

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique
Département de Génie de l'environnement



Projet de Fin d'Etudes d'Ingénieur d'Etat en Génie de l'Environnement

Etude de la vulnérabilité de la nappe phréatique à Hassi-Messaoud
aux rejets inhérents à l'activité de forage

Préparé et présenté par :

SOUTENU LE : 28 JUIN 2010

BENSENANE Fadia Khadoudja

MEMBRES DU JURY

Président:	H. G HRIB	ENP-EL HARRACH
Examineurs:	M. DEROUICHE S. BELLATACHE C. COUDYZER	ENP-EL HARRACH SONATRACH-ALGER BAKER- HUGHES
Encadreurs:	O. DHINA N. MAMERI	SONATRACH-Hassi-Messaoud ENP-EL HARRACH

Année Universitaire 2009-2010

Dédicace

Je dédie ce modeste et simple travail :

- Ames chers parents.
- A mes chères grand-mères.
- A mon frère Hadi et ma sœur Ilhem.
- A toute ma famille et mes amis.
- A mon encadreur Monsieur DHINA Okba.
- A mes défunts et regrettés oncles Mourad et Abderrahmane que dieu ait leurs âme.

Remerciements

Je remercie mes chers parents qui m'ont toujours aidé, soutenu et encouragé durant tout mon cursus académique.

Je tiens à remercier mon encadreur Monsieur DHINA pour sa précieuse aide, pour ses orientations et conseils, pour sa patience, sa disponibilité et ses encouragements.

Je remercie aussi mon encadreur de l'école polytechnique Monsieur MAMERI pour son attention, le suivi qu'il m'a accordé et son déplacement jusqu'à Hassi-Messaoud.

J'exprime ma gratitude et mes remerciements à l'ensemble du personnel de SONATRACH - Division Forage pour l'aide apportée et ma prise en charge durant la période de mon stage pratique.

Je remercie Madame BELLATACHE-ANNANE Samira, Madame BENZIADA Farida, Monsieur et Madame BOULEFRAD, Monsieur DJELLAS, Monsieur BOUKRABA et Monsieur CHERFAOUI de la SONATRACH.

Je remercie Monsieur YASSA, de nous avoir permis d'effectuer les analyses physicochimiques aux laboratoires CRAPC.

J'insiste enfin pour remercier tous les enseignants du département environnement de l'Ecole Nationale Polytechnique, ainsi que tous les enseignants qui m'ont encadré durant tout mon parcours.

GLOSSAIRE

Perméabilité (K) :

Aptitude d'un milieu à se laisser traverser par un fluide sous l'effet d'un gradient de potentiel.

Transmissivité (T) :

Paramètre régissant le débit d'eau qui s'écoule par unité de largeur de la zone saturée d'un aquifère contenu par unité de gradient hydraulique, c'est aussi le produit du coefficient de perméabilité de Darcy (K) par l'épaisseur saturée de l'aquifère (b), en milieu isotrope.

Coefficient d'emmagasinement (S) :

Rapport du volume d'eau libéré ou emmagasiné par unité de surface d'un aquifère, à la variation de charge et à l'expansibilité de l'eau et du milieu aquifère, ainsi qu'à l'épaisseur de la couche aquifère

Niveau statique:

Hauteur de l'eau dans le puits.

Le niveau piézométrique :

Altitude ou profondeur (par rapport à la surface du sol) de l'interface entre la zone saturée et la zone non saturée dans une formation aquifère.

Cuttings :

Déblais de forage.

OOC% :

Quantité massique d'huile contenue dans les déblais de forage.

De-sander :

Equipement de traitement mécanique du fluide de forage

De-silter :

Equipement de traitement mécanique du fluide de forage

Mud cleaner :

Equipement de traitement mécanique du fluide de forage

Shale shaker :

Equipement de traitement mécanique du fluide de forage

Boue de forage: Dans le jargon du métier de forage, fluide de forage ; pouvant être à base d'eau ou à base d'huile.

Introduction

INTRODUCTION

En 1986, dans le champ pétrolier de Berkaoui situé à quelques 80 km à l'Ouest du champ de Hassi Messaoud, s'est produit un immense cratère de 200 m de diamètre et de plus de 80 m de profondeur. C'était le plus grand désastre survenu dans l'industrie de l'amont pétrolier en Algérie. Les causes de la catastrophe remontent à la fin des années 70, lorsque la société pétrolière française Total avait cumulé des erreurs lors de la réalisation du puits OKN32.

Plus récemment, la société britannique British Petroleum (BP) s'est retrouvée confrontée au plus grand désastre écologique causé par ses activités de forage offshore dans le golfe du Mexique.

Dans les deux cas, les sociétés responsables se sont retrouvées à gérer les conséquences désastreuses d'erreurs dues principalement à une mauvaise appréciation des risques encourus lors de l'ingénierie et la réalisation d'ouvrages pétroliers.

Notre étude s'inscrit, donc, dans une logique d'évaluation d'un risque lié à l'activité de forage. En effet, nous nous sommes proposés d'étudier la vulnérabilité de la nappe phréatique du Mio-pliocène à Hassi Messaoud aux rejets inhérents aux opérations de forage.

Nous nous sommes, donc, intéressés à la description du cadre écologique de la région afin de mieux comprendre l'importance des ressources hydrogéologiques objet de notre étude. La description du cadre écologique est présentée dans le chapitre 1.

Dans le Chapitre 2, nous avons tenu à décrire l'activité de forage dans son ensemble, l'architecture de puits à HMD, le circuit boue ainsi que l'identification et la quantification des rejets. Ceci nous a permis de disposer de données fiables quant à l'ampleur et la nature des rejets générés.

Dans le chapitre 3, nous avons présenté les différents modes et techniques de traitement des rejets de forage adoptés jusqu'à présent par Sonatrach. Nous nous sommes intéressés au contrôle de la conformité de ces traitements par rapport aux exigences contractuelles fixées par Sonatrach.

Dans le chapitre 4, nous présentons l'essentiel de nos résultats obtenus dans le cadre des analyses des eaux prélevées au niveau de puits d'eau puisant dans la nappe du Mio-pliocène. Par ailleurs, nous consacrons une bonne partie du chapitre 4 à la cartographie de la vulnérabilité de la nappe du mio-pliocène en se basant sur les données relatives à 78 puits d'eau puisant, tous, dans cette même nappe ; ainsi qu'aux résultats de la campagne de sismique 3D réalisée en 2006/2007 sur l'ensemble du champ.

Dans l'ensemble, cette étude a été réalisée auprès de Sonatrach – Division Forage, sur des chantiers de forage, des sites de traitement offline, les laboratoires du CRD à HMD ainsi que dans les locaux du Centre de Recherche et d'Analyses Physico-Chimique (CRAPC).

Sur la base des résultats obtenus, nous formulons une conclusion générale et des recommandations pour SONATRACH ainsi que pour la continuation de cette étude.

Chapitre Un

Déscription du cadre écologique de Hassi-Messaoud

Nous nous sommes intéressés dans notre étude au champ pétrolier de Hassi Messaoud. Le présent chapitre est consacré à la description de l'écosystème auquel appartient cette région pétrolifère.

1. SITUATION GEOGRAPHIQUE

Le champ de Hassi Messaoud (HMD) se trouve dans la wilaya d'Ouargla à quelques 650 km, à vol d'oiseau, au Sud-est d'Alger et à 350 km à l'Ouest de la frontière tunisienne, et couvre une superficie de 2250Km².

Les limites du champ de Hassi Messaoud, exprimées par coordonnées géographiques, sont:

- Longitude : Entre 5° 45' 10"E et 6° 17' 36"E
- Latitude : Entre 31° 32' 50"N et 31° 53' 36"N

Autour du champ pétrolifère s'est développé d'une manière anarchique une agglomération dont la population est estimée à 50 000 habitants (sans compter les résidents dans les bases de vie des différentes entreprises).



Figure (1-1): Carte géographique de l'Algérie

2. CLIMATOPE

a. Pluviométrie

Les précipitations sont faibles avec une irrégularité des régimes hydriques accentuant ainsi le caractère aride du milieu. Dans le Sahara central, il peut passer des années de sécheresse sans aucune précipitation.

A Hassi Messaoud la normale annuelle est de 44 mm alors qu'à Alger, elle lui est presque seize (16) fois supérieure.

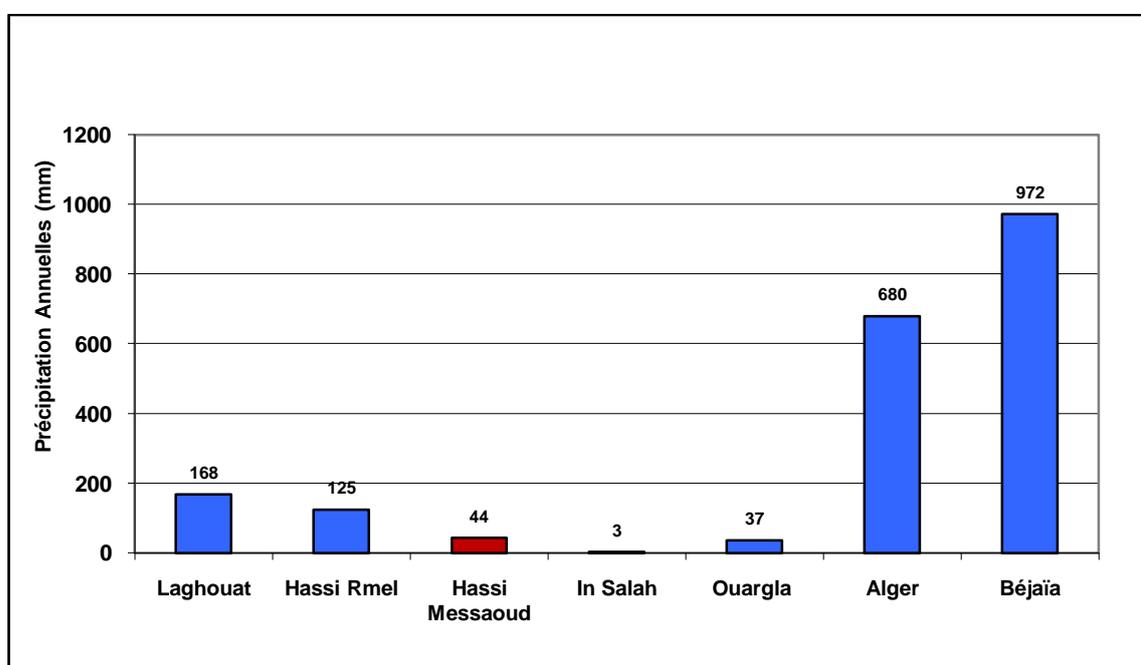


Figure (1-2) : Comparaisons des précipitations annuelles dans divers localités

Le degré hygrométrique, est des plus faibles. Il atteint, parfois, des valeurs inférieures à 20% en période sèche. Au cours de certaines journées d'été, il peut même chuter à moins de 10%.

b. Température

La période la plus chaude s'étale de la mi-juillet à la mi-août, alors qu'à Alger, elle se situe durant le mois d'août. Les minimales sont enregistrées vers la fin décembre et le mois de janvier. A Alger, la période de froid s'étale de fin janvier à la mi-février.

