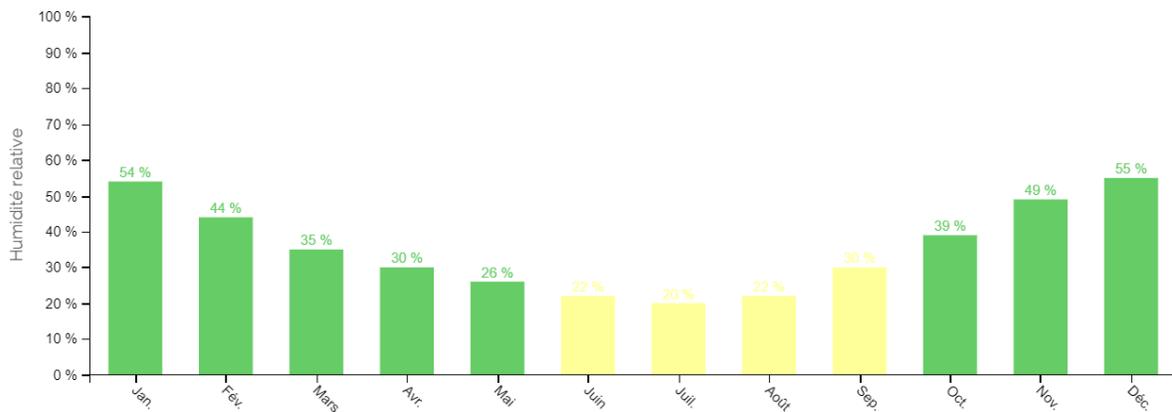


Figure 7 : Taux d'humidité relative et inconfort par rapport à la température[8].

I.5.3. Description de chantier de forage

Un chantier de forage est un environnement dynamique et complexe où se côtoient de nombreux éléments, tant naturels qu'artificiels. La description précise de l'environnement d'un tel chantier peut varier en fonction de divers facteurs, tels que le type de forage (exploration pétrolière, géothermie, forage d'eau, etc.), la localisation géographique, la topographie du terrain et les réglementations en vigueur.



Figure 8 : le chantier de forage [9].

I.5.4. Le camp de vie

Le camp de vie sur un chantier pétrolier est une installation temporaire où résident les travailleurs pendant qu'ils effectuent leurs tâches sur le site pétrolier. Situé 200 m sur le rig.

Voici quelques aspects typiques d'un camp de vie sur un chantier pétrolier :

- **Hébergement :**

Il comprend généralement des dortoirs ou des logements temporaires pour les travailleurs. Ces logements peuvent être des chambres individuelles ou partagées en fonction de la politique de l'entreprise.

- **Cantine :**

Un réfectoire ou une cantine est souvent présent pour fournir les repas aux travailleurs. Ces repas peuvent être préparés sur place ou être livrés par des services de restauration.

Chapitre I : généralités sur le forage.

- **Installations de loisirs :**

Pour le bien-être des travailleurs, il peut y avoir des salles de loisirs avec des équipements tels que des télévisions, des tables de billard, des consoles de jeux, etc.

Services de santé :

Des services de santé de base peuvent être disponibles sur place, comme une infirmerie ou un centre médical pour les soins d'urgence.

- **Services de blanchisserie :**

Des installations de blanchisserie peuvent être fournies pour que les travailleurs puissent laver leurs vêtements.

- **Transport :**

Des navettes ou des moyens de transport sont souvent organisés pour emmener les travailleurs du camp au site de travail et vice versa.

- **Sécurité :**

La sécurité est une priorité, donc des mesures telles que des patrouilles de sécurité et des contrôles d'accès peuvent être mises en place.

- **Services de communication :**

Des moyens de communication comme des téléphones, des ordinateurs avec accès à Internet peuvent être fournis pour que les travailleurs restent en contact avec leurs proches.



Figure 9 : le camp de vie [9].

I.5.5. Situation géologique

Le champ de Hassi-Messaoud occupe la partie centrale de la province triasique. Par sa superficie et ses réserves, il est le plus grand gisement de pétrole d'Algérie qui s'étende sur près de 2200 km² de superficie, Il est limité :

Au Nord-Ouest par les gisements d'Ouargla, Gellala, Ben Kahla et Haoud Berkaoui

Au Sud-Ouest par les gisements d'El Gassi, Zotti et El Agreb.

Au Sud-Est par les gisements; Rhourde El Baguel et Mesdar.

A l'Ouest par la dépression d'Oued M'ya.

Au Sud par le môle d'Amguid El Biod.

Au Nord par la structure Djammâa-Touggourt.

- **Stratigraphie du Hassi Messaoud**

Sur la dorsale de Hassi Messaoud une bonne partie de la série stratigraphique est absente, en allant vers la périphérie du champ, la série devient plus complète. Ce sont les dépôts du Paléozoïque

Chapitre I : généralités sur le forage.

reposant sur un socle granitique, qui ont été érodés au centre de la structure au cours de la phase hercynienne, les dépôts mésozoïques reposent en discordance sur le Cambro-Ordovicien.

LE SOCLE : Rencontré à la profondeur de 4000 mètres, il est formé essentiellement de granite porphyroïde rose.

- **LE PALEOZOIQUE :**

L'infra-Cambrien : C'est l'unité lithologique la plus ancienne rencontrée par les forages de la région notamment au Nord de la structure. Il est constitué de grès argileux rouge. Sur le socle, les formations paléozoïques reposent en discordance ; c'est la discordance panafricaine.

Le Cambrien : Essentiellement constitué de grès hétérogènes, fins à très grossiers entrecoupés de passées de siltstones argilo-micacés.

L'Ordovicien : On distingue de la base au sommet quatre (4) unités lithologiques :

Zone des alternances : Son épaisseur moyenne est de 20 mètres. Désignée ainsi en raison de la présence de nombreuses passées d'argiles indurées alternantes avec des bancs quartzites fins isométriques.

Argile d'El Gassi : Son épaisseur moyenne est d'environ 50 mètres. Cette formation est constituée d'argile schisteuse, indurée présentant une couleur verte à noire, rarement rouge. Cette argile peut être glauconieuse ou carbonatée présentant une faune (grapholites) indiquant un milieu de dépôts marin. Cette formation est surtout rencontrée sur les zones périphériques du champ.

Les grès d'El Atchane : Son épaisseur moyenne varie de 12 à 25 mètres. Cette formation est constituée de grès fin à très fin, de couleur gris-beige à gris-sombre. Ce grès peut être argileux ou glauconieux admettant de nombreuses passées argileuses et silteuses .

Les quartzites de Hamra : Son épaisseur moyenne varie de 12 à 75 mètres. Ce sont des grès quartzitiques fins, à rares intercalations d'argiles.

LE CENOZOIQUE :

Son épaisseur moyenne est de 360 mètres. Il est constitué de calcaire dolomitique à l'Eocène et d'un recouvrement de type sableux au Mio-Pliocène.

Chapitre I : généralités sur le forage.

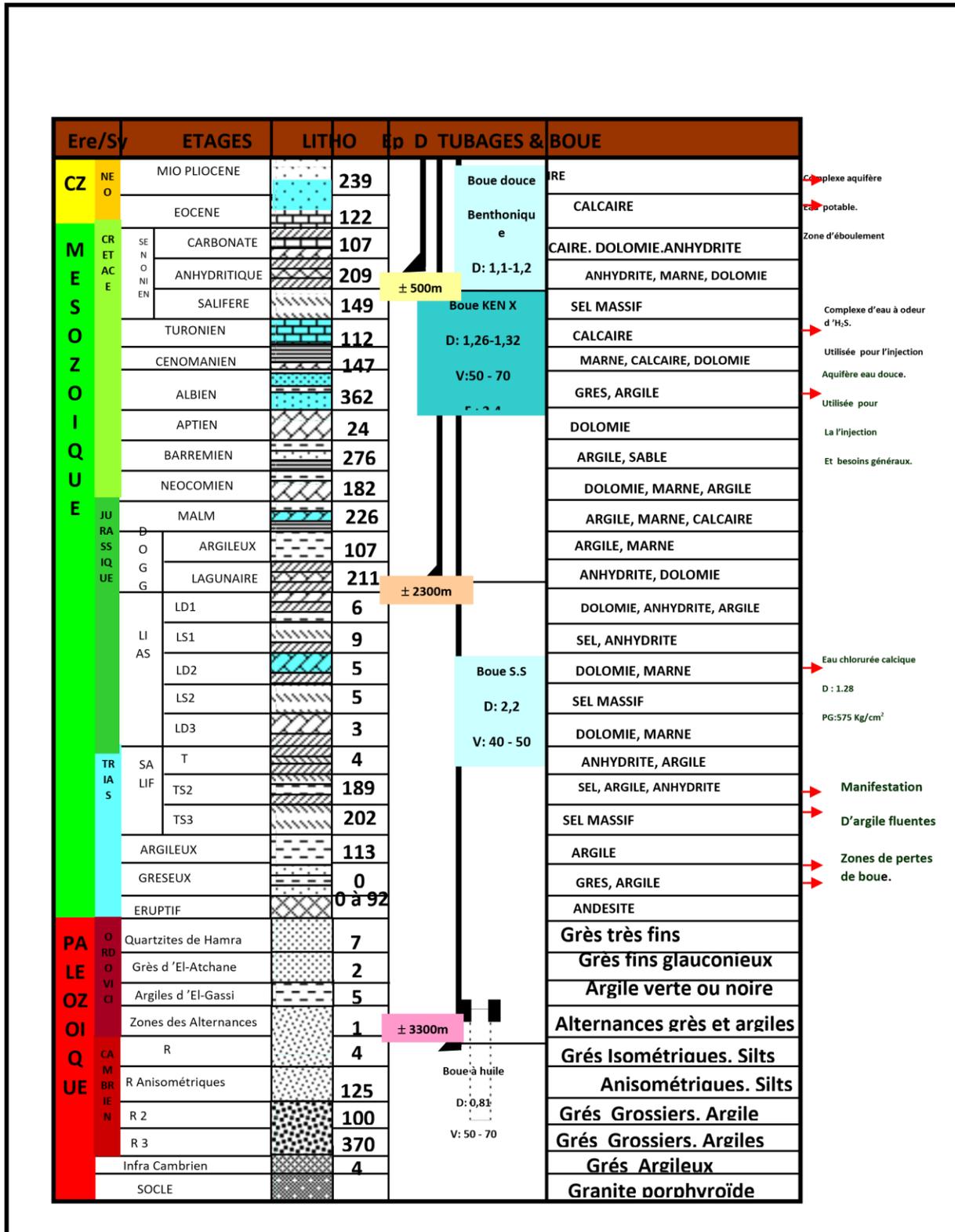


Figure 10 : Stratigraphie géologique

Chapitre I : généralités sur le forage.

- **Le Système Aquifère du Sahara Septentrional**

Se compose de deux aquifères principaux : le Complexe Terminal et le Continental Intercalaire, ce dernier étant plus profond. Ce système s'étend sur trois pays, à savoir l'Algérie (60 % de sa superficie), la Tunisie (10 %) et la Libye (30 %). Le Continental Intercalaire est visible au Nord-Ouest le long de l'Atlas Saharien, ainsi qu'au Nord-Est sur le Dahar et le Djebel Neffusa. Vers le Sud, il est présent le long des formations sédimentaires du Paléozoïque.

Une étude menée par l'Observatoire du Sahara et du Sahel entre 2000 et 2002 a identifié près de 9000 points d'eau (forages et sources) exploitant ces deux aquifères : 3500 captent l'eau du Continental Intercalaire et 5300 celle du Complexe Terminal, avec un prélèvement annuel de 2.2 milliards de mètres cubes. Cette exploitation intensive d'aquifères à ressource non renouvelable a eu des conséquences telles que des baisses significatives du niveau piézométrique, un affaiblissement de l'artésianisme et un tarissement des foggaras.