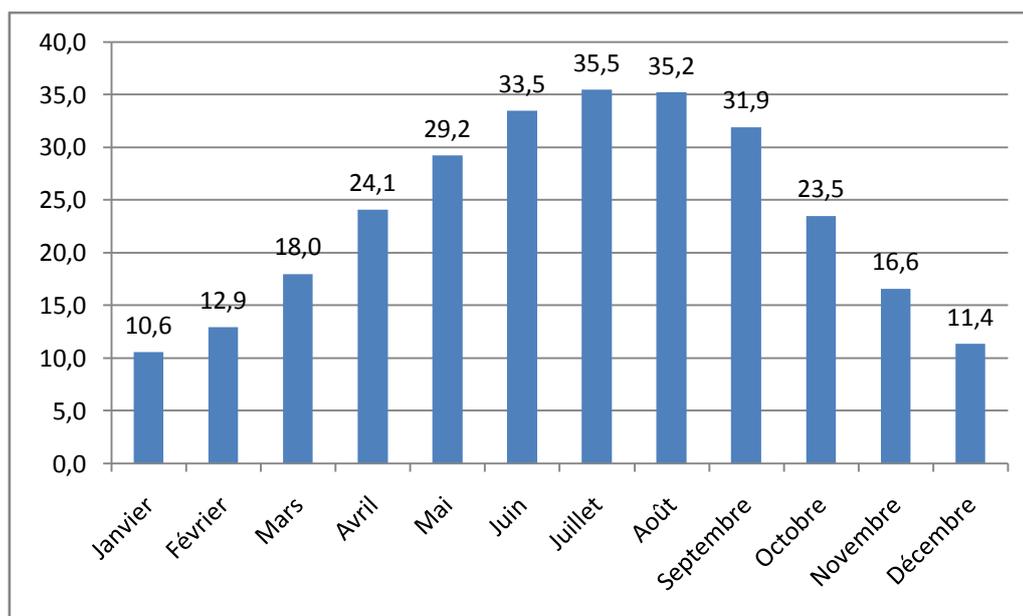


Figure (1-3) : Moyennes des températures à HMD (°C)

c. Ensoleillement – Evaporation potentiel :

En moyenne, à Hassi Messaoud l'insolation comptabilise 3500 heures par an. Pour la comparaison, elle est approximativement de 2800 heures par an à Alger.

L'évaporation potentielle est de 3300 mm/an avec des paroxysmes de 470 mm/mois durant la saison estivale.

d. Régime des vents :

A Hassi Messaoud les vents dominants sont ceux du nord qui atteignent leur paroxysme au mois de juillet. Les vents du Sud-ouest sont fréquents au mois de Janvier.

3. FAUNE

L'inventaire des espèces « endémique » est pauvre : 5 espèces de mammifères, 4 espèces de reptiles, une espèce d'oiseau, 3 espèces d'insectes et une d'arachnides.

Il est à noter que le législateur algérien protège une espèce en particulier : La gazelle blanche.

4. FLORE

Les conditions extrêmes du climat aride du Sahara peuvent s'atténuer permettant ainsi le développement de "microclimats" plus ou moins favorables à l'épanouissement des espèces.

Néanmoins, la richesse aréale en espèce sur une superficie unitaire de 10 000 km² n'est que de 150 espèces au Sahara

La végétation est essentiellement localisée dans les dépressions ou en bas des versants et dans les espaces inter-dunaires. Le degré de couverture varie entre 3 et 5% jusqu'à 10% dans les dépressions.

La majorité des espèces rencontrées sont psammophyles, comme il existe quelques espèces halophiles.

L'espèce dominante dans les ergs est *Aristida pungens* connue sous le nom de « Drinn ». La végétation arbustive est constituée d'*Ephedra Alata* et de *Calligonum Azel*.

Les caractéristiques phytogéographiques de cet espace sont les suivantes:

- Grande pauvreté en espèces : 1000 environ.
- Extrême pauvreté en individus. La végétation étant très clairsemée.
- Monotonie des groupements végétaux
- Culture essentiellement portée sur le palmier dattier.

5. MICROFLORE :

Des études précédentes qui ont été réalisées par SONATRACH- Division Forage pour déterminer les différentes espèces de la flore microbienne dans le sol de Hassi-Messaoud, nous permettent de dresser l'inventaire des 11 espèces suivantes :

- *Pseudomonas aeruginosa*
- *Pseudomonas putida*
- *Micrococcus sedentarius*
- *Micrococcus varians*
- *Staphylococcus intermedius*
- *Staphylococcus carnosus*
- *Staphylococcus chromogenes*
- *Staphylococcus auriculatis*
- *Citrobacter freundii*
- *Enterobacter intermedius*
- *Bacillus circulans*

L'espèce la plus intéressante est édaphique autochtone qui est *Pseudomonas aeruginosa*, elle dégrade les hydrocarbures et diminue leur toxicité, son seuil optimale pour un meilleur développement se situe entre 0,5 et 2% en volume de gazoil.

6. HYDROGEOLOGIE :

L'élément le plus vulnérable de l'écosystème auquel appartient la région de HMD est certainement le système hydrogéologique.

En effet, plusieurs études ont été réalisées et elles s'accordent toutes à définir le système des aquifères du Sahara septentrional SASS comme étant l'élément le plus vulnérable aux rejets inhérents à l'activité pétrolière dans la région.

Afin de comprendre la complexité de ce système, il est utile de rappeler quelques notions de base sur le cycle de l'eau.

a. Rappel sur le Cycle de l'eau :

L'eau de l'hydrosphère se transforme en vapeur sous l'action du rayonnement solaire et s'élève dans l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau, ou elle se condense en nuage ; lesquels engendrent les précipitations (pluie, neige et grêle). Par contre l'autre partie s'infiltré et pénètre dans le sol et renouvelle les stocks d'eau souterraine, et une partie va ruisseler et alimenter l'écoulement de surface.

L'évaporation dépend du vent, de l'ensoleillement, de la température, elle est d'autant plus efficace qu'on est proche de la surface du sol.

Il y a aussi la transpiration des végétaux qui intervient. On parle alors d'un phénomène plus global : L'évapotranspiration.

Les nappes souterraines sont alimentées soit par infiltration, à travers les fissures naturelles des sols et des roches, soit par percolation, en migrant lentement à travers les sols. Plus le processus est lent, plus les eaux ont le temps d'interagir chimiquement avec le milieu et plus le processus est rapide et plus les phénomènes d'érosion seront marqués.

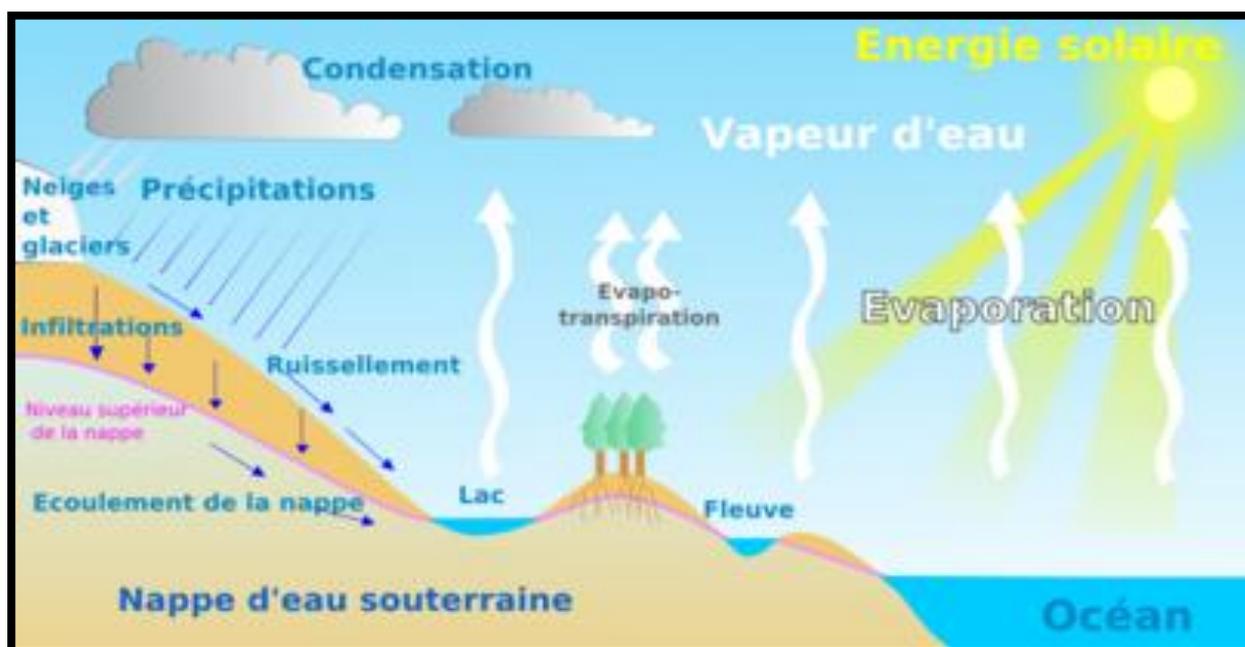


Figure (1-4) : Cycle naturel de l'eau

b. Les différents types d'aquifères :

Un aquifère est une formation hydrogéologique perméable permettant l'écoulement et le captage de quantités d'eau significatives.

La base de l'aquifère est appelée substratum. Elle est constituée d'une formation géologique imperméable, par contre sa limite supérieure est de trois types :

- Aquifère à nappe libre : hydrodynamique avec fluctuation libre, les puits et sondages du premier aquifère rencontré sous la surface du sol.
- Aquifère à nappe captive: les eaux souterraines sont emprisonnées entre deux couches imperméables dans une formation hydrogéologique perméable.
- Nappe semi-captive : le toit de l'aquifère est constitué par une formation géologique semi-perméable.

c. Les Aquifères de la Région de HMD

Les aquifères de la région de Hassi Messaoud font partie du bassin hydrogéologique d'Oued Mya. Celui-ci constitue la partie centrale du sous-bassin hydrogéologique oriental du grand bassin du Sahara septentrional. Il s'agit d'une dépression de 200 X 500 Kms, approximativement, qui correspond à la majeure partie d'un synclinal paléozoïque d'orientation Nord-Est/ Sud-Est.

Il y a deux grandes formations hydrogéologiques perméables identifiées dans ce bassin et qui sont partagées entre trois pays maghrébins : l'Algérie, la Tunisie et la Libye, le partage est approximativement : 700.000 km² en Algérie, 80.000Km² en Tunisie et 250.000 km² en Libye (PNUE, 2002), ces aquifères sont :

- Le Complexe Terminal (CT)
- Le continental intercalaire (CI)

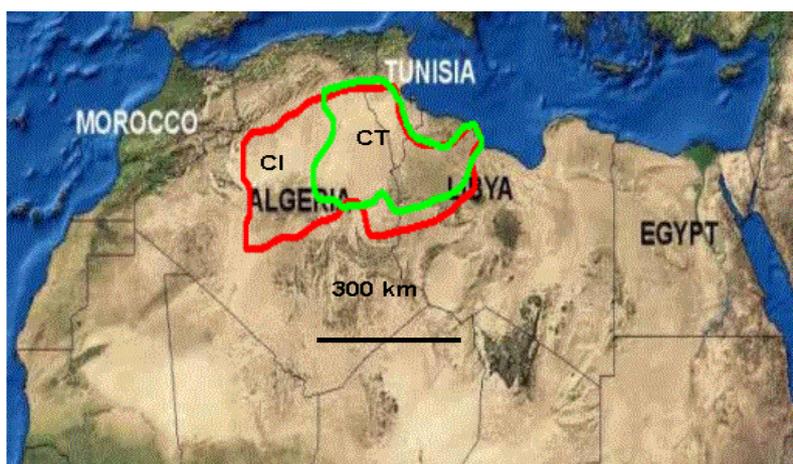


Figure (1-5) : Cadre géographique du SASS

d. Complexe terminal (CT):

L'aquifère du CT est un aquifère multicouche, présentant des formations imperméables ou semi perméable selon les régions, intercalées dans les niveaux perméables.

Le CT regroupe les formations les plus récentes déposées au quaternaire dans le Bas-Sahara et limitées à l'Ouest par la dorsale du M'Zab, au Nord par l'occident majeur de l'Atlas Saharien, à l'Est par le Dahra, par le bassin de Berkine sous l'Erg Oriental.

Il regroupe : Mio-Pliocène, Eocène et Sénonien.

La région est recouverte par des sédiments de couches variables, qui sont constitué essentiellement de sable et d'argile et correspond aux formations mésozoïques et cénozoïques.

e. Continental Intercalaire (CI) :

Désigne l'ensemble des couches détritiques qui se sont déposées au Mésozoïque inférieur au Sahara, entre deux cycles marins, il est limité au nord par l'Atlas saharien, à l'ouest par l'axe Béchar - Reggane et au sud par l'axe Reggan Ain Amenas, c'est une formation du crétacé inférieur.

CI regroupe un complexe formé de quatre aquifère : l'albien, l'Aptien, le Barrémien et le Néocomien. La région est recouverte par des sédiments essentiellement de sable gréseux ou gréseux argileux.