Face à ces défis, les trois pays concernés ont engagé une concertation qui a abouti à un projet de gestion commune du SASS et à la mise en place d'un modèle de gestion.

- **Hydrogéologie locale**

Le Bloc est placé sur le continental intercalaire, qui se trouve dans des dépôts Mésozoïques (aussi nommé l'aquifère Albién), et qui couvre une superficie de 840 000 km².

Les eaux souterraines revêtent une grande importance dans cette région et font l'objet d'une gestion minutieuse à la fois au niveau local et stratégique. Ces eaux sont obtenues à partir de puits profonds forés grâce à des techniques modernes, mais également par le biais du système de

foggaras et de puits peu profonds forés de manière traditionnelle (Komex, 2003).

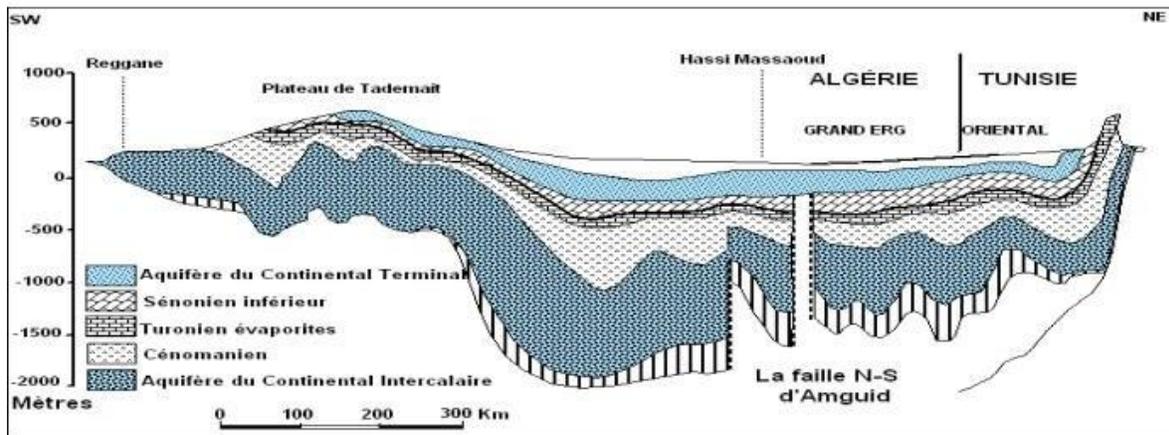


Figure 11 : Aquifère Continental Intercalaire de region sahara. [10].

Les aquifères de Hassi Messaoud fait partie de système aquifère du Sahara septentrional (SASS), ce dernier est composé d'une superposition de deux principales couches aquifères; la formation du Continental Intercalaire, CI, la plus profonde et celle du Complexe Terminal, CT.

I.6.Milieu biologique

Description de la faune et la flore à l'échelle locale :

La rudesse et l'hostilité de l'environnement saharien n'ont pas empêché l'installation d'un système faunistique riche et varié à la fois, qui a su comment s'imposer et s'adapter aux changements des composantes environnementales au fil du temps et cela malgré la rareté de la nourriture, l'eau et la protection (habitat).

Les populations de faune au Sahara sont caractérisées par :

- Une faible densité ;
- Un style de vie nocturne pour la plupart ;
- Une couleur de peau qui se confond avec celle du sol ;

**Chapitre II : les impacts de
l'activité de forage sur
l'environnement et les eaux
souterraine**

Introduction

Pour pouvoir identifier les aspects environnementaux et leur impact il faut : Le découpage de système Pour faire une étude ou une analyse, on doit avoir des informations détaillées sur le système ou le site étudié. Ces informations sont la clé pour mieux connaître ce qu'on doit faire, et ça ce qu'on appelle la collecte des données.

Une fois que nous comprenons le fonctionnement du système, nous pouvons alors identifier les entrées et sorties de chaque activité. Cette étape d'identification des besoins est cruciale car elle nous permet de rechercher toutes les entrées et sorties du système, ce qui nous aide à repérer les aspects environnementaux susceptibles de causer un ou plusieurs impacts. Les données pertinentes nécessaires à cette étape sont présentées dans le schéma ci-dessous, qui représente un bilan des matières du système.

II. Identification des impacts de l'activité de forage sur l'environnement



Figure 12 : Diagramme des flux (activité de forage)

II.1. Les aspects environnementaux et leurs impacts

II.1.1. Les sources d'émissions de gaz

Voici un détail des sources d'émissions atmosphériques de polluants générés par les diverses activités du projet, notamment le forage et les tests de production du puits :

- **Émissions de gaz d'échappement**

Les machines utilisées sur le site de forage, telles que les générateurs électriques, les compresseurs, les véhicules et les équipements lourds, produisent des gaz d'échappement contenant des polluants comme le dioxyde de carbone (CO₂), le monoxyde de carbone (CO), les oxydes d'azote (NO_x) et les composés organiques volatils (COV)[11].

Les engins et véhicules en question sont principalement les camions qui transportent les équipements et les approvisionnements, ainsi que les véhicules utilisés pour le transport du personnel.

Tableau 2 : émissions de gaz des engins et des véhicules de site Enafor 47.

VEHICULES	Kilometrage		kilométrage
	début de mois	fin de mois	parcouru
TOYOTA HILUX	105100	117177	12,077
Ambulance toyota	4277	4356	79
toyota Hiace	358920	366737	7,817

ENGINS	début de mois	Fin du mois	heures
			travaillées
CHARIOT ELEVATEUR	15,080	15,471	391
MOTOPOMPE RIG : SIDES 604030072	1,247	1,279	32
MOTOPOMPE CAMP : POVALE	sans compteur		
GRUE GROVE	20,312	20,629	317

Les groupes électrogènes sont employés afin de produire l'électricité requise pour alimenter l'appareil de forage, les équipements et les dispositifs utilisés à chaque étape du projet, ainsi que pour répondre aux besoins des camps de base tels que l'éclairage, la climatisation, le matériel informatique, etc.

Pendant les travaux de forage, le carburant est utilisé à la fois pour la production d'électricité (via un groupe électrogène) et pour alimenter les engins et véhicules indispensables. On estime que ces besoins s'élèvent à environ 121 m³ de carburant.

Voici un tableau qui montre toutes les ressources nécessaires pour avancer le travail au chantier.

Tableau 3 : consommation des ressources et matière et énergie par Caterpillar.

RESSOURCES / MATIERE

CONSOMMATION	CAMP	RIG	TOTAL
CONSOMMATION GAS OIL (litres)	24,800	96,200	121,000
CONSOMMATION EAU INDUSTRIELLE (Litre)	696,000	1,243,000	1,939,000
CONSOMMATION EAU MINERALE (Litres)	12,000	0	12,000
CONSOMMATION HUILES (litres)		200	200
CONSOMMATION GRAISSE (Kgs)		45	45

Tableau 4 : Carburants consommés pendant le forage de site Enafor 47 dans l'année 2023.

	Type	nombre d'engin	distance parcourue	consomation en diesel	consomation totale
forage	Groupe électrogène	4 + 2 en standby	50 (L/Jour/groupe)	121m3
	Vehicule transporteurs	7	19973km	30(L/100km)	22.46m3
	Total	13	323.58L/jour	143.46m3

• **Émissions fugitives**

Il s'agit de toutes les émissions résultant des déversements accidentels, des fuites d'équipement, des pertes lors du remplissage et des fuites dans les pipelines. Les fuites de gaz peuvent se produire à partir des équipements de forage, des réservoirs de stockage, des systèmes de transfert et de distribution entraînant des émissions de méthane principalement. [12].

Trois sources d'émissions fugitives sont identifiables dans le cadre du projet :

- Les émissions fugitives de poussières, susceptibles de se produire lors de diverses opérations sur site telles que la préparation de boue, le nivellement, la préparation et la restauration du site, etc.
- Les fuites provenant de certaines parties des procédés, telles que des ouvertures de citernes pendant les opérations de chargement ou de déchargement, les stockages de produits gazeux, liquides ou solides, les bassins de décantation, les événements et les bacs à boue.

- Les fuites réelles provenant d'une variété d'équipements : les fuites au niveau des tuyauteries (joints aux brides), des machines en rotation (pompes, compresseurs, etc.), des vannes ou des soupapes utilisées pour les gaz ou les fluides plus ou moins volatils.

- **Émissions de brûlages à la torche**

Lorsque du gaz naturel est brûlé à la torche pour des raisons de sécurité ou pour éliminer les gaz associés indésirables, brûlage à la torche peut être une source significative d'émissions de polluants atmosphériques, cela entraîne des émissions de CO₂ et d'autres polluants [13].

Le torchage est un gaspillage monumental d'une ressource naturelle précieuse qui devrait être utilisée à des fins productives, telles que la production d'électricité. Le torchage du gaz naturel en Algérie a été responsable de 15,33 mégatonnes d'émissions de dioxyde de carbone (CO₂) en 2021. Au cours de la période observée, un pic de plus de 17,5 mégatonnes de CO₂ a été enregistré en 2020. Au total, 3,2 milliards de mètres cubes de gaz naturel ont été brûlés à la torche dans le pays en 2020. Ce niveau élevé de torchage de gaz en Algérie pourrait menacer notre marché d'exportation de gaz vers son principal marché. En effet, l'Europe s'apprête à mettre en place son mécanisme d'ajustement des émissions de carbone aux frontières. L'Algérie a de nombreux avantages à assainir l'industrie pétrolière et gazière et à réduire le brûlage de gaz à la torche. En réduisant le torchage du gaz, l'Algérie pourrait générer des revenus pour réinvestir dans des sources d'énergie à faible émission en carbone et jouer un rôle clé dans la transition énergétique. [13].

Au niveau réglementaire, l'Algérie a amendé **une loi en 2019, la loi n°19-13**, qui interdit le brûlage à la torche et le dégazage, sauf sous certaines conditions, mais ne précise pas d'objectif ou de limite.



Figure 13 : Torche

- **Quantifications des émissions dans l'air du projet**

- **Émissions de gaz à effet de serre (GES) :**

Les émissions de gaz à effet de serre (GES) liées au forage pétrolier peuvent provenir de plusieurs sources tout au long du processus d'exploration, d'extraction et de traitement du pétrole. Voici un aperçu des principales sources d'émissions de GES associées au forage pétrolier .

- **Émissions directes de CO₂ :**

Lors de l'exploitation pétrolière, des quantités significatives de dioxyde de carbone (CO₂) sont libérées directement dans l'atmosphère. Ces émissions proviennent généralement de l'utilisation de carburants fossiles dans les équipements de forage, tels que les foreuses, les générateurs et les véhicules nécessaires aux opérations sur le site.

- **Émissions de méthane (CH₄) :**

Le méthane est un GES plus puissant que le CO₂ en termes de potentiel de réchauffement climatique sur une période de temps courte. Les fuites de méthane peuvent se produire pendant le processus de forage, notamment lors du stockage et du transport du gaz naturel associé au pétrole extrait.

➤ **Émissions de composés organiques volatils (COV) :**

Les COV peuvent provenir des carburants utilisés, des produits chimiques de forage et d'autres sources sur le site.

Les émissions de composés organiques volatils (COV) dans le contexte du forage pétrolier sont une préoccupation majeure en raison de leurs effets potentiels sur la qualité de l'air, la santé humaine et l'environnement. Les COV sont des composés chimiques organiques qui peuvent s'évaporer facilement dans l'air à température ambiante.