La nappe de HMD se recharge essentiellement du plateau de Tademaït par infiltration des eaux de précipitation, les deux complexes sont représentés dans la figure (1.6)

7. DESCRIPTION DE LA NAPPE DU MIOPLIOCENE A HMD

Le Mio-pliocène à HMD est une nappe libre qui est recouverte par des sédiments tels que le sable et l'argile sableux avec intercalation de couche d'argile et de calcaire appartenant au miocène et au pliocène à ce de tout le quaternaire, cette formation va de quelques mètres jusqu'à plus de 400m d'épaisseur et elle appartient à la couche supérieure du complexe terminale.

A HMD cette nappe est exploitée et utilisée à des fins industrielles et domestiques afin de satisfaire les besoins des chantiers de forage et les bases de vie en eaux.

Etage	Lithologie	(m)	Hydrogéologie
Mio-pliocène	Sable et passées d'argile	215	Complexe Terminal Nappe phréatique du mio-pliocène à HMD est libre. Alimentée principalement du plateau de Tademaït
Eocène	Anhydrite argile Calcaire	345	Formation Imperméable
Sénonien carbonaté	Calcaire, dolomie et argile	460	Nappe des carbonates
Sénonien anhydritique	Anhydrite, argile	665	Formation Imperméable
Sénonien salifère	Sel massif		Formation Imperméable
Turonien	Calcaire	940	Nappe du Turonien
Cénomanién	Anhydrite, dolomie, argile et marne	1090	Formation imperméable
Albien	Sable, grès et argile	1470	Continental Intercalaire L'albien en constitue la partie supérieure
Aptien	Dolomie	1495	
Barrémien	Sable, grès et argile	1770	
Néocomien	Argile, grès et dolomie	1970	

a. Caractéristiques du MioPliocène à HMD:

C'est un réservoir de bonne perméabilité qui varie de $0,197 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ à $54 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$, qui a une porosité moyenne estimée à 20%. Cette nappe est alimentée par l'affleurement calcaire du plateau de Tademaït par infiltration dans les couches de sable qui recouvrent le bassin d'oued Mya en direction du nord et du nord-est vers la région des grands chotts.

Le gradient hydraulique est faible est varie de 0,25 m/Km à 0,62 m/Km. Le niveau piézométrique moyen est de 110 m. Il varie de temps en temps due à la surexploitation de la nappe et le niveau statique varie de 10 à 48m.

Miopliocène	Perméabilité (m/s)	Porosité	Gradient hydraulique (m/Km)	Niveau statique (m)	Niveau piézométrique (m)
	$0,197 \times 10^{-5}$ à 54×10^{-5}	20%	0,25-0,62	10 – 65	110

8. DISCUSSION

Dans ce premier chapitre l'étude était dédiée à la description de l'écosystème auquel appartient la région de Hassi-Messaoud qui se caractérise par une très faible pluviométrie, un climat aride et une pauvreté en espèces et un caractère épars de la faune et de la flore. Néanmoins, le champ est connu pour ses richesses souterraines telles que le pétrole et les ressources en eau non renouvelables du système des aquifères du Sahara septentrional.

En effet, les aquifères de la région de HMD appartiennent au système des aquifères du Sahara septentrional, il est constitué principalement de deux complexes majeurs qui sont :

- Le Continental Intercalaire
- Le Complexe Terminal

A ce dernier appartient le Mio- pliocène, la nappe phréatique de la région de HMD, qui est confronté aux risques de contamination par les rejets inhérents à l'activité de forage principalement par percolation et infiltration des eaux de rejets chargées de polluants organiques lessivés dans les bourbiers de forage.

De ce fait, l'élément de l'écosystème le plus vulnérable à HMD est la nappe phréatique qui est l'objet de notre étude (voir le chapitre cinq : étude de vulnérabilité du Mio-pliocène).

9. BIBLIOGRAPHIE DU CHAPITRE 1

- 1) O. Dhina & M.C. Aroun, *Environment preservation in oil & gas upstream activities in Algeria – Difficulties and sustainable development challenge*. Papier présenté au 19^{ème} Congrès Mondial de l'Energie – Sydney, Australie - du 5 au 9 Septembre 2004
- 2) O. Dhina, M.S. Aissat & K. Belkheir, *Northern Sahara aquifers protection: Casing Corrosion problems and defining new well construction performances – Case Study: Hassi Messaoud oilfield Algeria*. SPE 94427 – Papier présenté à la conférence de la *Society of Petroleum Engineers – International Symposium on Oilfield Corrosion* – Aberdeen, 13 mai 2005
- 3) Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS) (2003) "System Aquifère du Sahara Septentrional SASS, gestion commune d'un basin transfrontière. Principaux Résultats".[Online],: www.unesco.org/oss
- 4) UNEP (2002) "Protection of the North West Sahara Aquifer System and related humid zones and ecosystems". Revised version of the Medium Sized Project with comments by Global Environmental Facility (GIF). [Online], disponible sur www.gefweb.org
- 5) P. Ozenda, Flore du Sahara. CNRS Paris 1977.
- 6) G. Castany, Hydrogéologie - principe et méthode (2ème cycle): 1998
- 7) Les formations aquifères du Continental Intercalaire et du Complexe Terminal dans le bassin triasique. Sonatrach – Division Forage. Document interne - Mai 1988.
- 8) Mémoire de fin d'étude : analyse microbiologique des sols contaminés par les hydrocarbures à Hassi-Messaoud.

Chapitre Deux

Identifications et quantifications des rejets

D'une part l'énergie fossile est bénéfique pour l'humanité, car elle est utilisée à diverse fins telle que le transport et l'industrie, mais d'une autre part cette énergie est responsable de pollutions dont les effets sont souvent catastrophiques. Un exemple des plus récents est celui des fuites de brut d'une plateforme offshore dans le golfe du Mexique et dont la société *British Petroleum* en a été le responsable.

L'industrie pétrolière est toute une chaîne, constituée de plusieurs maillons, qui commence par l'exploration et le forage et qui va au-delà de la commercialisation et le raffinage.

Dans notre étude nous nous sommes intéressés à la vulnérabilité de la nappe phréatique aux rejets inhérents à l'activité de forage à Hassi Messaoud.

Ce deuxième chapitre est consacré à la description de l'architecture des puits à Hassi Messaoud, des fonctions de l'appareil de forage, des systèmes de « boues » de forage utilisées ainsi qu'à l'identification et quantification des différentes formes de rejets.

1. DEFINITION DU FORAGE

Dans un sens strict du terme, le forage est l'action de désagrégation mécanique des roches en vue de pénétrer progressivement dans le sous sol afin d'atteindre un objectif situé à une certaine profondeur.

Dans l'industrie pétrolière, le forage a un sens beaucoup plus large. En effet, l'on peut définir le forage dans l'industrie pétrolière comme étant l'ensemble des opérations de construction de puits, selon une architecture établie, pour atteindre un objectif pétrolier potentiel ou confirmé.

2. LE FORAGE DANS L'AMONT PETROLIER

Avant tout investissement industriel, le mettre d'œuvre doit étudier et planifier avec son équipe, avant de procéder à la réalisation, dans le but d'évaluer la rentabilité technico-économique de sont projet.

Les forages pétroliers sont réalisés dans le but de confirmer la présence d'hydrocarbure contenu dans la roche réservoir, par ailleurs avant leur réalisation il faut déterminer le profil et l'architecture du puits dans le but de :

- Déterminer la situation géographique.
- Le cadre géologique.
- Le programme de forage et de tubage.
- Le matériel.
- Le personnel.

Les premières études sont faites par les géophysiciens et les géologues afin de déterminer la morphologie, la géologie et les caractéristiques chimiques des terrains à forer.

Les géophysiciens émettent l'hypothèse de l'existence ou non d'une roche réservoir, c'est le premier objectif recherché, le deuxième est de connaître la lithologie du sol.

Par la suite les ingénieurs de génie civil se chargent de la construction du camp de vie et de la plate forme en béton qui va soutenir les installations de l'appareil de forage.

3. LE FORAGE ROTARY

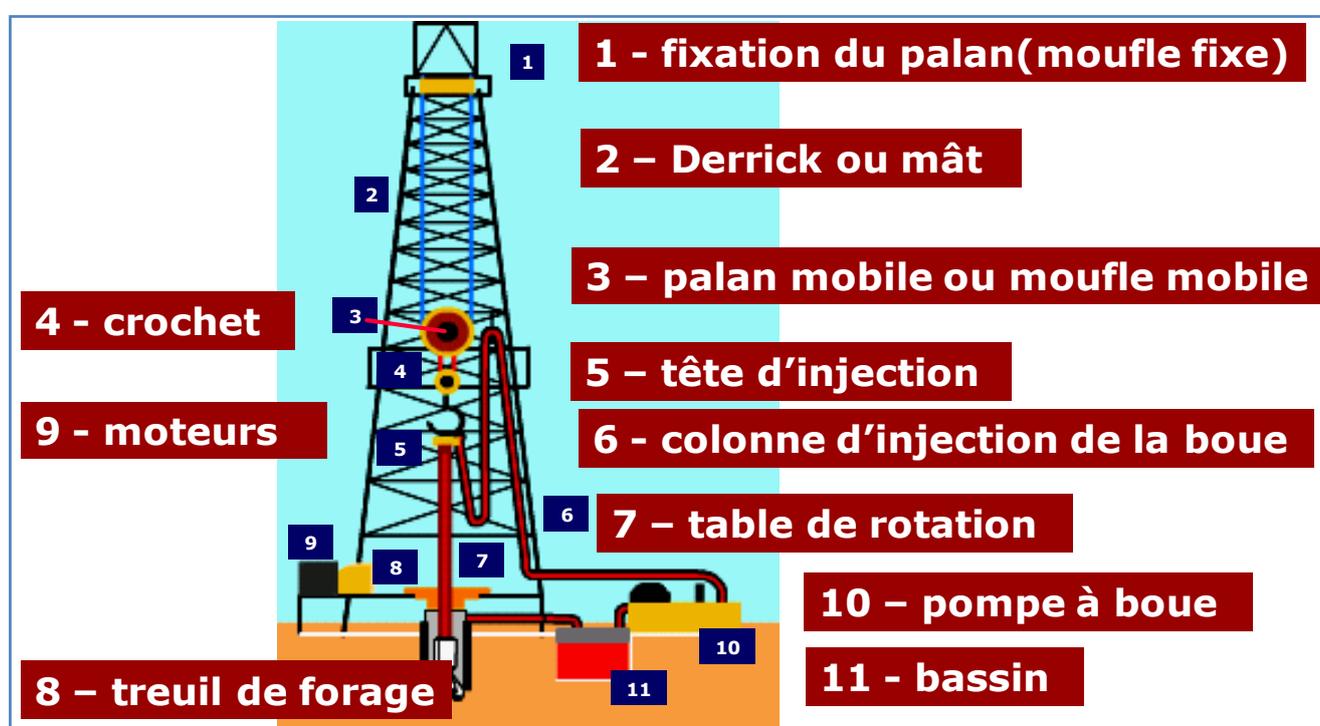
Dans l'industrie pétrolière pour réaliser un puits, on a recours à la technique de forage en Rotary qui consiste à utiliser un outil de forage (à dents de type tricône, en diamant ou PDC) sur lequel est appliquée un poids et une rotation.

Des tiges creuses, appelées *Drill Pipes*, sont utilisées pour transmettre le poids et la rotation à partir de la surface.

L'avantage de cette méthode est de pouvoir injecter en continu le fluide de forage qui a plusieurs rôles et fonctions qui seront développés plus loin dans ce chapitre.