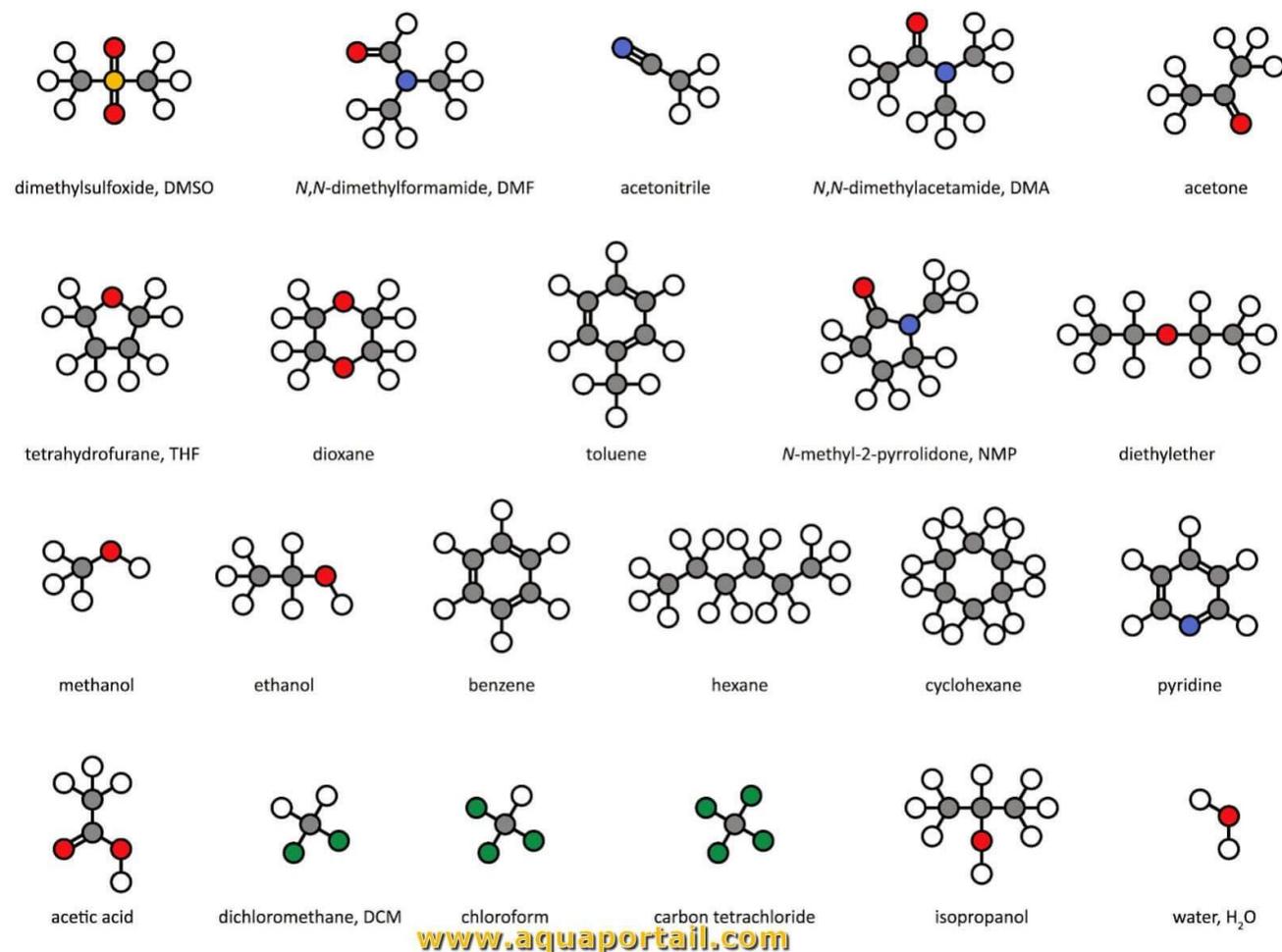


Figure 14 : Plusieurs COV (composés organiques volatils).

➤ Sources d'émissions de COV :

Les émissions de COV dans le forage pétrolier peuvent provenir de plusieurs sources, notamment :

- ✓ L'utilisation de solvants, de fluides de forage et d'autres produits chimiques dans les opérations de forage et de complétion des puits.
- ✓ Les fuites lors du stockage, de la manipulation et du transport des hydrocarbures.
- ✓ Les émissions provenant des équipements de production et de traitement du pétrole et du gaz, y compris les émissions fugitives des équipements.

➤ Mesures de réduction des émissions de COV :

Pour réduire les émissions de COV dans le cadre du forage pétrolier, plusieurs mesures peuvent être prises, telles que :

Utiliser des technologies et des produits chimiques moins volatils et moins toxiques dans les opérations de forage.

Mettre en place des systèmes de contrôle des émissions fugitives et des équipements de récupération des vapeurs.

Suivre des pratiques de gestion environnementale rigoureuses pour minimiser les fuites et les pertes de produits chimiques.

Appliquer des normes et des réglementations strictes concernant les émissions de COV dans l'industrie pétrolière.

Les émissions de COV sont un aspect important à prendre en compte lors de l'évaluation des impacts environnementaux et sanitaires du forage pétrolier. Des mesures de prévention et de contrôle sont nécessaires pour réduire ces émissions et atténuer leurs effets sur l'air, la santé et l'environnement.

- ✓ Particules en suspension (PM) : Mesurer les niveaux de PM10 (particules de diamètre inférieur à 10 micromètres) et PM2,5 (particules de diamètre inférieur à 2,5 micromètres) provenant des activités de forage et de la circulation des véhicules.

- ✓ Oxydes d'azote (NOx) et dioxyde de soufre (SO2) : Ces polluants peuvent être émis par les moteurs diesel, les équipements de combustion et les processus industriels sur le chantier.
- ✓ Particules métalliques : Surveiller les émissions de métaux lourds tels que le plomb, le mercure et le cadmium provenant des activités de forage et des équipements utilisés.
- ✓ Émissions de poussières : Mesurer les niveaux de poussières fines et grossières générées par les opérations de forage, le mouvement des sols et d'autres activités connexes.
- ✓ Composés chimiques spécifiques : Surveiller les émissions de produits chimiques spécifiques utilisés dans le processus de forage, tels que les fluides de forage, les additifs chimiques et les lubrifiants.

Ces quantifications peuvent être réalisées à l'aide de capteurs et d'instruments de surveillance installés sur le site de forage. Les données obtenues peuvent ensuite être utilisées pour évaluer la conformité aux réglementations environnementales, mettre en œuvre des mesures d'atténuation des impacts et suivre les progrès dans la réduction des émissions.

Tableau 5 : Estimation des émissions atmosphériques durant le projet.

	Cat #1	Cat #2	Cat #3	Cat #4	EMRGNCY	CAMP	CAMP	VIGIL	totale
Type	3512	3512	3512	3512		C35N°01	C35N°02		kgs/mois
Puissance (HP)									0
Nbre Heure travaillée	338	294	207	219	220	1015	543		2,836
PM₁₀	0.11	0.09	0.07	0.07	0.07	0.32	0.17	0.00	0.90
SO₂	0.06	0.05	0.04	0.04	0.04	0.18	0.10	0.00	0.51
NO_x	3.68	3.20	2.25	2.38	2.39	11.05	5.91	0.00	30.87
VOC	0.11	0.09	0.07	0.07	0.07	0.32	0.17	0.00	0.90
CO	0.84	0.73	0.52	0.55	0.55	2.53	1.35	0.00	7.08

Commentaire : D'après les valeurs totales classe dans le tableau en remarque que les Nox présente la quantité la plus importante de **30,87** kg/mois.

Les NOx se forment lorsque l'azote de l'air réagit avec l'oxygène à haute température pendant la combustion. Ils comprennent principalement le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO2). Les NOx contribuent à la formation de l'ozone troposphérique et des particules fines, qui sont des polluants atmosphériques nocifs pour la santé humaine et l'environnement. Ils peuvent également entraîner l'acidification des sols et des eaux.

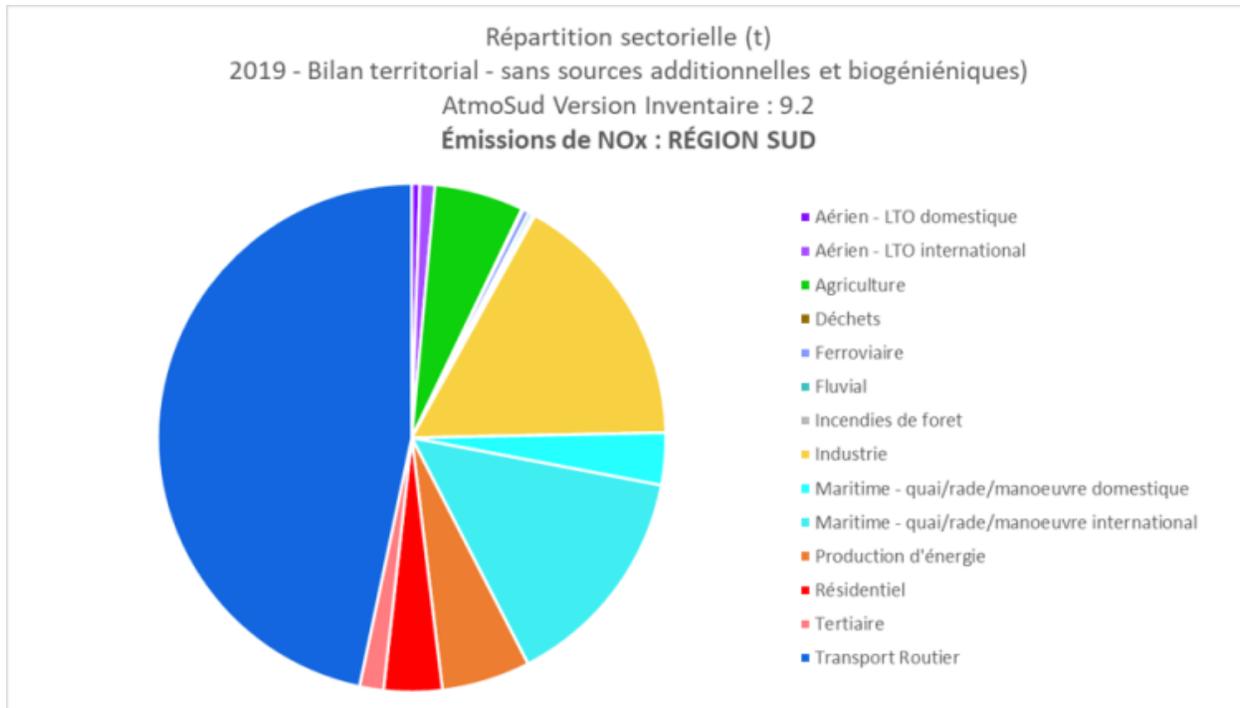


Figure 15 : les émissions du Nox région sud.

- **Les impacts des émissions de gaz sur l'environnement**

- **Changements climatiques :**

Les gaz à effet de serre, comme le dioxyde de carbone (CO2) et le méthane (CH4), contribuent au réchauffement climatique en piégeant la chaleur dans l'atmosphère, ce qui entraîne des changements climatiques tels que l'élévation des températures, la fonte des glaciers et l'augmentation du niveau de la mer[14].

➤ **Qualité de l'air :**

Les émissions de gaz provenant des activités industrielles peuvent conduire à la pollution de l'air, avec des conséquences néfastes sur la santé humaine et sur les écosystèmes. Par exemple, les oxydes d'azote (NOx) et les composés organiques volatils (COV) contribuent à la formation de smog et de polluants atmosphériques[13].

➤ **Dégradation de l'écosystème :**

Certains gaz, comme le dioxyde de soufre (SO₂) et les oxydes d'azote (NOx), peuvent causer l'acidification des sols et des eaux, ce qui affecte la santé des écosystèmes terrestres et aquatiques, y compris la biodiversité [15].

Les oxydes d'azote (NOx) et le dioxyde de soufre (SO₂) sont tous deux des polluants atmosphériques provenant principalement de la combustion de combustibles fossiles tels que le charbon, le pétrole et le gaz naturel. Ils sont produits en grandes quantités par les véhicules, les centrales électriques, les installations industrielles et les processus de chauffage.

Le dioxyde de soufre (SO₂) est généré lors de la combustion de combustibles contenant du soufre, comme le charbon et certains types de pétrole. Il est également émis par les volcans. Le SO₂ peut causer des problèmes respiratoires et contribuer à l'acidification des sols et des eaux, ainsi qu'à la formation de pluies acides.

➤ **Eutrophisation :**

Les émissions de certains gaz peuvent conduire à l'eutrophisation des écosystèmes aquatiques, favorisant la prolifération d'algues et réduisant la qualité de l'eau, ce qui peut entraîner des effets néfastes sur la faune et la flore aquatiques [16].

L'eutrophisation est un processus qui se produit lorsqu'il y a un excès de nutriments dans un environnement aquatique, en particulier des composés tels que les nitrates et les phosphates. Ces nutriments peuvent provenir de diverses sources, y compris les émissions de gaz et d'autres activités humaines

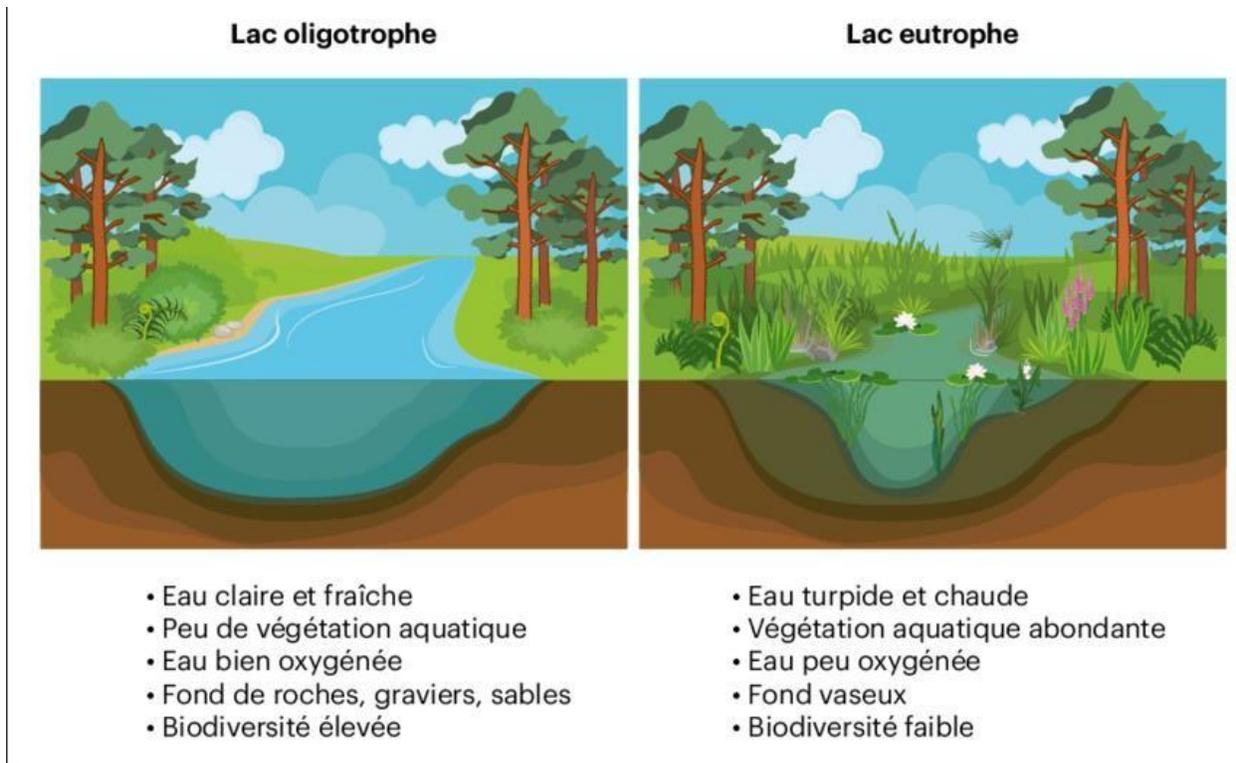


Figure 16 : Eutrophisation.

II.2. Les impacts des déblais de forage sur l'environnement, les sols et eaux souterraines

Les déblais de forage, ou "cuttings", sont des débris solides résultant des opérations de forage pour l'extraction de ressources comme le pétrole ou le gaz. Ces déblais peuvent comprendre divers éléments en fonction des caractéristiques géologiques du site, Ils comprennent des roches broyées, de la boue de forage et des débris métalliques. Ces déblais peuvent impacter l'environnement en contaminant les sols, l'eau et l'air. Des techniques de forage utilisées et des opérations spécifiques impliquées dans l'industrie pétrolière [20].

II.2.1. Généralités sur les déblais

- **Composition**

Les déblais de forage pétrolier peuvent contenir une gamme de matériaux, y compris des roches, des sédiments, des résidus de fluides de forage (boues de forage), des particules métalliques provenant des outils de forage, des résidus d'hydrocarbures, des produits chimiques utilisés dans le processus de forage, etc.

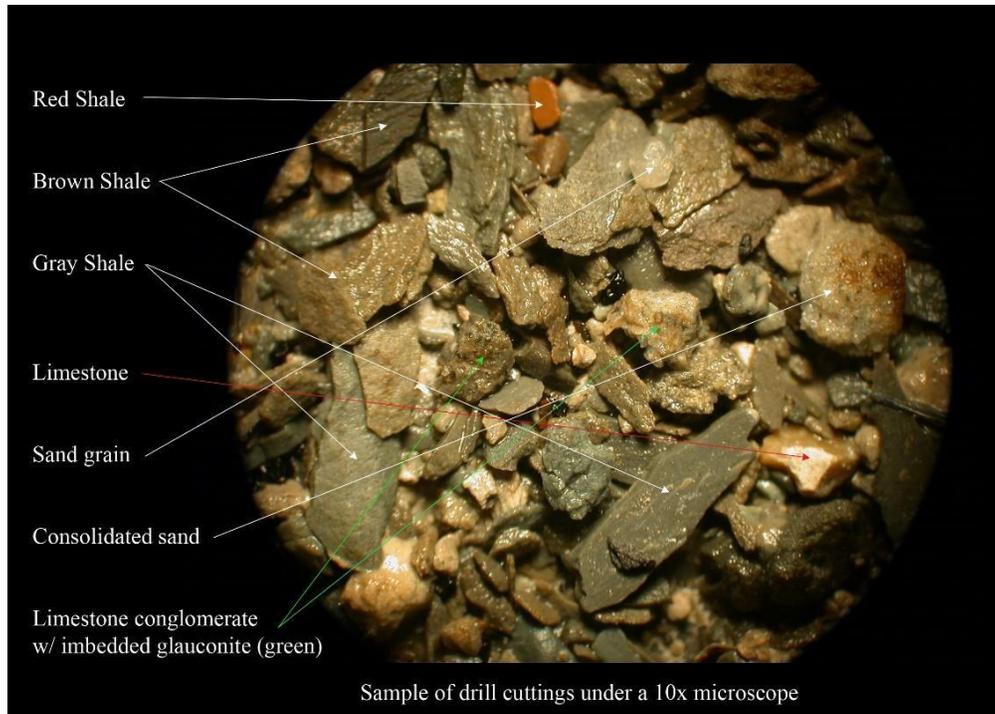


Figure 17 : Composition de déblais de forage

- **Quantité produite**

La quantité de déblais générée dépend de divers facteurs tels que la profondeur du forage, le diamètre du trou de forage, la densité des formations géologiques traversées et la quantité de fluide de forage utilisée. Les opérations de forage pétrolier peuvent générer d'importantes quantités de déblais nécessitant une gestion appropriée.

Tableau 6 : Estimation de quantité de déblais de forage

Trou (")	26"	16"	12¼"	8½"	6"
Profondeur du trou(m)	400	1606	694	1236	352
Volume trou (m3)	137	202	49	39	5
Coefficient de foisonnement	0,5	2	2	2	2
Volume des déblais (m3)	69	404	98	78	10

- **Gestion des déblais**

La gestion des déblais de forage pétrolier est essentielle pour minimiser les impacts environnementaux. Cela peut impliquer le tri et la séparation des matériaux pour la réutilisation ou le recyclage, le stockage temporaire des déblais sur site, le transport vers des installations de traitement ou d'élimination conformes aux normes environnementales, et le suivi régulier de l'impact des déblais sur les sols et les eaux souterraines.

Voici quelques aspects clés de cette gestion :

Collecte et stockage initial : Les déblais de forage, qui comprennent des matériaux tels que la roche, le sable, les boues de forage et parfois des hydrocarbures résiduels, sont collectés à la sortie du puits de forage. Ils sont stockés temporairement dans des bassins ou des réservoirs de stockage spécialement conçus sur le site.

Analyse et caractérisation : Avant tout traitement ou élimination, les déblais sont analysés et caractérisés pour évaluer leur composition chimique, leur toxicité potentielle et d'autres paramètres pertinents. Cette étape est cruciale pour déterminer le traitement approprié.

Traitement : Les déblais peuvent subir différents types de traitement en fonction de leur nature. Par exemple, les boues de forage peuvent être déshydratées pour réduire leur volume et extraire les contaminants. Les hydrocarbures résiduels peuvent être séparés et récupérés. Certains déblais peuvent également être traités pour réduire leur toxicité ou leur impact environnemental.

Élimination responsable : Une fois traités, les déblais peuvent être éliminés de manière responsable. Cela peut inclure l'envoi des matériaux non dangereux dans des sites d'enfouissement autorisés, le recyclage des matériaux récupérables ou la réutilisation dans d'autres applications

industrielles appropriées. Les déblais contenant des substances dangereuses doivent être éliminés conformément aux réglementations environnementales strictes.

Surveillance environnementale : Tout au long du processus de gestion des déblais, la surveillance environnementale est effectuée pour s'assurer que les mesures de contrôle et de traitement sont efficaces et que les impacts sur l'environnement sont minimisés. Cela peut impliquer des tests de qualité de l'air, de l'eau et du sol, ainsi que des évaluations de la santé des écosystèmes locaux.

- **Réglementations**

Les activités de forage pétrolier sont souvent soumises à des réglementations strictes concernant la gestion des déblais. Ces réglementations peuvent inclure des normes de qualité de l'eau et des sols, des critères de décharge, des exigences de suivi environnemental et des protocoles de réhabilitation des sites de forage.

Les déblais de forage pétrolier sont des matériaux qui nécessitent une gestion responsable pour réduire les impacts environnementaux et protéger la santé humaine, tout en respectant les réglementations applicables dans le domaine de l'industrie pétrolière.

- **Les bourbiers de forage**

Ces fosses de taille importante font office de réceptacles pour les matériaux excavés et les déchets boueux, empêchant ainsi la contamination des sols, des sous-sols et des nappes phréatiques. Deux types de bassins ont été identifiés sur le chantier :

- Bassins de stockage des déblais et des déchets solides.
- Bassins de stockage des déchets liquides.



Figure 18 : Bourbier pour stocker les rejets de déblais,

- **Risques environnementaux**

Les déblais de forage pétrolier peuvent contenir des substances potentiellement nocives telles que des hydrocarbures, des métaux lourds, des produits chimiques de forage, etc. Une gestion inadéquate de ces déblais peut entraîner des risques de contamination des sols, des eaux souterraines et des écosystèmes environnants.

II2.2. Impacts Sur les sols et les eaux souterraines

- **Les aquifères**

Sont des formations géologiques souterraines qui contiennent de l'eau et qui peuvent être exploitées comme sources d'eau potable ou pour d'autres usages. se forment lorsque de l'eau s'infiltre à travers des couches perméables du sol et du sous-sol pour atteindre une couche imperméable qui retient l'eau. Cette eau peut provenir des précipitations, des cours d'eau ou de la fonte des neiges, et elle s'accumule lentement au fil du temps.

On distingue généralement deux types principaux d'aquifères :

Les aquifères de confinement, où l'eau est piégée entre des couches imperméables supérieure et inférieure.