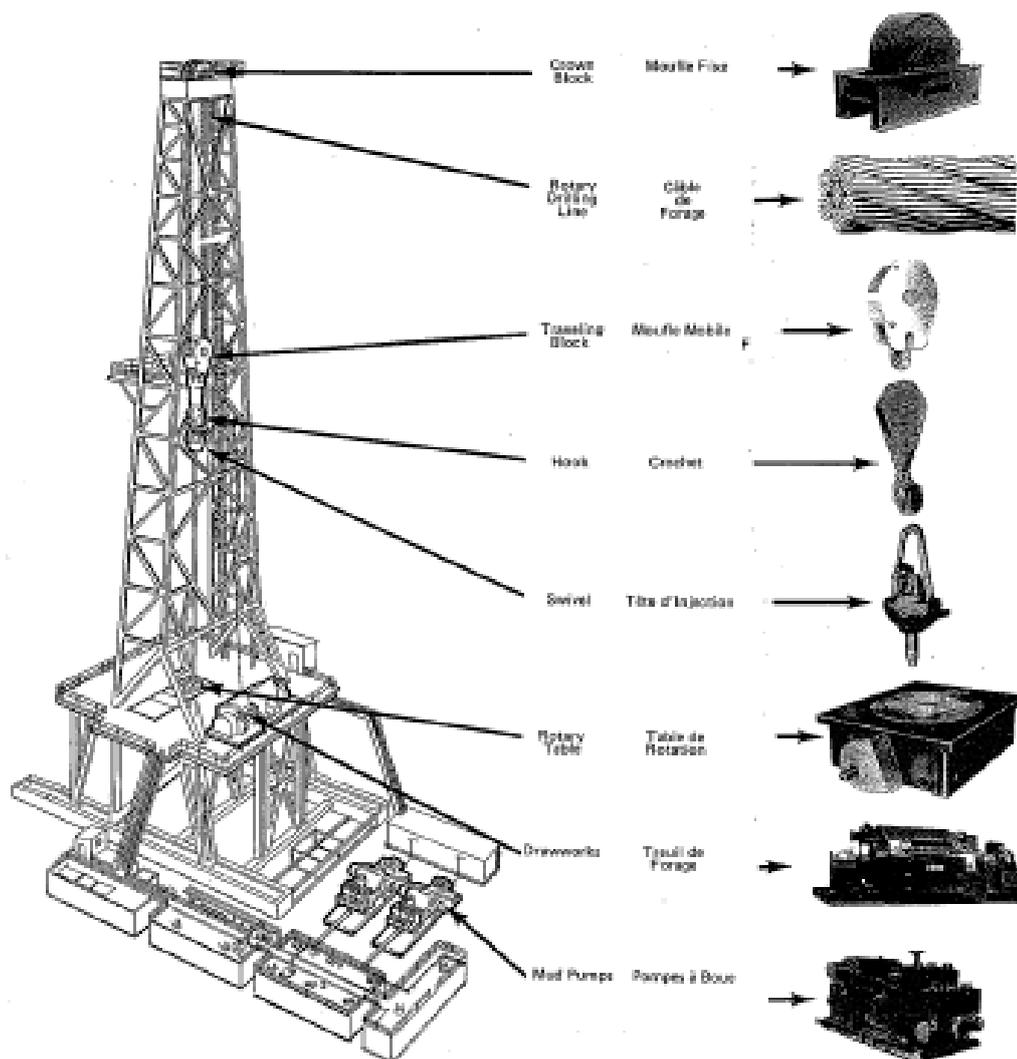
Un appareil de forage est constitué de plusieurs équipements dont : un treuil, un mât, une table de rotation, un moufle mobile, un moufle fixe, des pompes ... etc.

Figure (2-1) : Constitution d'un appareil de forage conventionnel



L'appareil de forage doit assurer trois fonctions essentielles :

- La fonction levage
- La fonction rotation
- La fonction pompage



<Figure (2-2) : Description d'un appareil de forage conventionnel

a. La fonction levage:

La garniture de forage est très lourde, elle peut atteindre les 150 tonnes, et pour cela il est nécessaire d'utiliser plusieurs équipements pour pouvoir soulever la garniture.

Les équipements utilisés sont :

- Le mât: il est de structure en forme A et pointu, il supporte toute la garniture.
- Le treuil : c'est le cœur d'un appareil de forage, c'est sa capacité qui caractérise un appareil de forage et indique la classe de profondeur des forages que l'on pourra effectuer.

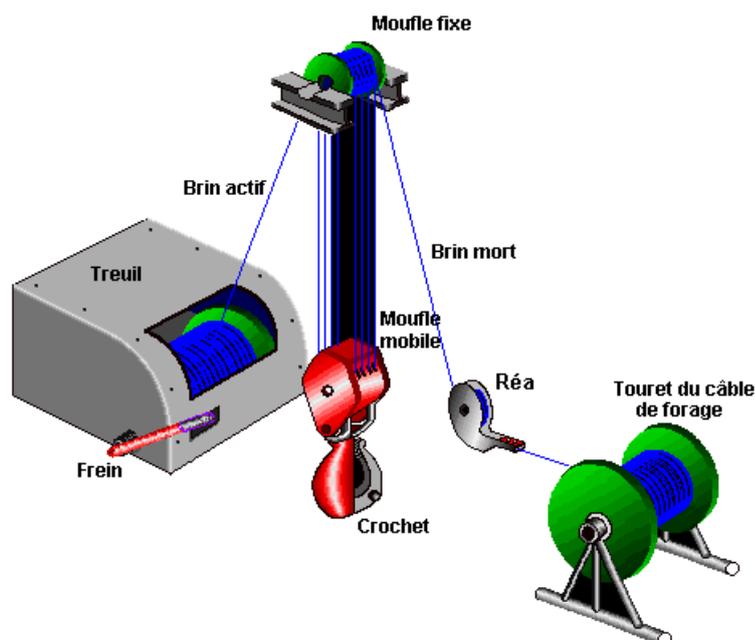


Figure (2-3) : Fonction Levage dans un appareil de forage

b. La fonction rotation:

La garniture de forage est constituée de plusieurs tiges qui sont les tiges cylindriques, les masses tiges, la tige d'entraînement qui est de section carré et l'appareil de forage.

La table de rotation contient un carré d'entraînement dans le quel on introduit la tige d'entraînement qui transmet le mouvement de rotation à toute la garniture.

Actuellement la table de rotation a été remplacée par le top drive.

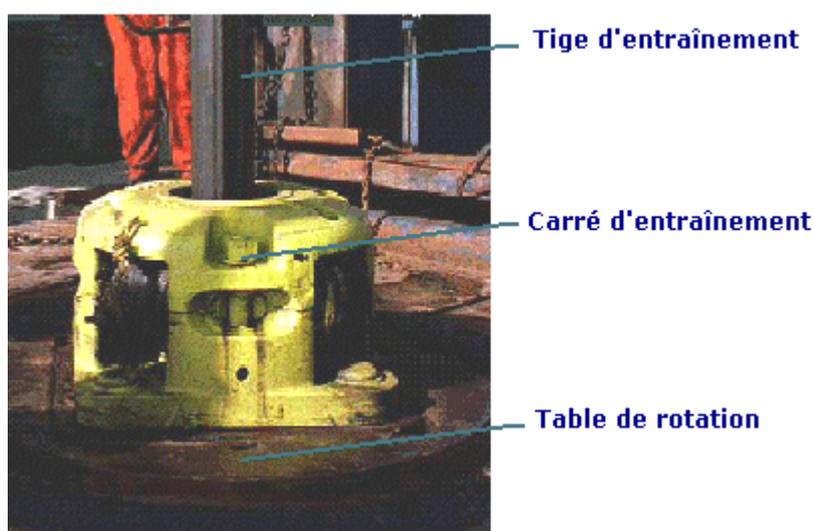


Figure (2-4) : Fonction Rotation dans un appareil de forage

c. La fonction pompage :

Durant le forage, un fluide, appelé dans le jargon du métier « boue », est pompé à partir de la surface pour lui permettre de remplir les rôles pour lesquels il est employé et qui sont détaillés plus loin dans ce chapitre.

L'une des fonctions de la « boue » est de permettre de bien nettoyer le puits des déblais de forage. Non seulement, il est question, alors, de propriétés physico-chimiques de la boue, mais aussi il est indispensable d'avoir un débit minimum pour chaque phase.

Le débit (Q) est l'un des paramètres essentiels de forage, en plus du nombre de rotations par minute (RPM) et le poids appliqué sur l'outil (WOB). Le débit optimal est calculé en phase d'ingénierie. Il devrait être suffisant pour assurer un bon nettoyage et pas trop élevé pour ne pas déstabiliser les parois du trou.

Ceci dit, pour délivrer ce débit optimal, des pompes puissantes devraient être utilisées pour permettre de vaincre les pertes de charge lors de l'écoulement de la boue des bacs en surface, à l'intérieur du train de tige ainsi que dans l'espace annulaire. Ces pertes de charge peuvent atteindre les 350 bars (± 5000 psi).

Sur les appareils de forage déployés sur HMD, des pompes triplexes de 1600 Horsepower de puissance, sont employées. La puissance des pompes est liée aux débits requis et aux pressions développées pour atteindre ces débits optimaux pour chacune des phases de construction du puits :

$$\mathbf{HP = \frac{Q \text{ (gpm)} \times P \text{ (psi)}}{1714}}$$

- Q (gpm) : Débit en Gallon par minute
- P (psi) : Pression développée en Pounds per square inch

Deux pompes par appareil sont utilisées. La boue est aspirée des bacs et refoulée par les pompes à travers le « stand pipe » pour passer à travers la tête d'injection ou la top drive, selon le cas, puis l'intérieur du train de tige, passer à travers les orifices

de l'outil de forage et remonter par l'espace annulaire jusqu'en surface où elle sera traitée en passant à travers une batterie d'équipements de traitement.

4. ARCHITECTURE DE PUIITS A HMD

La réalisation d'un puits se fait en cinq phases, cela à cause de la complexité lithologique et géologique des terrains.

Le forage jusqu'au réservoir se fait comme suite :

- Forer un trou de 26 pouces de diamètre jusqu'à 40 mètre dans le sénonien anhydritique et tuber le trou de surface avec un casing 18"5/8.
- Reprendre le forage en 16 pouces jusqu'à 110 m dans le dogger lagunaire et tuber avec un casing 13"3/8.
- Reprendre le forage en 12"1/4 jusqu'à 10 m au dessus du G35 et tuber avec un casing 9"5/8.
- Reprendre le forage en 8"1/2 jusqu'à pénétrer de 3 m dans le réservoir cambrien puis tuber avec une colonne perdue (liner) de 7" de diamètre.
- Le réservoir est foré en 6" et sera soit laissé en openhole ou tubé en 4"1/2.

Ainsi les différentes phases sont :

Phase 26" : Le fluide utilisé est une boue à base d'eau bentonitique de densité 1,05. La lithologie traversée est constituée de sable ou sable argileux. On atteint une profondeur de 500m à la fin de cette phase.

Phase 16" : le fluide utilisé est une boue à base d'huile, une émulsion inverse avec un rapport Huile/Eau de 70/30. La densité est d'abord de 1,20 avant d'être élevée à 1,25 en pénétrant l'albien. Les couches traversées sont constituées essentiellement de sable avec intercalation d'argile, calcaire et dolomie, l'intervalle est de 1900m, jusqu'à une profondeur de 2400 m.

Phase 12" ¼ : Le fluide utilisé est une boue à base d'huile avec un rapport Huile/Eau égal à 85/15. La densité varie est de 2,05 et les formations traversées sont

constituées d'une alternance d'argile, d'anhydrite et de sels. L'intervalle foré est 900m jusqu'à une profondeur de 3300m.

Phase 8'' 1/2 : Le fluide utilisé est une boue à base d'huile avec un rapport Huile/Eau égal à 85/15. La densité varie entre 1,40 – 1,45. La lithologie est constituée de grès et d'argile abondant, l'intervalle foré est de 200 m, jusqu'à une profondeur de 3500m.

Phase 6'' : Le fluide utilisé est une boue à base d'huile de densité pouvant aller de 0,90 à 1,50, selon la pression du réservoir et les couches traversées sont constitué de grès quartzitiques du cambrien. L'intervalle peut varier de 90 m pour des puits verticaux jusqu'à 1000 m lorsqu'il est question de drain horizontal.