Les aquifères artésiens, où l'eau est sous pression en raison de l'enfermement entre des couches imperméables et s'élève naturellement jusqu'à la surface lorsqu'on perce le sol [17].

La gestion durable des aquifères est essentielle pour préserver ces ressources en eau vitales. Cela comprend la surveillance de la qualité et de la quantité d'eau, la prévention de la surexploitation, la protection contre la pollution et la promotion de pratiques de conservation de l'eau.

En résumé, les aquifères sont des réservoirs naturels d'eau souterraine qui ont une importance significative pour l'approvisionnement en eau potable et pour maintenir l'équilibre des écosystèmes. Leur gestion responsable et durable est nécessaire pour assurer la disponibilité continue de cette ressource précieuse [18].

- **Évaluation des risques**

Avant d'entreprendre des activités de forage pétrolier, une évaluation approfondie des risques environnementaux et des impacts potentiels sur les aquifères doit être réalisée. Cela implique généralement des études géologiques et hydrologiques pour comprendre la configuration des formations géologiques et la connectivité des différentes zones aquifères et pétrolières.

- **Pratiques de gestion environnementale**

Pour minimiser les impacts sur les aquifères (ZPE), l'industrie pétrolière met en œuvre des pratiques de gestion environnementale telles que l'utilisation de systèmes de rétention des eaux usées, le recours à des technologies de recyclage de l'eau, et l'adoption de mesures de prévention des fuites et des déversements.

- **Contamination des eaux souterraines**

Les déblais de forage pétrolier contiennent souvent des hydrocarbures, des métaux lourds et des produits chimiques utilisés dans le processus de forage. Lorsque ces déblais sont mal gérés ou stockés de manière inadéquate, ils peuvent contaminer les aquifères souterrains, compromettant ainsi la qualité de l'eau potable pour les populations locales et les écosystèmes environnants [19].

Voici comment cela peut se produire et quels sont les impacts :

- **Infiltration directe :**

Lorsque les déblais de forage sont mal gérés ou stockés de manière inadéquate, ils peuvent entraîner une infiltration directe dans le sol. Les substances contenues dans ces déblais, telles que les hydrocarbures, les métaux lourds, les produits chimiques de forage tel que les fluides de fracturation hydraulique, les agents de contrôle de la viscosité, les inhibiteurs de corrosion, etc., peuvent fuir et contaminer les aquifères environnants. et les sels, peuvent alors se dissoudre dans l'eau souterraine, contaminant ainsi la nappe phréatique.

- **Fuites et déversements :**

Les réservoirs de stockage temporaires utilisés pour les déblais peuvent parfois fuir ou subir des déversements, entraînant la libération directe de contaminants dans le sol, qui peuvent ensuite migrer vers les eaux souterraines. Les fuites de pipelines ou d'équipements liés au forage peuvent également contribuer à cette contamination. Entraîner une pollution significative des aquifères, compromettant ainsi la qualité de l'eau.

- **Migration des contaminants :**

Une fois que les contaminants se retrouvent dans le sol, ils peuvent migrer avec l'eau souterraine, se propageant ainsi dans différentes directions et pouvant atteindre des puits d'eau potable ou des sources d'eau utilisées par les humains et la faune.

- **Impact sur la santé humaine :**

Si les eaux souterraines contaminées sont utilisées comme source d'eau potable, cela peut présenter un risque direct pour la santé humaine. Les contaminants tels que les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes) et d'autres produits chimiques présents dans les déblais peuvent être toxiques et cancérigènes.

- **Impact sur la faune et la flore :**

Les eaux souterraines contaminées peuvent affecter les écosystèmes aquatiques en perturbant les populations de poissons, les organismes aquatiques et les plantes aquatiques. Cela peut entraîner des déséquilibres écologiques et réduire la biodiversité locale.

- **Déforestation :**

Les activités de forage pétrolier nécessitent souvent la mise en place d'infrastructures telles que des routes d'accès, des zones de stockage, des pipelines et des installations de traitement. Pour ces constructions, il est souvent nécessaire de défricher et de déboiser les terres, entraînant ainsi la perte d'habitats forestiers et la réduction de la couverture végétale. La déforestation peut accroître l'exposition du sol aux éléments climatiques et entraîner une érosion accrue.

- **Fragmentation des habitats :**

La création de nouvelles infrastructures associées aux activités de forage peut fragmenter les habitats naturels, divisant les écosystèmes en petites parties isolées. Cela peut perturber les migrations animales, réduire les corridors biologiques et fragmenter les populations animales, ce qui peut entraîner une diminution de la diversité génétique et une augmentation du risque d'extinction pour certaines espèces.

- **Érosion du sol :**

La déforestation, combinée à la fragmentation des habitats, peut augmenter le risque d'érosion du sol. En l'absence de couverture végétale et de racines pour retenir le sol, celui-ci devient vulnérable à l'érosion éolienne et hydrique. L'érosion peut entraîner la perte de nutriments du sol, la diminution de sa fertilité, la formation de ravines et de cratères, ainsi que la détérioration des terres agricoles et des pâturages [21].

- **Perte de biodiversité :**

La dégradation des habitats naturels et la fragmentation des écosystèmes peuvent entraîner une perte significative de biodiversité. Les espèces végétales et animales qui dépendent des habitats forestiers ou des corridors biologiques peuvent voir leurs populations diminuer ou être exposées à des pressions supplémentaires telles que la prédation accrue, la compétition pour les ressources et la perte d'habitat.

- **Dommages écologiques à long terme :**

Les effets cumulatifs de la déforestation, de la fragmentation des habitats et de l'érosion du sol peuvent avoir des répercussions à long terme sur la santé des écosystèmes. Cela peut affecter la résilience des écosystèmes face aux changements climatiques, aux sécheresses, aux incendies et à d'autres stress environnementaux, compromettant ainsi leur capacité à fournir des services écosystémiques essentiels tels que la régulation des ressources en eau, la protection des sols et la fourniture d'habitats pour la faune.

- **Consommation d'eau et stress hydrique :**

Le forage pétrolier nécessite souvent des quantités importantes d'eau pour les opérations de fracturation hydraulique et de refroidissement des équipements. Dans une région comme le Sahara, où les ressources en eau sont limitées, cela peut entraîner un stress hydrique accru et des conflits d'usage de l'eau entre l'industrie pétrolière, les communautés locales et l'agriculture[22].

La consommation d'eau et le stress hydrique liés aux déblais de forage pétrolier sont des aspects importants à considérer dans le contexte de l'industrie pétrolière et gazière.

- **Consommation d'eau :**

L'industrie pétrolière et gazière nécessite de grandes quantités d'eau pour diverses opérations telles que le forage, la fracturation hydraulique, le traitement des eaux de production, etc.

La consommation d'eau varie en fonction des techniques utilisées, de la profondeur du puits, des conditions géologiques, etc.

Dans certaines régions, l'industrie pétrolière peut représenter une part significative de la consommation d'eau totale, ce qui peut entraîner des pressions sur les ressources en eau disponibles.

- **Stress hydrique :**

Les activités de forage pétrolier peuvent contribuer au stress hydrique en puisant dans les ressources en eau locales, surtout dans les régions où l'eau est déjà rare.

Les déversements accidentels d'eaux usées ou de produits chimiques associés aux opérations pétrolières peuvent également contaminer les sources d'eau et aggraver le stress hydrique.

La compétition pour l'eau entre l'industrie, l'agriculture, les communautés locales et les écosystèmes peut créer des tensions et des conflits.

- **Impact visuel et esthétique :**

Les monticules de déblais de forage peuvent être inesthétiques et altérer le paysage naturel

II.2.3. Stockage des produits chimique de fabrication de boue :

Le stockage de produits toxiques et dangereux sur un chantier de forage pétrolier est une pratique délicate et sujette à une réglementation stricte en raison des risques potentiels pour la sécurité et l'environnement.

Voici un tableau qui montre les quantités de produits chimique utilisés de fabrication de boue stockées et consommées pendant une année dans notre chantier :

Tableau 7 : Stockage des produits toxique et dangereux

Produit	Type	Volume des contenats	Quantité annuelle consommée	Quantité Moyenne Stockée
Chaux	Poudre	Big bag 1 T	5 T	2
Avoil FC	Huile	Drum 180 kg	16 T	8
Avoil PE	Huile	IBC 900 kg	3 T	1
Avoil SE	Huile	IBC 900 kg	3 T	1

II.3.Impact positif de forage : L'activité de forage pétrolier, malgré ses controverses, apporte plusieurs impacts positifs significatifs. D'abord, elle soutient l'économie en créant des emplois dans divers secteurs, de la construction à l'ingénierie. De plus, elle contribue à la sécurité énergétique en réduisant la dépendance vis-à-vis des importations. Sur le plan technologique, elle stimule l'innovation dans les techniques de forage et de récupération, favorisant des avancées qui bénéficient également à d'autres industries. Enfin, les revenus générés par l'industrie pétrolière financent des infrastructures publiques et des programmes sociaux dans de nombreux pays producteurs, améliorant ainsi la qualité de vie des populations locale.

Tableau 8 : les aspects et leurs impacts sur l'environnement

Activité	Aspect Environnemental	Impact Environnemental
forage		
Mobilisation des équipements Installation du camp de base	Consommation des carburants	Epuisement des ressources
	Emission des gaz d'échappements	Dégradation de la qualité de l'air
	Emission fugitive (poussière)	Dégradation de la qualité de l'air
	Emissions sonores et vibrations	Fuite des animaux
	Génération des déchets solides (pièces de rechange, batteries, filtres usagés, etc.) Déversement accidentel (des huiles usagées ou de carburants)	Contamination du sol Perturbation des animaux
	Influence sur la faune et la flore	Contamination des eaux Déséquilibre de l'écosystème Destruction de quelques habitats de la faune sauvage Ruptures des voies d'accès des animaux Fuite des animaux et abandon des habitats, Perturbation de la végétation existante
Campement (hébergement, restauration, maintenance, bureau)	Consummation des eaux	Epuisement des ressources
	Consommation des carburants	Epuisement des ressources
	Emission des gaz d'échappements	Dégradation de la qualité de l'air
	Emissions fugitives	Dégradation de la qualité de l'air

	Génération des déchets ménagers (déchets alimentaires, emballage, déchets organiques, ordures ménagères, etc.) Génération des eaux usées	Génération des eaux usées Génération des déchets solides (pièces de rechanges, fûts métalliques, emballage, etc.)
	Génération des déchets solides (pièces de rechanges, fûts métalliques, emballage, etc.) Déversement accidentel (des huiles usagées ou de carburants)	Contamination du sol Contamination des eaux Altération de la structure paysagère Déséquilibre de l'écosystème
Préparation du site de forage (dégagement et nivellement d'une certaine surface)	Consommation des carburants et des eaux	Epuisement des ressources
	Déformation du relief	Compactage du sol
		Altération de la structure paysagère
		Erosion
		Destruction de quelques habitats de la faune sauvage
Ruptures des voies d'accès des animaux		
Travaux du forage proprement dits	Consommation des carburants et des eaux	Epuisement des ressources
	Emission des gaz d'échappement Emissions fugitives (poussière)	Dégradation de la qualité de l'air
	Emissions sonores	Fuite des animaux et abandon des habitats Perturbation de la santé humain

Démobilisation des équipements et du camp de vie	Consommation des carburants Emissions sonores Emissions fugitives Emission des gaz d'échappements	Epuisement des ressources Perturbation de la santé humaine Dégradation de la qualité de l'air Dégradation de la qualité de l'air
	Génération des déchets solides (ferrailles, etc.) et liquides (huiles usagées)	Contamination du sol Contamination des eaux
Réhabilitation du site	Consommation des carburants	Epuisement des ressources
	Emission des gaz d'échappements	Dégradation de la qualité de l'air
	Emissions fugitives	Dégradation de la qualité de l'air
Test de production du puits	Consommation des carburants et des eaux	Epuisement des ressources
	Emissions sonores	Perturbation de la santé humaine
	Emission des gaz d'échappements	Dégradation de la qualité de l'air
	Emissions des hydrocarbures torches	Dégradation de la qualité de l'air
	Déversement accidentel de carburants ou des huiles usagées	Contamination des eaux et sols

Chapitre III :

Traitement des déblais.

Introduction

Les opérations de forage pétrolier et gazier génèrent des **déblais de forage**, composés principalement de fragments de roche et de terre extraits du puits. Ces déblais peuvent être contaminés par de l'huile provenant de la boue de forage utilisée pour lubrifier le trépan, stabiliser le trou de forage et transporter les débris vers la surface.

Le traitement des déblais de forage contaminés par l'huile a deux rôles importants

L'enjeu environnemental est important car si ces déblais huileux ne sont pas traités correctement, ils peuvent polluer les sols et les eaux souterraines par infiltration. Cela peut avoir des conséquences néfastes sur la faune et la flore de l'environnement concerné.

L'enjeu économique est également à prendre en compte. Un traitement inadéquat des déblais peut engendrer des coûts de gestion et d'élimination des déchets plus élevés. De plus, une réglementation environnementale de plus en plus stricte impose des méthodes de traitement performantes pour minimiser l'impact sur l'environnement.

C'est dans ce contexte que s'inscrit la **méthode Verti-G**, une technologie de pointe pour le traitement des déblais de forage contaminés par l'huile. Elle permet de répondre efficacement à ces enjeux environnementaux et économiques.

III.1. Des mesures préventive proposé pour réduire les impacts environnementaux

Pour assurer la protection des travailleurs et de l'environnement, l'entreprise doit mettre en place des règles strictes et fournir les moyens de prévention nécessaires sur le chantier. Parmi ces mesures, on retrouve :

- Effectuer des vérifications et inspections régulières des équipements.
- Respecter les valeurs limites de déversement réglementaires en se basant sur les résultats des mesures et en les comparant aux seuils tolérables définis par la réglementation.
- Installer des bacs de rétention.
- Appliquer et suivre les procédures de gestion des déchets.

Chapitre 3 : Traitement des déblais.

- Mettre en œuvre un Plan de Mesure d'Urgence (PMU) pour les déversements.
- Respecter la réglementation HSE applicable.
- Planifier et réaliser des audits pour évaluer la conformité réglementaire et vérifier la mise en place des mesures préventives.
- Remplacer les bacs, les raccords usés et les vannes défectueuses dès leur constatation sur le terrain.
- Veiller à ce que les portes des bacs à boues utilisés lors des vidanges soient parfaitement étanches.
- Former et sensibiliser le personnel aux bonnes pratiques.
- Mettre en place et suivre les programmes d'entretien préventif et curatif pour éliminer les fuites, assurer l'étanchéité des équipements de forage, des moyens de stockage des fluides et des dispositifs de rétention.
- Planifier et effectuer des audits pour évaluer la conformité réglementaire et réaliser des inspections afin de vérifier la mise en œuvre des mesures et des dispositions prévues, ainsi que pour surveiller le respect des seuils prescrits. De plus, il est important de protéger les surfaces en contact avec les contenants (huile, gasoil) et de nettoyer périodiquement les équipements pour prévenir la corrosion du matériel et réduire les risques de glissade pour les travailleurs.

En ce qui concerne la protection de l'environnement, d'autres moyens incluent le système de traitement des boues (Waste management).

III.2.Système de traitement de la boue

Le traitement de la boue de forage pétrolière est un processus essentiel pour la protection de l'environnement et la réutilisation des matériaux. Il permet d'éliminer les contaminants de la boue avant de la rejeter dans l'environnement ou de la réutiliser dans le processus de forage.

III.2.1.Waste management (WM)

Cette opération passe sur plusieurs équipements par plusieurs étapes sont comme suite :

Chapitre 3 : Traitement des déblais.

- Lorsque la boue passe à travers le tamis vibrant, elle est dirigée vers un hauger.
- Ce hauger est en rotation pour transporter la boue vers le sécheur à l'aide d'une pompe d'alimentation.
- Le sécheur, qui fonctionne sur le principe d'une centrifugeuse, sépare les déblais qui n'ont pas été filtrés par le tamis. Ensuite, il envoie le reste de la boue vers un cache-tank à l'aide d'une autre pompe d'alimentation.
- Le cache-tank est divisé en deux parties : l'une reçoit la boue traitée par le drayer, tandis que l'autre alimente la centrifugeuse via une pompe. Les déblais très fins (comme la poussière) sont séparés par la centrifugeuse, et la boue traitée est ensuite dirigée vers le bac [23].

Dans le système de waste management il y a deux grandes centrifugeuses (LGS):

- Low speed 1400tr/min.
- High speed 3200tr/min.

On a choisi cette traitement mécanique pour plusieurs raisons importantes par rapport à d'autres traitements :

Efficacité dans la suppression des débris : La boue de forage mécanique utilise des outils et des techniques qui permettent de retirer efficacement les débris du puits de forage. Cela peut inclure l'utilisation de grappins, de pompes à boue, ou d'autres dispositifs mécaniques qui sont particulièrement efficaces pour nettoyer le trou de forage.

Contrôle précis : Les méthodes mécaniques offrent un contrôle précis sur le processus de nettoyage et de gestion des débris. Cela permet aux opérateurs de forage de cibler spécifiquement les zones problématiques et d'appliquer la force mécanique nécessaire pour déloger et retirer les obstructions.

Coût et disponibilité : Dans de nombreux cas, les techniques mécaniques peuvent être plus économiques à long terme, car elles réduisent la dépendance à l'égard des produits chimiques spécialisés et peuvent utiliser des équipements disponibles sur place ou facilement transportables.

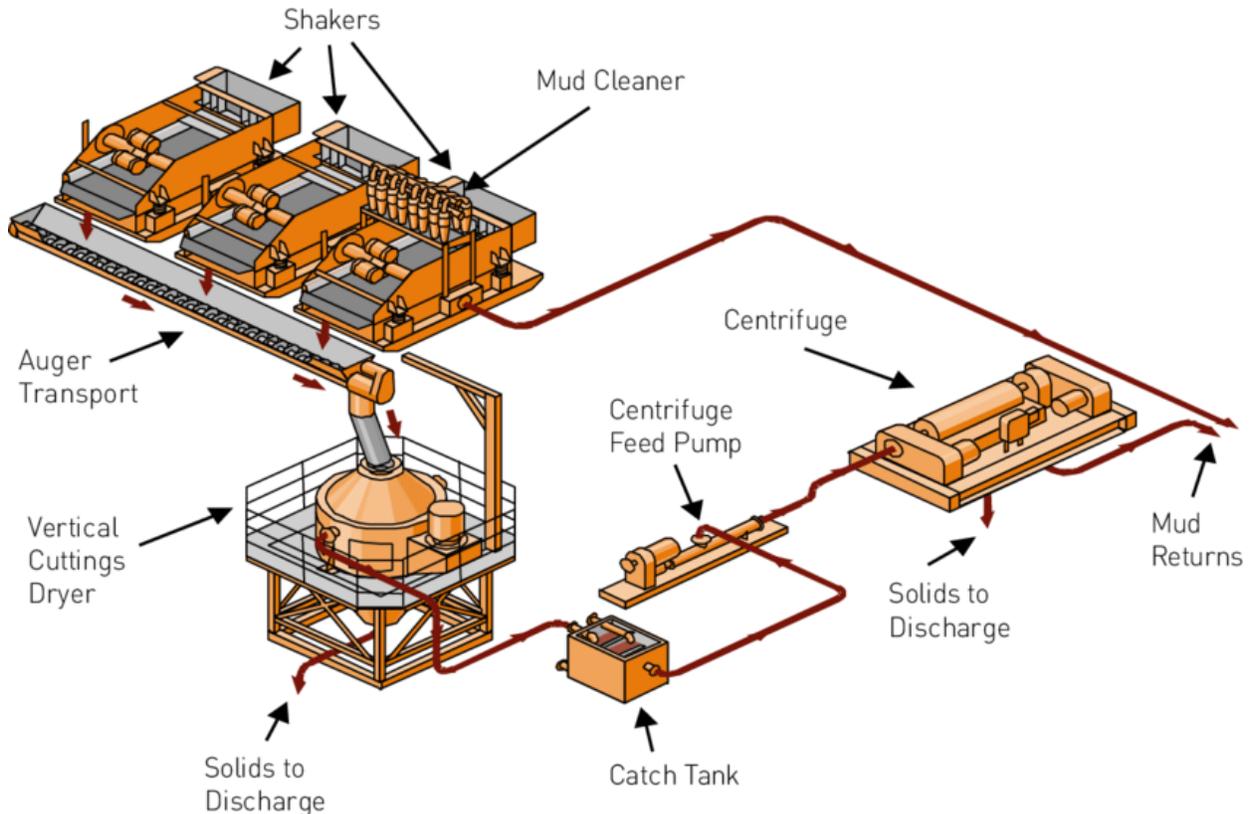


Figure19 : schéma de traitement de boue.

- **Le tamisage :**

Les cuttings récupérés à la surface par la boue de forage sont initialement mélangés avec celle-ci. Pour séparer les déblais (phase solide) de la boue de forage (phase liquide), le mélange est ensuite acheminé à travers un tamis vibrant. Ce dernier, grâce à ses vibrations, sépare la boue qui retourne dans le bac à boue, tandis que les solides sont capturés à sa surface. Ce processus de tamisage vibrant constitue un double traitement. Il vise d'une part à régénérer la boue de forage pour prolonger son utilisation, et d'autre part à traiter les cuttings dont la concentration en composants de la boue de forage a diminué de manière significative après leur passage [24].

- **Centrifugeuse verticale (VERTI-G)**

Cet équipement de conception spéciale est destiné au traitement des déchets fluides de forage qui sont contaminés par des solides imprégnés d'hydrocarbures et chargés en métaux lourds. Son

Chapitre 3 : Traitement des déblais.

l'objectif est de convertir les produits toxiques solubles en composés insolubles, ce qui est conforme aux normes environnementales et économiques. Ces équipements, également connus sous le nom de sècheurs verticaux, sont des sècheurs rotatifs qui se composent principalement d'un tamis de forme conique et de transporteurs pour les déchets. Le sècheur de cuttings est considéré comme l'une des meilleures technologies disponibles sur le marché international actuel. Il est utilisé pour contrôler et traiter les rejets de fluides de forage selon les normes environnementales en vigueur, En a la norme Algérienne exige une limite de 5% de poids des huiles par rapport au poids de déblais [25].

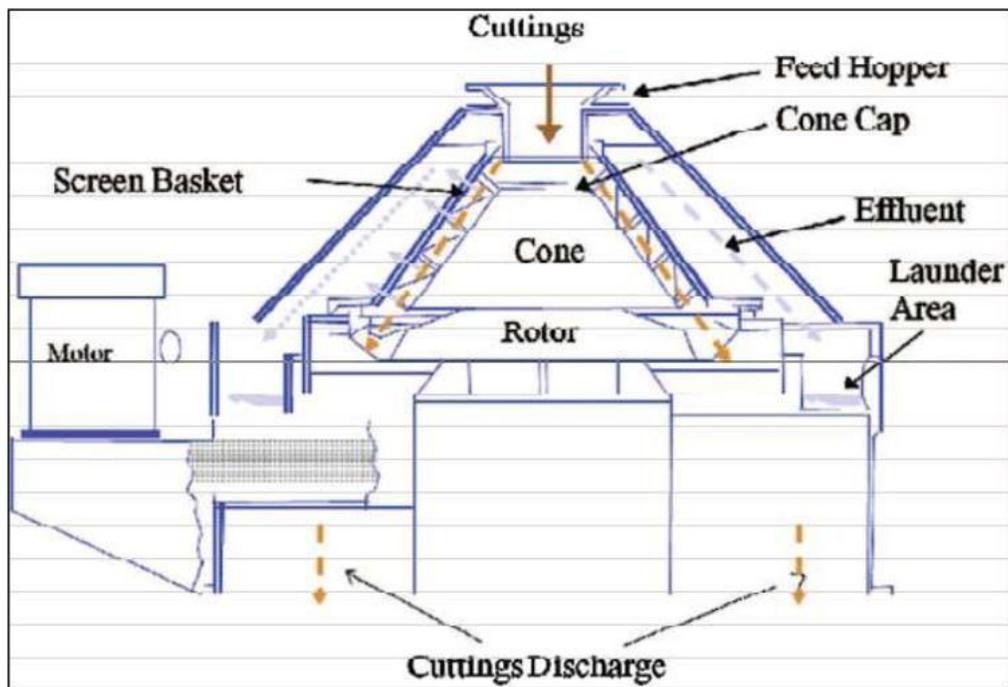


Figure 20 : le verti-g dryer.