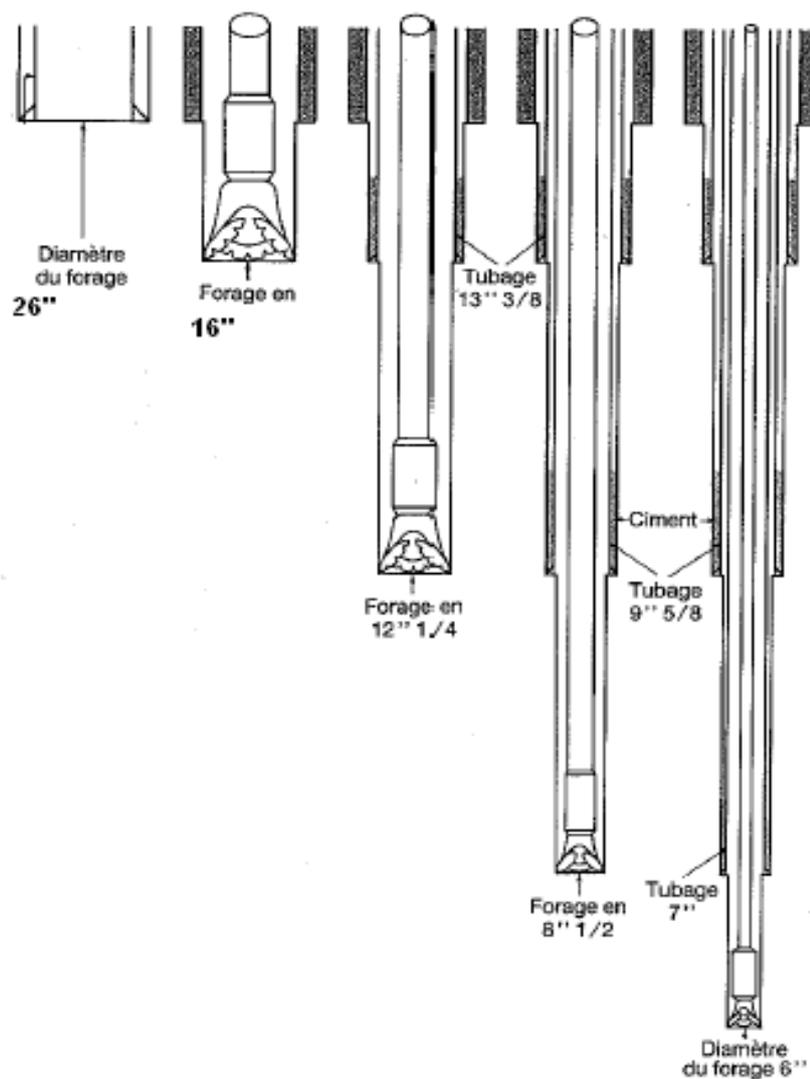


Figure (2-5) : Phases de forage à HMD

Tableau (2-1) : Phases et « boues » utilisées à HMD

Phase	Intervalle (m)	Profondeur atteinte (m)	Type de boue	Densité	tubage
26"	500	500	A base d'eau	1,05	18" 5/8
16"	1900	2400	A base d'huile	1,25	13" 3/8
12" 1/4	900	3300	A base d'huile	2,05	9" 5/8
8" 1/2	200	3500	A base d'huile	1,45	7"
6"	90 – 1000	3590 - 4500	A base d'huile	0,9 - 1,5	4" 1/2

Stratigraphie		Tops m	Lithologie	Description	Phase	tubage Programme		Type de boue				
SYS	SERIES											
CRETACE	Mio-Pliocene	0		Sable, Calcaire, marne sableuse	26" hole x 18-5/8" csg		Csg 18-5/8" Grade: J55 BTC Weight: 87.5 #	Boue à eau 1.05 sg				
	Eocene	250		Sable, Calcaire à silex								
	SENONIAN	Carbonate	350						Calcaire, Dolomie, Anhydrite			
		Anhydritique	475						Anhydrite, Dolomie, sel			
		Salifère	650									
	TURONIAN	830		calcaire crayeux avec quelques niveaux argileux								
	CENOMANIAN	930		Anhydrite, Marne, Dolomie								
	ALBIAN	1100		Grés, Sable avec intercalation d'argile silteuse					16" hole x 13-3/8" csg		Intermediate Csg 13-3/8" Grade: N80 / BTC Weight: 68 #	IOBM 1.25 sg
	APTIAN	1400		Dolomie Cristaline								
	BARREMIAN	1420		Argile, Grés, Dolomie								
NEOCOMIEN	1700		Argile, Marne, Dolomie, Grés									
MALM	1850		Argile, Marne, Calcaire, Grés et trace d'Anhydrite									
JURASSIQUE	DOGGER	Argileux	2080		12-1/4" hole x 9-5/8" csg		Production Csg 9-5/8" Grade: P110 / BTC Weight: 47 # from 0-1500m Weight: 53.5 # from 1500m to 3347m	IOBM 2.05 sg				
		Lagunaire	2150						Argile silteuse, Marne dolomitique avec fines passées de grés			
	LIAS	LD1	2450						Dolomie, Anhydrite, Argile			
		LS1	2500						Alternance sel, Anhydrite, Argile			
		LD2	2600						Anhydrite et dolomie cristalline			
		LS2	2650						Alternance sel et argile			
	LD3	2720		Alternance de dolomie et de marne								
	SALIFERE	TS1	2750						Alternance desel, d'anhydrite et de dolomie			
		TS2	2800						Sel massif à intercalations d'anhydrite, d'argile massive			
		TS3	3000						Sel massif et trace d'argile			
ARGILEUX G10		3200										
ARGILEUX G35		3350		Argile rouge dolomitique								
TRIAS	ARGILO-GRES & CARBONATE	G50	3380		8-3/8" hole x 7" liner		Production Liner 7" Grade: P110/NewVam Weight: 32 # (10 JTs) Weight: 29 # (to TOL)	IOBM 1.40 sg				
		ANDESITIQUE	3390						Andésites altérées			
	ZONE DES ALTERNANCES	3435		Grés								
	Reservoir Ri	3440		Argile Sable								
CAMBRIAN	Reservoir Ra	3490		Quartzitic sandstone	6" open hole			0.90 à 1.50 sg				
	Reservoir R2	3590		Quartzitic sandstone								

Reservoir pressure: 470 kg/cm2 @ 3427m

Figure (2-6) : Architecture de puits à HMD

Cimentation des casings

Une fois un trou de diamètre donné foré il doit être couvert avant de changer la densité de la boue de forage pour la phase ultérieure. Cela se fait à l'aide de casing en acier. Ce casing peut être une colonne complète qui remonte jusqu'en surface, ou une colonne ancrée plus bas, appelée colonne perdue ou *liner*.

Le casing descendu est cimenté pour assurer une bonne étanchéité et une résistance durable entre le tubage et le trou, pour bien sceller le tubage dans le puits.

5. DESCRIPTION DU CIRCUIT « BOUE » :

La boue est aspirée des bacs et refoulée par les pompes à travers le « stand pipe » pour passer à travers la tête d'injection ou la top drive, selon le cas, puis l'intérieur du train de tige, passer à travers les orifices de l'outil de forage et remonter par l'espace annulaire jusqu'en surface où elle sera recueillie dans un tube fontaine puis acheminée pour être traitée à travers une batterie d'équipements de traitement.

La boue passe, d'abord, à travers des tamis vibrants (**Shale Shakers**) pour se débarrasser des déblais de grand diamètre, puis elle est acheminée vers un bassin de décantation où il va y avoir sédimentation, par gravité, de certains déblais. Elle est ensuite refoulée vers un **Mud Cleaner** qui est un ensemble tamis et **hydrocyclones** qui retiennent des particules plus petites. En bout de chaîne, la boue est passée à travers deux **centrifugeuses** puis envoyée vers le bac à boue où elle va être ajustée par des appoints d'additifs pour retrouver ses caractéristiques originales.

De ces bacs, la boue est de nouveau aspirée par les pompes et refoulée dans le puits à travers le stand pipe et le train de tiges.

Tableau (2-2) : Equipement et taille des particules éliminées

Equipement	Maillage optimum (mesh)	Solides éliminés > micron
Shale Shaker	32 à 80	500 à 178
Mud Cleaner	200 à 150	104 à 74
Centrifugeuse		2