Principe de fonctionnement de Verti-G :

Les déblais sont acheminés du tamis vibrant vers le verti-G en utilisant des vis sans fin appelées hauger ; ces déblais entrent par l'admission supérieure du cône et chutent sur un rotor conique qui tourne à 680 tours par minute.

Les cuttings sont séparés grâce à cette vitesse différentielle (vitesse de rotation du rotor conique), de sorte que le liquide passe à travers le tamis (écran) tandis que les solides sont entraînés vers la base du cône sous forme de poudre sèche (dry), et leur teneur en huile est inférieure à 5%. Alternativement, ils sont transportés par un chargeur mécanique vers le borbier (dry pit).

Chapitre 3 : Traitement des déblais.

Le liquide précédent est dirigé vers la centrifuge horizontale (centrifuge 1900 tr/min) pour récupérer le fluide vers les bacs de forage et le reste de solides est renvoyé vers wet pit [26].

- **La centrifugeuse horizontale**

La centrifugeuse horizontale est utilisée pour séparer la phase solide fine des fluides de forage restants après leur passage par le sécheur, afin de les décharger dans le bourbier en attendant leur traitement à la fin du forage.

La figure illustre la centrifugeuse, dont la performance peut être caractérisée par le diamètre des particules (leur taille), la différence de densité entre les particules solides de la boue, la viscosité de la boue, sa densité et la vitesse de rotation de la machine [27].

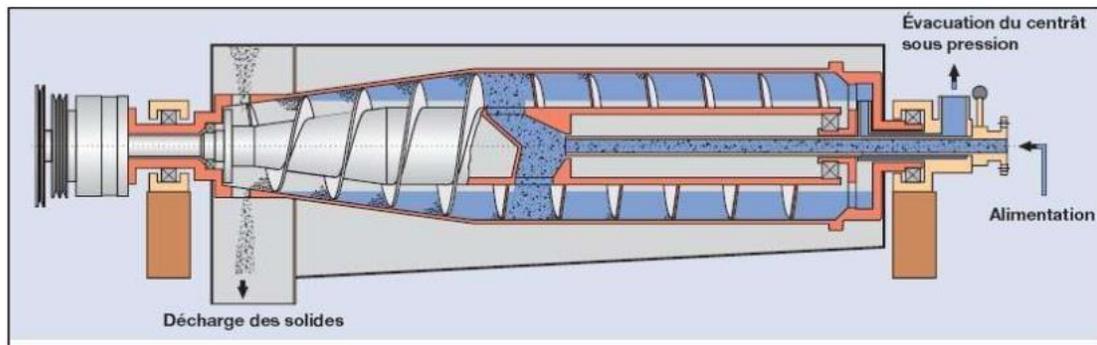


Figure 21 : Schéma simplifié de l'unité de la centrifugeuse.

Voici quelques bénéfices du traitement en ligne :

- Diminution du volume de boue excédentaire.
- Récupération de la boue utilisée.
- Moindre utilisation d'eau, avec recyclage et récupération accrue de l'eau.

III.2.Partie expérimentale

III.2.1. Procédure de mesure de la teneur en l'huile (oil on cuttings (OOC%))

Afin de déterminer la proportion d'huile dans un échantillon, nous employons une technique de distillation à haute température utilisant un distillateur FANN. A boue. Ce procédé implique le chauffage de l'échantillon à l'aide d'une résistance électrique capable d'atteindre des températures allant jusqu'à 650°C. La procédure détaillée se déroule comme suit :

1. Préparation de l'échantillon : Peser la cellule avec couvercle à l'aide d'une balance précise jusqu'à 0.01 gramme. Noter cette **Valeur A**.
2. Mettre une quantité de cuttings dans la cellule et peser la cellule pleine avec couvercle. Noter cette **Valeur B**.
3. . Peser l'éprouvette graduée vide ou les fluides seront récupérés. Noter cette **Valeur C**.
4. Placer la cellule dans le corps du distillateur.
5. Relier le distillateur (retort) au condensateur de vapeurs en utilisant les raccords appropriés. Assurez-vous que la connexion est étanche pour éviter les fuites de vapeurs.
6. Appliquer un chauffage graduel à l'échantillon pour atteindre 600°C et maintenir cette température durant une heure entière, ainsi, la vaporisation de tous les fluides.
7. Les vapeurs produites sont dirigées vers un condensateur où elles se condensent et se transforment en liquide, qui est ensuite recueilli dans une éprouvette graduée.
8. En cas de présence de solides dans le liquide recueilli dans l'éprouvette graduée, il est nécessaire de recommencer la procédure de distillation.
9. La distillation permet de séparer l'eau et l'huile dans l'éprouvette. Un léger chauffage de l'éprouvette peut s'avérer nécessaire pour briser une éventuelle émulsion. Noter cette **valeur D**.
10. Une fois refroidie à température ambiante, mesuré le volume d'eau par lecture directe sur les graduations de l'éprouvette. Noter cette **valeur V**.
11. Peser l'éprouvette remplie de fluide. Noter cette valeur D. C'est le condensat.
12. **La masse de l'échantillon brute =B – A (masse de wet cuttings).**
13. **la masse d'huile : masse condensat – Veau.**

Chapitre 3 : Traitement des déblais.

Et on a **la masse du condensat est égale : $D - C$** (la masse d'éprouvette charge de condensat – l'éprouvette vide).

14. La somme des masses huile, eau et dry cuttings doit être entre 95% et 105% la valeur des wet cuttings.

15. Le pourcentage de teneur en huile % = (masse oil / dry cuttings weight)*100.

16. Dans le wet % = masse oil / dry cuttings weight

En toute rigueur, la distillation (Retort) est une technique utilisée pour mesurer les solides dans les boues de forage, comme moyen de suivi et de contrôle des caractéristiques physiques ; néanmoins, cette technique est utilisée aussi pour mesurer le pourcentage de fluide dans des échantillons de solides (cuttings). Son incertitude est importante pour des pourcentages faibles.



Figure 22 : Photo Montage de la cellule avec le godet.

Chapitre 3 : Traitement des déblais.

Tableau 9 : les valeurs des masses de la procédure.

Oil On Cuttings Calculations	abréviation	Shakers Solids	Dryer Solids Measurement
Retort Weight (Empty) 50ml (g)	A	314	314
Retort Weight + Sample (g)	B	440	373
Retort Weight + Dried Cuttings(g)	E	410	368
Gradient Cylinder Weight (Empty) (g)	C	58	58
Gradient Cylinder Weight + Condensate (g)	D	83	63
Gradient Cylinder Weight + Condensate (g)	V	2.3	3

III.2.2.Le calcule de la teneur en l'huile (oil on cuttings (OOC%)) avant traitement

« cas de shakers solids »

➤ **La masse de wet cuttings sample**

(Retort Weight + Sample (g)) – Retort Weight (Empty)

$$B - A = 440 - 314 = 126 \text{ g}$$

➤ **La masse de condensate**

(Gradient Cylinder Weight + Condensate (g)) – (Gradient Cylinder Weight + Condensate (g) (empty)).

$$D - C = 83 - 58 = 25 \text{ g}$$

➤ **La masse oil**

La masse de condensat – la masse de water.

Chapitre 3 : Traitement des déblais.

La masse oil = $25 - 2.3 = 2.3$ g.

➤ **Le pourcentage de oil on cuttings dry**

$$\frac{\text{oil on cuttings} \times 100}{\text{dry cuttings weight}}$$

Le OOC % = $22.7 / 96 = 0.2365 = 23.56 \%$

Le pourcentage de oil on cuttings dry est égale 23.56%.

➤ **Le pourcentage de oil on cuttings wet**

$$\frac{\text{oil on cuttings} \times 100}{\text{Wet cuttings weight}}$$

Le OOC% = $22.7 / 126 = 0.18 = 18 \%$

Le pourcentage de oil on cuttings wet est égale 18%

La masse de wet cuttings sample	La masse de condensat	La masse oil	Le pourcentage de oil on cuttings dry	Le pourcentage de oil on cuttings wet
126 g	25 g	2.3 g	23.56 %	18 %

III.2.3. Le calcul de la teneur en l'huile (oil on cuttings (OOC%)) après le traitement « cas de Dryer Solids Measurement

i. **La masse de wet cuttings sample**

(Retort Weight + Sample (g)) – Retort Weight (Empty)

$$B - A = 373 - 314 = 59 \text{ g}$$

ii. **La masse de 65ondensate**

(Gradient Cylinder Weight + Condensate (g)) – Gradient Cylinder Weight + Condensate (g) (empty).

$$D - C = 63 - 58 = 5 \text{ g}$$

Chapitre 3 : Traitement des déblais.

iii. La masse oil

La masse de condensate – la masse de water

$$\text{La masse oil} = 5 - 3 = 2 \text{ g}$$

iv. Le pourcentage de oil on cuttings dry

$$\frac{\text{oil on cuttings} \times 100}{\text{dry cuttings weight}}$$

$$\text{Le OOC \%} = (2 / 54) \times 100 = 0.037 = \mathbf{3.7 \%}$$

v. Le pourcentage de oil on cuttings wet

$$\frac{\text{oil on cuttings} \times 100}{\text{Wet cuttings weight}}$$

$$\text{Le OOC\%} = (2 / 59) \times 100 = 0.0339 = \mathbf{3.39 \%}$$

La masse de wet cuttings sample	La masse de condensat	La masse oil	Le pourcentage de oil on cuttings dry	Le pourcentage de oil on cuttings wet
59 g	5 g	2 g	3.7 %	3.39 %

Le pourcentage d'huile appliqué aux déblais secs est généralement plus élevé que celui appliqué aux déblais humides. Cela est dû au fait que les déblais secs absorbent plus facilement l'huile. Un pourcentage typique d'huile sur déblais secs est **3,7%**

Le pourcentage d'huile appliqué aux déblais humides est généralement plus faible que celui appliqué aux déblais secs. Un pourcentage typique d'huile sur déblais humides se situe entre 2 et 5%, dans notre cas est **3.39 %**.

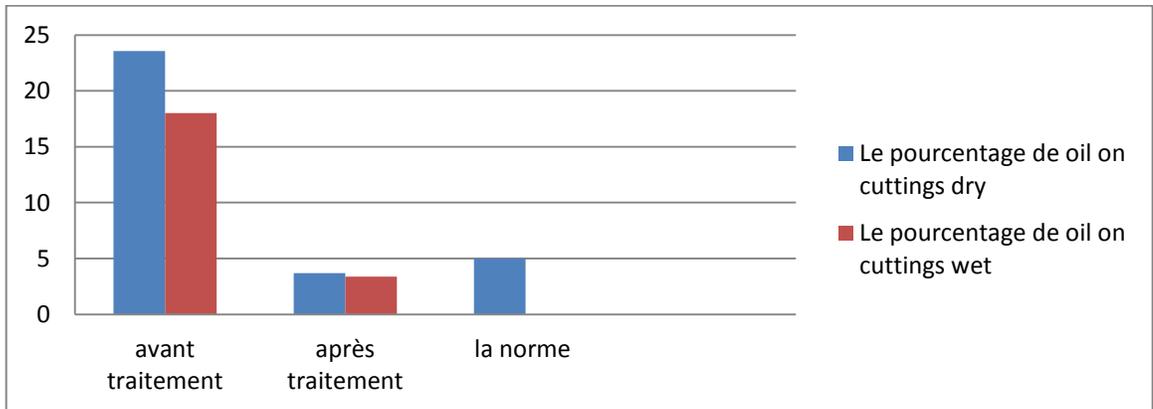


Figure 23 : Histogramme montre les résultats de calcul et la norme

b. Discussions des résultats

Les résultats obtenus indiquent une réduction significative du pourcentage d'huile sur les déblais, passant de **18%** après le tamis vibrant à **3,39%** après le verti-G. Cela représente une **efficacité de 81,81%** pour le verti-G dans l'élimination de l'huile des déblais.