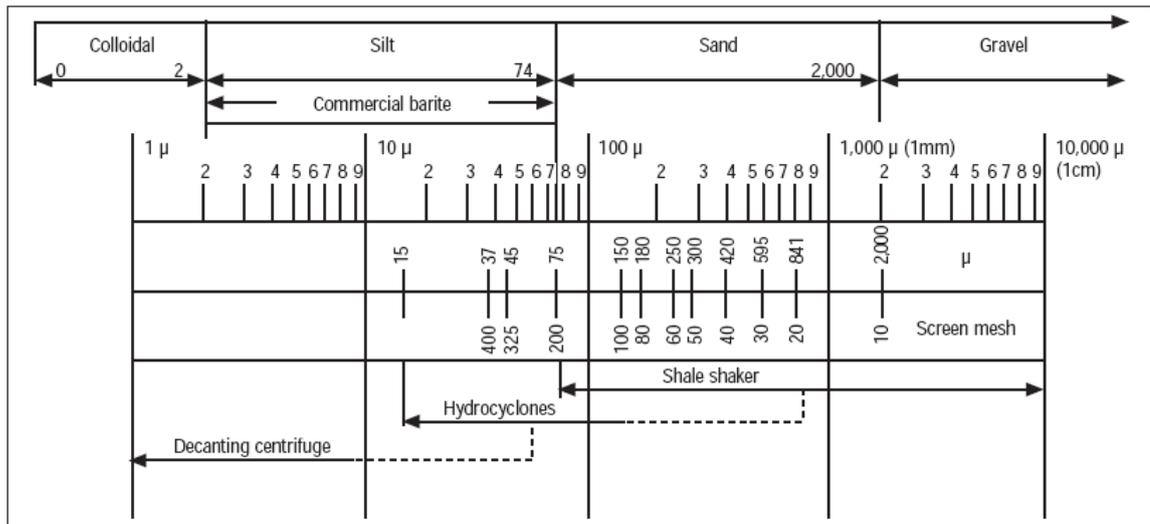


Figure (2-7): Equipements et taille des particules éliminées

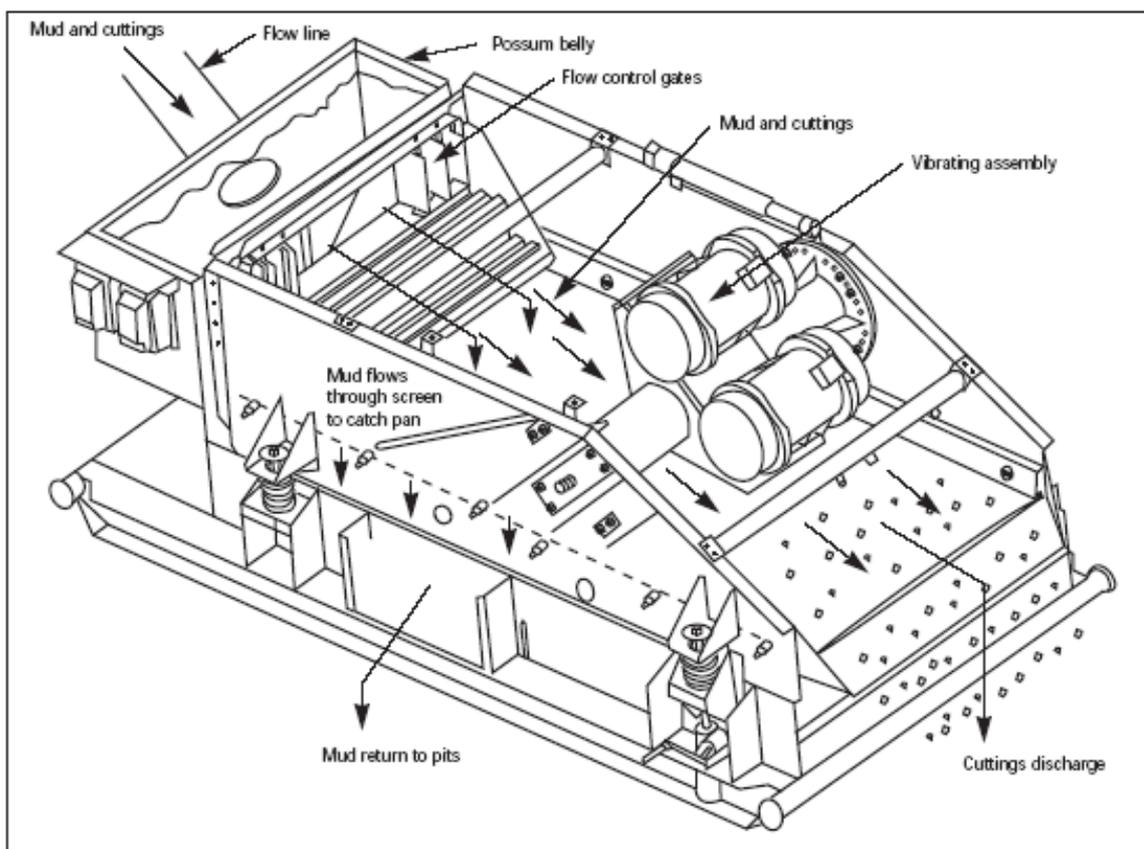


Figure (2-8): Description d'un shale shaker

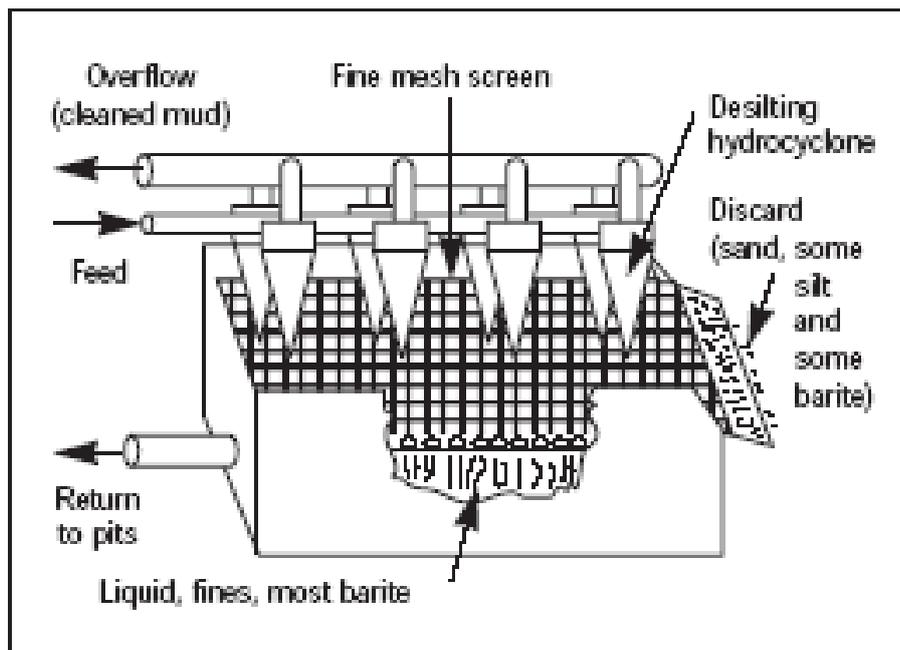


Figure (2-9) : Description d'un Mud Cleaner

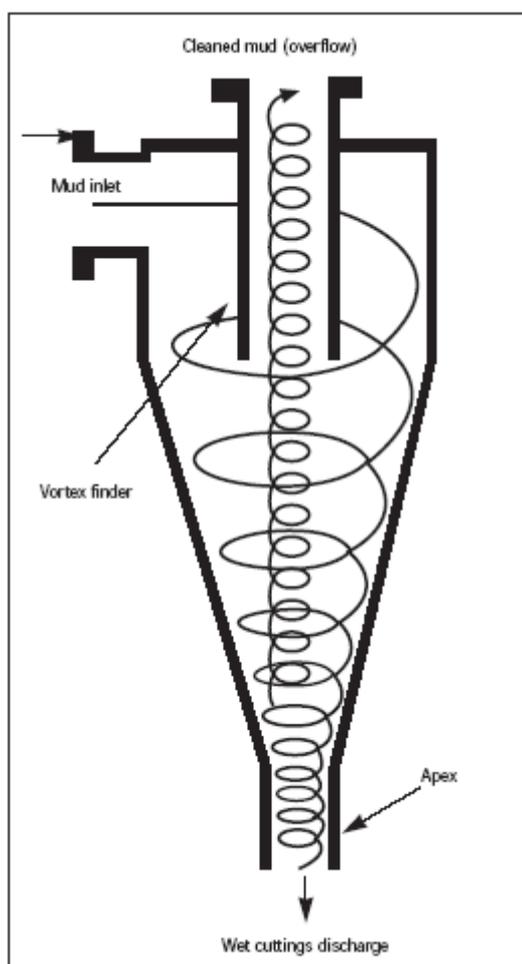


Figure (2-10) : Hydrocyclone

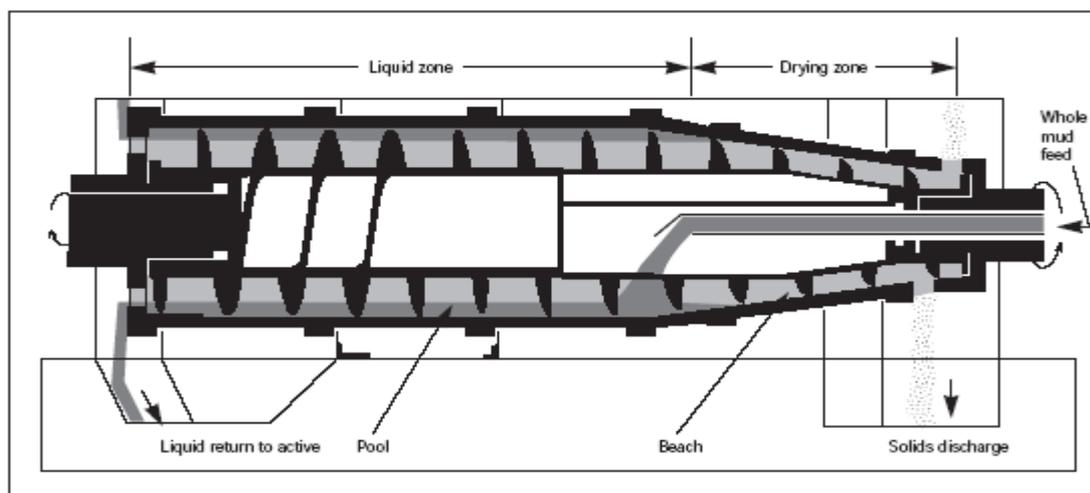


Figure (2-11) : Centrifugeuse

a. Rôle du fluide de forage :

La boue de forage à plusieurs rôles dont:

- Assurer la remontée des déblais (*cuttings*) : il y a trois paramètres qui influent sur l'efficacité de nettoyage du trou et qui sont : la vitesse du fluide dans l'annulaire elle varie entre 25 et 60m/min, le poids volumique et la viscosité.
- Le resserrement des parois : cela par filtration de la phase liquide de la boue de forage sur les formations perméables qui induit à la formation d'un film appelé cake et qui est consolidé par les produits réducteur de filtrat.
- Refroidissement, lubrification de l'outil de forage et diminution des frottements de la garniture de forage ;
- Le maintien des déblais en suspension après arrêt de la circulation.
- Prévention des venues d'eau, de gaz ou d'huile : car la boue exerce une pression hydrostatique P_h , si cette pression reste supérieur a celle des fluides de formation, il n'y aura pas de venue dans le puits.

b. Les types de fluide de forage

Il y a principalement deux types de boue qui sont classées selon la nature du fluide de base et qui sont:

- Les Boues à base d'eau (Water Based Mud WBM)
- Les Boues à base d'huile (Oil Based Mud OBM),

Il existe deux catégories d'OBM : les boues à l'huile avec quelques pourcents d'eau et les boues à émulsion inverse.

- Une Boue à base d'huile est constituée de 95 à 98% d'huile et de 2 à 5% à d'eau.
- Boue inverse se sont des fluides de forage ou de complétion constitués d'une phase d'huile et d'une phase aqueuse dispersée en émulsion au moins 50% en volume.

Tableau (2-3) : Applications des différents systèmes de boue

Boue	Boue bentonitique	Boue à émulsion inverse	Boue à base d'huile
Application	Utilisé pour la première phase de démarrage.	Problème de forage à haute température Problème de déviation Plus des avantages de la boue à l'huile	Forage des zones difficiles et carottage Entretien des puits difficiles

c. Avantages et inconvénients des boues à base d'huile

Avantages :

- Contrôle aisé des caractéristiques en l'absence de venues d'eau ou de brut.
- Insensibilité aux contaminants habituels des boues à base d'eau (NaCl, CaSO₄, ciment, argile).
- Excellentes caractéristiques de filtration statique en température et pression, cake très mince.
- Forage à densité proche de 1.
- Réduction des frottements de la garniture sur les parois du puits
- Augmentation de la durée de vie des outils à molettes.
- Suppression du collage par pression différentielle.
- Meilleure récupération en carottage.
- Carottes sur lesquelles il est possible de mieux approcher la valeur de la teneur et la nature de l'eau interstitielle.
- Augmentation, par rapport au forage en boue à l'eau, de la productivité.
- Moindres dommages à la formation.

Inconvénients:

- Sensibilité à l'eau et à certains bruts.
- Risque de sédimentation des alourdissements.
- Manipulation salissante.
- Risque d'incendie.
- Détérioration des caoutchoucs non spécifiques aux hydrocarbures.
- Difficultés pour déceler la présence d'huile dans les déblais.
- Certaines méthodes de diagraphies instantanées et différées ne sont pas applicables.
- Prix de revient au m³ plus élevé que les boues à l'eau.

Pour que la boue puisse assurer les différentes fonctions, il faut l'ajout de plusieurs additifs : des viscosifiants, réducteurs de filtrat, fluidifiants, contrôleurs du pH, précipitation du calcium, produits colmatant, produits alourdissant ... etc.

Les tableaux ci-dessous résument les produits utilisés, leur rôle et la quantité utilisée pour la constitution de la boue pour les différentes phases du puits (La formulation de la boue proposée par la société AVA a été prise comme exemple)

Tableau (2-4) : Formulation de la boue bentonitique utilisée à HMD

PHASE 26''		
PRODUIT	Kg / m3	ROLE
BENTONITE (Argile)	80	Viscosifiant
NaOH	1	Précipitation des Ca et augmentation du rendement de l'argile
Na ₂ CO ₃	1	Augmentation du rendement de l'argile
AVAGUM	1	Viscosifiant
ECOLUBE	2	Lubrifiant
AVADETER	3	Détergeant anti-bourrage
CMC LVT	< 1 (0,013)	Viscosifiant
GRANULAR	3	Traitement des pertes
AVAMICA MC	3	Traitement des pertes

Tableau (2-5) : Formulation des boues à l'huile utilisées à HMD

Phase		16''	12 1/4	8 1/2	6''
Produits	Rôle	Concentration en Kg ou litre /m3 de boue			
Gasoil	Phase continue	590L t	513	662	880
AVOIL PE/LT	Emulsifiant primaire	11	11	11	12
AVOIL SE/LT	Emulsifiant secondaire	11	11	11	12
AVABENTOIL SA	Agent de suspension	10	13	13	12
LIME	Contrôle de l'alcalinité	30	30	30	25
NaCl	Salinité	298	109	138	56
AVOIL FC	Fluidifiant	5	5	5	30
Baryte	Alourdissant	274	1394	592	Appoi nt
AVABENTOIL HY		/	/	/	36

6. IDENTIFICATION DES REJETS :

En se basant sur l'inventaire des rejets établi par Sonatrach – Division Forage, nous avons pu identifier deux ensembles de rejets :

a. En surface :

- Rejet de fluide de forage.
- Déblais de forage.
- Rejet de l'opération de cimentation.
- Rejet d'eau usée.
- La ferraille.
- Les matériaux d'emballage.
- Les pertes de produit dû au mauvais stockage.

b. Dans le sous sol :

- Les pertes de fluide de forage dans les formations.
- Les mauvaises cimentations et risque de mettre deux formations en communication.

Lors de notre étude, on s'intéresse à la quantification d'un mélange de rejets identifiés en surface qui présentent un danger potentiel pour la nappe phréatique. Ces rejets sont:

- **Les déversements accidentels de boue**
- **Les eaux de rejet**
- **Les déblais de forage enrobés de boue** (et la quantité de quelques produits chimiques qui le constituent)

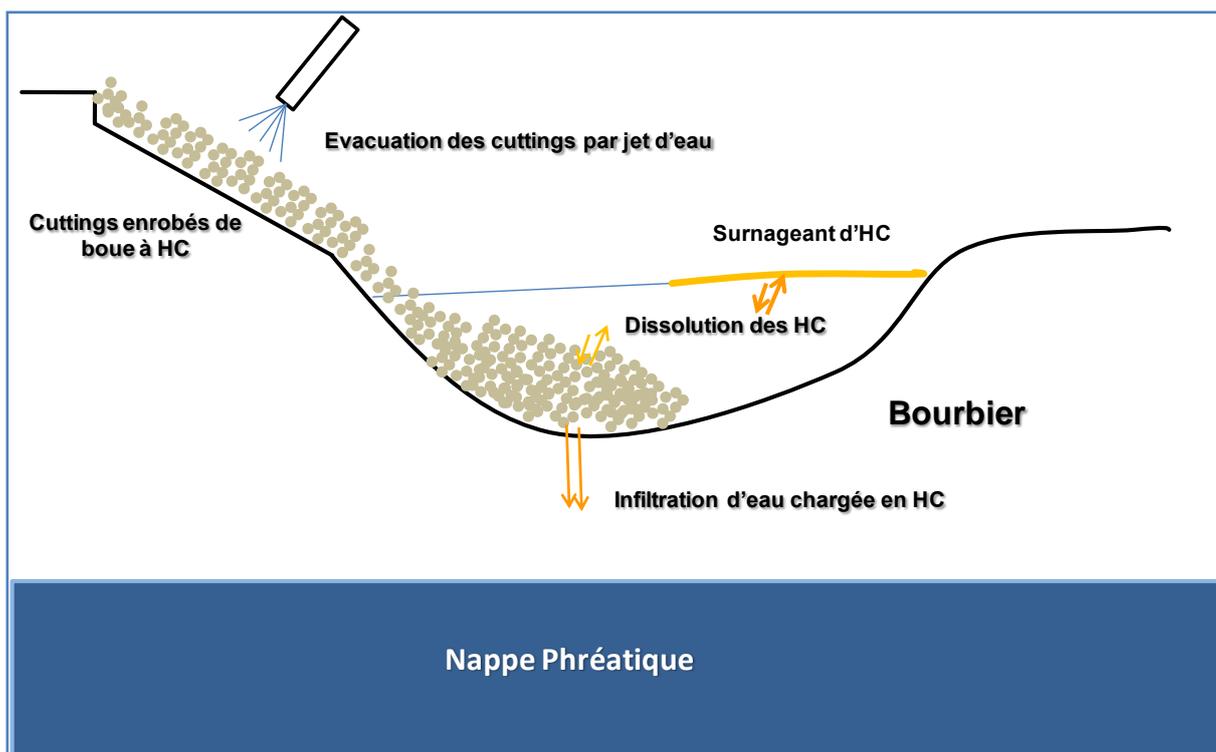


Figure (2-12) : Illustration du risque de lessivage et percolation des boues de forage

7. QUANTIFICATION DES REJETS :

a. Eaux de rejet :

Pour la quantification des eaux de rejets par puits à HMD, nous nous sommes référés aux données relatives à la consommation.

En effet, l'on peut admettre que presque la quasi-totalité des eaux consommées va être rejetée, in fine.

Les eaux industrielles consommées pour les besoins du forage proviennent de sondage (puits) d'eau réalisés à cet effet et, par situation, par citernage. Le tout étant comptabilisé.

Les résultats de l'analyse de la consommation des eaux sont illustrés dans la figure (2-15)

b. Déversement accidentel de boue de forage :

Selon les procédures HSE de Sonatrach, les déversements accidentels de boue doivent être quantifiés et déclarés. Néanmoins, il est difficile d'inclure ces volumes de rejet dans notre étude parce qu'ils sont souvent pris en charge et le risque est souvent réduit.

c. Cuttings et Boue enrobant les cuttings

Pour quantifier les rejets objet de notre étude, nous avons adopté la méthode suivante :

1. Calculer le volume excavé d'un trou théorique parfait

$$V_{théorique} = \frac{H\pi D^2}{6200}$$

- H : étant l'intervalle foré exprimé en m
 - D : est le diamètre du trou théorique parfait exprimé en pouces (inch)
2. Prendre en considération les résultats des diagraphies de *Caliper* réalisées sur le champ de Hassi Messaoud et qui permettent de déterminer le pourcentage de cavage. En effet, le cavage exprime l'excès en volume du trou

réel par rapport au trou théorique parfait. Le pourcentage de cavage a été pris à partir des travaux qu'a réalisés SONATRACH en faisant des logs de Caliper sur plusieurs forages. Le caliper est un outil possédant plusieurs bras qui s'étendent jusqu'à toucher les parois du trou. Il permet ainsi de mesurer le diamètre réel du trou et ainsi calculer le volume réel avec l'excès de cavage.

$$V_{\text{Réel}} = V_{\text{théorique}} \times (100\% + \% \text{Cavage})$$

3. Ainsi, le volume des roches excavées est calculé
4. A leur remontée en surface, les déblais des roches, à l'origine compactées sous les conditions de pression en profondeur, vont augmenter en volume pour une même masse. C'est le phénomène de « foisonnement ».
5. Le pourcentage de foisonnement exprime cette augmentation de volume que subit la roche excavée, une fois détruite et remontée en surface. Le pourcentage de foisonnement dépend de plusieurs facteurs dont la lithologie de la roche elle-même, le mode de destruction de la roche (Tricône, PDC ou outil imprégné), la profondeur ... etc.
6. Le foisonnement est estimé pour chaque formation à partir de l'expérience acquise sur le champ
Ainsi, une fois en surface, le volume de déblais est égal au volume théorique du trou auquel on rajoute l'excès dû au cavage et l'augmentation due au phénomène de foisonnement.

$$V_{\text{déblaisfoisonnés}} = V_{\text{réel}} \times (100\% + \% \text{Foisonnement})$$

7. Ceci nous permet d'estimer le volume de solide
8. Ces solides sont ramenés en surface « enrobés » de boue. L'enrobage est un phénomène dû à des forces d'adsorption et des interactions Liquide – Liquide.

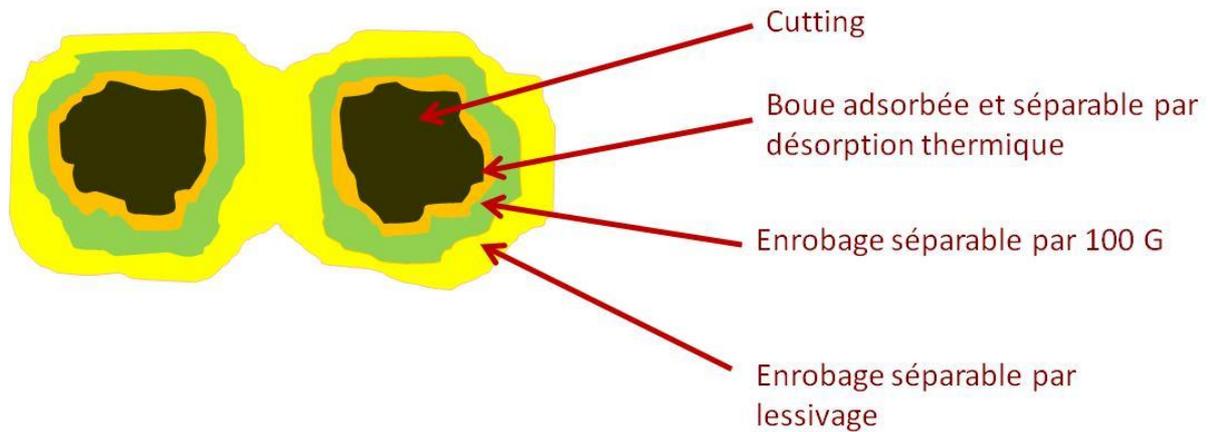


Figure (2-13) : Description du phénomène d'enrobage

9. Le pourcentage d'enrobage exprime le volume de boue qui enrobe un volume unitaire de solide. Ainsi, un pourcentage d'enrobage égal à 150% correspond à un volume de fluide enrobant égal à 1,5 fois le volume des déblais

$$V_{\text{boueenrobant}} = V_{\text{déblaisfoisonnés}} \times \% \text{Enrobage}$$

Ce volume de boue enrobant les cuttings (déblais) correspond au rejet minimum de boue sur un puits à Hassi Messaoud, puisqu'on n'y rajoute pas les déversements accidentels, difficiles à estimer et rarement déclarés lorsqu'ils représentent des volumes faibles, quoique fréquents.

L'enrobage peut être exprimé par le pourcentage d'Oïl On Cuttings (OOC%). Le OOC% peut être estimé de la manière suivante :

$$\text{OOC}(\%) = \frac{M_{\text{Oil}}}{M_{\text{fluide}} + M_{\text{cutting}}}$$

avec :

$$M_{\text{Cutting}} = V_{\text{Cutting}} \times \rho_{\text{cutting}}$$

$$M_{\text{fluide}} = V_{\text{fluide}} \times \rho_{\text{fluide}}$$

Ce qui équivaut à :

$$\text{OOC}(\%) = \frac{M_{\text{Oil}}}{V_{\text{fluide}} \times \rho_{\text{fluide}} + V_{\text{cutting}} \times \rho_{\text{cutting}}}$$

Pour le calcul des volumes de boue récupérés lors du traitement par centrifugeuse vertical (voir chapitre suivant), l'on emploie la formule suivante :

$$V_{\text{fluide}} = \frac{\text{OOC}\% \times V_{\text{cutting}} \times \rho_{\text{cutting}}}{(100\% - \text{OOC}\%) \times \rho_{\text{fluide}}}$$

Tenant compte des cavages des trous forés et du phénomène de foisonnement qui fait que le volume de la roche détruite est plus important en surface, les volumes de cuttings générés sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau (2-6) : Calcul des volumes de cuttings générés par puits Horizontal à HMD

Phase	Volume d'eau rejeté (m ³)	Volume théorique du trou (m ³)	Volume réel du trou (m ³)	Volume en surface des cuttings (m ³)
DTM (*)	2500	0		
26"	5000	350	700	1050
16"	3000	460	550	820
12,25"	2500	160	195	320
8,5"	1000	7	8	13
6"	2500	35	42	70
Compléti on	1500	0	0	0
TOTAL	18000	/	/	2273

*DTM : Phase de Démontage de l'appareil de forage du site précédent, Transport et Montage de l'appareil de forage sur le nouveau site.

Tenant compte du volume de cuttings générés et du pourcentage d'enrobage par les boues à base d'huile (OBM), nous avons estimé le volume d'OBM rejetés par enrobage et ce en amont des traitements online (développé dans le chapitre 3).

Ainsi, 1200 m³ d'OBM par puits horizontal à HMD, sont rejetés par enrobage des cuttings.