Le tamis vibrant permet d'éliminer les particules de déblais les plus grossières et une partie de l'huile qui y est associée. Cependant, il n'est pas très efficace pour éliminer l'huile fine qui adhère aux particules plus petites.

Le verti-G utilise une force centrifuge plus importante que le tamis vibrant pour séparer l'huile des déblais. Cela lui permet d'éliminer plus efficacement l'huile fine, ce qui se traduit par une réduction plus importante du OOC%.

Sur la base de ces résultats, il est recommandé de continuer à utiliser le verti-G pour le traitement des déblais de forage.

Il est également important de surveiller régulièrement le OOC% pour s'assurer que le système fonctionne correctement.

On peut noter aussi que :

- Le type d'huile utilisée dans la boue de forage peut influencer l'efficacité du verti-G.
- La configuration et l'état d'entretien du verti-G peuvent également affecter ses performances.
- Il est important de respecter les réglementations environnementales locales en matière de gestion des déblais de forage

Conclusion

Les résultats indiquent que le **verti-G est un outil efficace pour réduire le OOC% des déblais**. Cela peut avoir plusieurs avantages, tels que :

Réduction de l'impact environnemental : L'huile contaminée peut polluer les sols et les eaux souterraines. En réduisant le OOC%, on peut minimiser ce risque.

Amélioration de la qualité des déblais : Les déblais avec un OOC plus faible peuvent être mieux valorisés ou éliminés de manière plus sûre.

Optimisation des opérations de forage : Une meilleure élimination de l'huile peut améliorer la performance de la boue de forage et réduire les coûts opérationnels.

Les fractions récupérées peuvent être valorisées de plusieurs façons :

- Emploi des huiles récupérées comme fioul de substitution, pour la formulation des fluides de forage.
- Utilisation de l'eau récupérée dans les circuits de refroidissement.
- Valorisation des sous-produits solides : ces résidus pourront être employés comme matières premières dans le secteur de la construction et des travaux publics (bâtiments, réalisation des routes et chaussées, les travaux de terrassement).
- L'huile (gasoil) récupérée est réutilisée pour l'alimentation des brûleurs (incinérateurs) .

Conclusion générale

Conclusion générale :

Pour atteindre l'objectif de notre étude sur les impacts de l'activité de forage sur l'environnement au sein de l'entreprise ENAFOR, nous avons mené une analyse intensive sur une durée de quatre semaines. Cette période nous a permis de recueillir des données cruciales et de mener des observations directes sur le terrain afin de mieux comprendre les dynamiques environnementales en jeu.

Notre étude a conclu que l'identification des aspects des impacts est obligatoire pour définir les sources de ces impacts. En effet, sans une identification précise, il est impossible de mettre en place des stratégies efficaces pour limiter les effets négatifs du forage pétrolier sur l'environnement. La détermination des sources permet d'identifier les points critiques où des interventions sont nécessaires, facilitant ainsi la mise en œuvre de mesures correctives et préventives.

Les entreprises pétrolières, conscientes de l'importance de minimiser leurs impacts environnementaux, font tout leur possible pour réduire au maximum les risques et les impacts de leurs activités. Cela est crucial non seulement pour protéger l'environnement, mais aussi pour maintenir une image positive et compétitive sur le marché pétrolier. La responsabilité environnementale est devenue un facteur clé dans l'évaluation des performances des entreprises, et celles-ci doivent donc adopter des pratiques durables pour rester en conformité avec les réglementations et les attentes sociétales.

Parmi les équipements utilisés pour atténuer les impacts environnementaux des activités de forage, les verti-G (sécheurs) se révèlent particulièrement efficaces. Ces appareils permettent de réduire significativement la teneur en huile dans les déblais de forage, limitant ainsi la pollution des sols et des eaux. Leur utilisation contribue non seulement à la réduction des déchets toxiques mais aussi à la réutilisation des matériaux extraits, ce qui est bénéfique à la fois pour l'environnement et pour l'efficacité économique des opérations de forage.

En résumé, notre étude a permis de mettre en lumière l'importance cruciale de l'identification des sources d'impact pour une gestion environnementale efficace des activités de forage. Les

Conclusion générale

efforts continus des entreprises pétrolières pour minimiser leurs impacts et l'adoption de technologies comme les verti-G démontrent un engagement vers des pratiques plus durables et responsables, essentielles pour la préservation de notre environnement

Références bibliographique

- [1]: Metaiche D.M. 2013. [en ligne]. Forage : Techniques et procédés. [consulté le 02/05/2024].
- [2]: PetroWiki. 2024. [en ligne]. Casing and tubing. [consulté le 04/04/2024]. https://petrowiki.spe.org/Casing_and_tubing.
- [3]:United States Environmental Protection Agency (US EPA). 2000. [en ligne]. Development Document for Final Effluent Limitations Guidelines and Standards for Synthetic-Based Drilling Fluids and other Non-Aqueous Drilling Fluids in the Oil and Gas Extraction Point Source Category.[consultéle30/03/2024].
- [4]: Schlumberger. 2010. [en ligne]. *Dowell drilling fluids technical manual*. [consulté le 30/03/2024]. <https://fr.scribd.com/document/411972158/Schlumberger-Dowell-Drilling-Fluids-Technical-Manual>.
- [5]:Britannica, The Editors of Encyclopaedia. 2017. [en ligne]. *Drilling mud*. [consulté le 05/04/2024]. <https://www.britannica.com/technology/drilling-mud>. Accessed 20 June 2024.
- [6]: Weather Spark. [en ligne]. *La météo toute l'année partout sur la terre*. [consulté le 16/04/2024]. <https://fr.weatherspark.com>.
- [7]: Infoclimat. [en ligne]. Température et pluviométrie à Hassi Terfa. [consulté le 16/04/2024]. <https://www.infoclimat.fr>.
- [8]: Meteocity. [en ligne]. Taux d'humidité relative et inconfort par rapport à la température. [consulté le 16/04/2024]. <https://www.meteocity.com>.
- [9]: Mapcarta. [en ligne]. *Chantier de forage*. [consulté le 16/04/2024]. <https://mapcarta.com>
- [10]: Mihoub A., Helimi S., Mokhtari S. et Halitim A. 2016. Appréciation d'une méthode pour l'estimation des besoins en eau d'une culture cultivée dans un milieu salin (cas du palmier dattier). *Revue Agriculture*, 1:189-97.
- [11]: Bachmann R.T., Johnson A.C. et Edyvean R.G.J. 2014. Biotechnology in the petroleum industry: An overview. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 86: 225-37.
- [12]: Pozzobon C., Liu Y., Kirkpatrick J.D., Chesnaux R. et Kang M. 2023. Methane Emissions from Non-producing Oil and Gas Wells and the Potential Role of Seismic Activity: A Case Study in Northeast British Columbia, Canada. *Environmental science & technology*, 57(51), 21673-80.

Références bibliographique

- [13] : OMS. 2022. [en ligne]. Pollution de l'air ambiant (extérieur). [consulté le 01/04/2024].
- [14] : Groupe d'experts intergouvernementaux sur l'évolution du climat (GIEC). 2015. [en ligne]. Changements climatiques. [consulté le 28/03/2024].
- [15] : Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE).
- [16] : European Environment Agency (EEA). 2024. [en ligne]. *Nutrients in Europe's transitional, coastal and marine waters*. [consulté le 23/05/2024].
- [17]: Todd D.K. et Larry W. Mays L.W. 2004. *Groundwater and Wells*. 3^{ème} éd. États-Unis:Wiley636p.
- [18]: Walton W.C. 1991. *Principles of Groundwater Engineering*. 1^{ère} éd. États-Unis : Lewis Publishers. 566p
- [19] : Djebbar R., Taibi S. et Bechkit M.M. 2018. Assessment of Hydrocarbon Contamination in Groundwater around Hassi Messaoud Oilfield (Algerian Sahara). *Water Resources and Industry*,19:9-19
- [20]: Al-Yasiri A.2020.AReview of Drilling Waste Management. *Journal of Petroleum Exploration de Production Technology*, 10(3):1547-58.
- [21] Belayachi L., Derradji F. et Aït-Hamou M. 2020. Impact of Oil Activities on Biodiversity in Algerian Sahara: Case of the Ahnet Basin. *Energy Exploration & Exploitation*, 38(3):823-40.
- [22] Boulares F., Chehima R. et Abbes C. 2021. Water Management in the Algerian Sahara: Challenges and Perspectives in the Context of Climate Change. *Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA*, 70(2):84-97.
- [23] : Caenn R., Darley H.C.H. et Gray G.R. 2011. *Composition and properties of drilling and completion fluids*. 6^{ème} éd. États-Unis : Gulf professional publishing. 701p
- [24]: Robert F, Mitchell. et Aadland B.J. 2011. *SPE Drilling Engineering Handbook*.
- [25]: Sharafaddin O. et Onuțu I. 2021. An overview of oil based drill cuttings waste environmental effect and disposal treatments. *Romanian Journal of Petroleum & Gas Technology*, II (LXXIII):39-47.
- [26]: Hadzihafizovic D. 2023. [en ligne]. *Oilfield & Drilling Operations*. [consulté le 16/05/2024]. https://www.researchgate.net/publication/375661584_Oilfield_Drilling_Operations
- [27] : Nguyen J.P. 1991. *Techniques d'exploitation pétrolière. Le forage*. France : TECHNIP. 378p.

Législation et normes

En Algérie les grands principes qui régissent la réglementation en matière de protection du sol et du sous-sol sont formulés par les textes suivants :

- La loi n°83-03 du 05/02/1993, prend en considération la pollution du sol. Le législateur définit les déchets et pose les principes et les règles générales de leur gestion. Concernant cette dernière, la loi fait obligation à tout détenteur ou producteur de déchets d'assurer ou de faire assurer leur élimination en évitant seulement, et non en supprimant, les effets néfastes sur le sol, la faune, la flore, etc...
- Le décret exécutif n°93-160 du 10/07/1993, réglemente le déversement des huiles et lubrifiants aussi bien dans le milieu naturel que dans le réseau d'assainissement.
- Le décret exécutif n°93-162 du 10/07/1993, fixe les modalités de récupération et de traitement des huiles usagées.
- Le décret exécutif n°94-43 du 30/01/1994, fixe les règles de conservation des gisements d'hydrocarbures et de protection des aquifères.
- Le Décret du : 18/12/1992, agissant en tant que norme européenne, publiée au Journal officiel de la République Française le 30/03/1993, est la norme suivie par SONATRACH, pour le traitement des déblais de forage Ce décret définit les paramètres qui devraient être analysés et leurs limites maximales a ne pas excéder pour que les déblais puissent être rejetés dans la nature.
- En Algérie, une loi importante concernant les activités pétrolières et gazières est la Loi n° 05-07 du 28 avril 2005 relative aux hydrocarbures. Cette loi définit le cadre juridique et réglementaire pour l'exploration, l'exploitation, la production, le transport et la commercialisation des hydrocarbures en Algérie. Elle établit également les conditions d'octroi des permis et des concessions, les obligations environnementales et les modalités de partage de production avec les opérateurs étrangers.