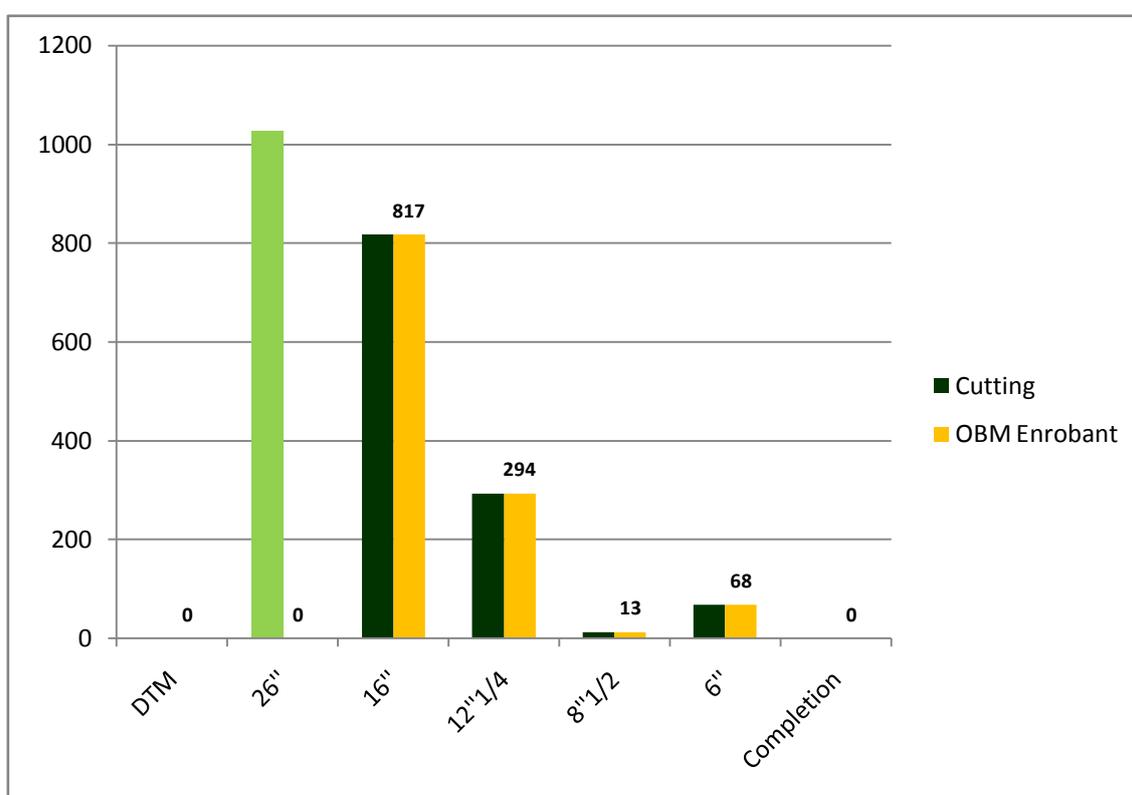


Figure (2-14) : Quantification, par puits, des cuttings générés et des OBM enrobant (m³)

Par ailleurs, nous nous sommes intéressés aux rejets d'eau à travers les rapports de suivi du service hydraulique de Sonatrach – Division Forage à HMD. En effet, les chantiers de forage sont alimentés par deux moyens :

- Puits d'eau avoisinant, mis en production (conduite raccordées au chantier)
- Alimentation par camions-citernes

Ainsi, 18000 m³ d'eau sont consommés, et par conséquent rejetés, pour chaque puits foré. L'on estime à quelque un million de m³ d'eau par an, la consommation en eau pour les besoins de forage et workover sur le champ de HMD. Ce qui ne représente que 4 à 5% de la consommation globale soutirée à partir des aquifères du Sahara Septentrional.

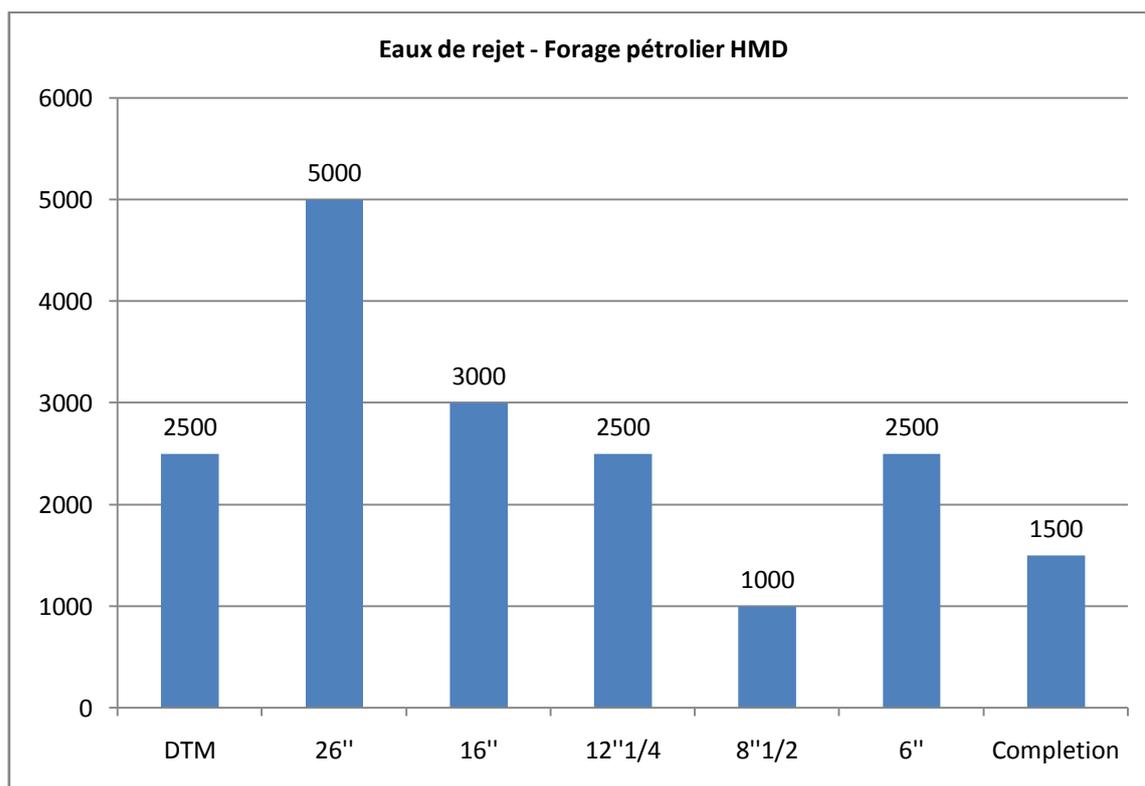


Figure (2-15) : Quantification – Moyenne par puits – des eaux de rejet à HMD (m³)

En se basant sur les formulations des boues OBM utilisées pour chaque phase, nous avons estimé les volumes de gasoil (figure (2-16)) et les tensioactifs (figure (2-17)) qui constituent les volumes de boues rejetées par enrobage.

Ces estimations permettent de constater l'ampleur de la situation. 700 m³ en moyenne, est le volume de gasoil contenu dans les boues enrobant les cuttings rejetés. Une quarantaine de m³ de tensioactifs est aussi rejetée par la même action.

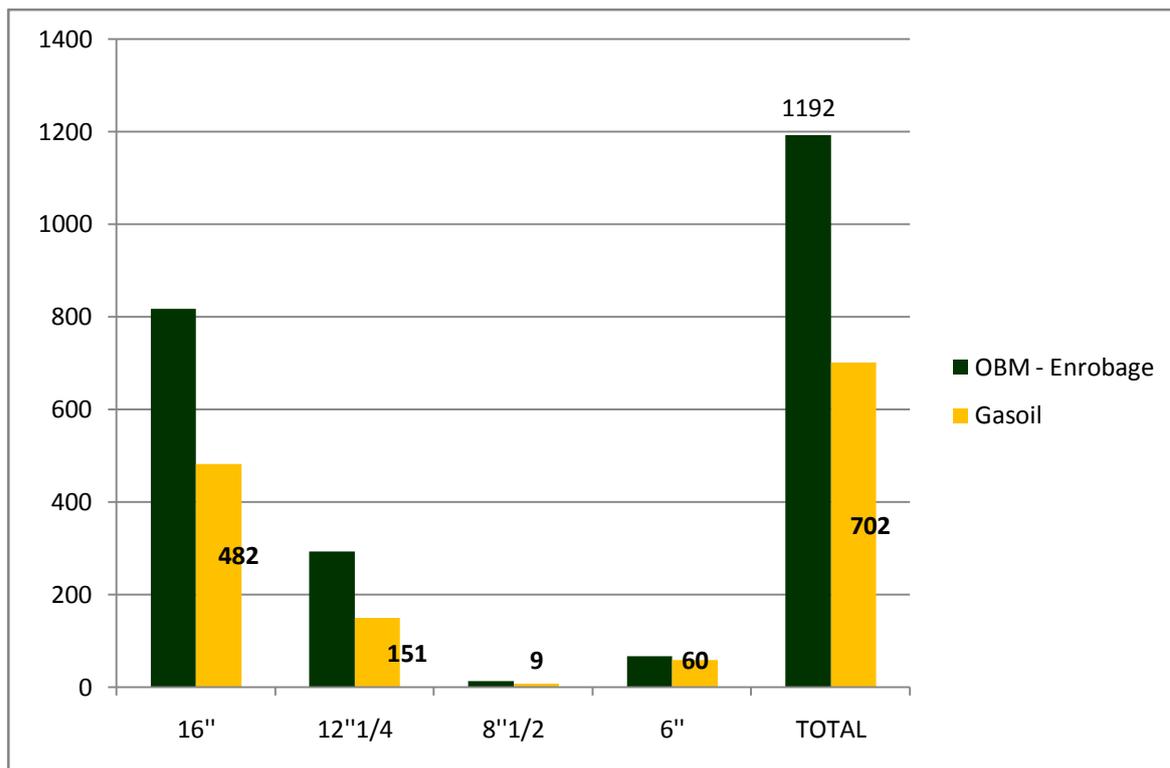


Figure (2-16) : Gasoil utilisé (m³) dans la formulation des OBM et rejeté par enrobage avant traitement

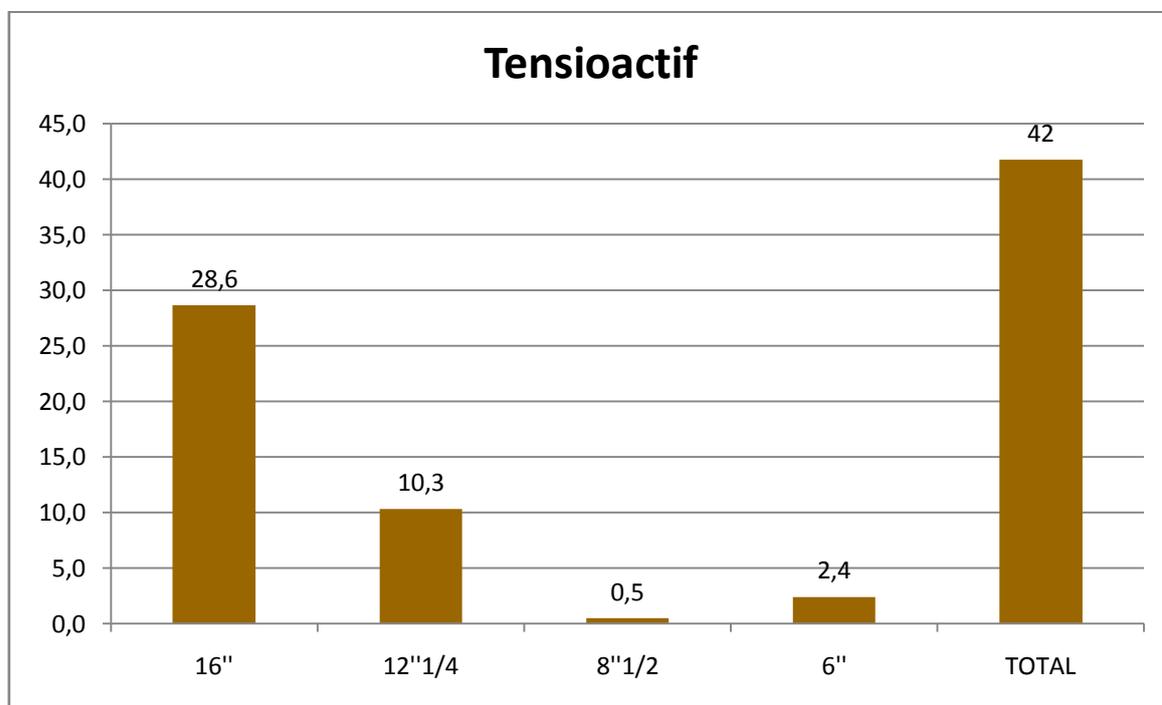


Figure (2-17) : Tensioactifs utilisés dans la formulation des OBM et rejetés par enrobage avant traitement (m³)

8. DISCUSSION

Les principales formes de rejets inhérents à l'activité de forage à Hassi Messaoud sont :

- Les eaux consommées et rejetées tout au long de l'activité sur un même site
- Les déblais de forage (cuttings) générés par destruction de la roche
- La boue de forage qui enrobe les cuttings
- Les déversements accidentels des boues de forage
- L'éjection de la boue bentonitique en fin de phase 26''

En moyenne, par puits horizontal à HMD, ces rejets représentent :

- 18 000 m³ d'eau
- 2 300 m³ de cuttings (roche détruite)
- 1200 m³ de Boue à Base d'huile (OBM) enrobant les cuttings
- 700 m³ de gasoil entrant dans la formulation des boues OBM
- 40 m³ de tensioactifs entrant dans la formulation des boues OBM
- 1 000 m³ de boue bentonitique éjectée en fin de phase 26''
- Les déversements accidentels sont difficiles à estimer, puisqu'imprévisibles

Il faut noter que ces quantités sont estimées en amont des traitements « online » récemment introduits.

Le risque majeur est celui de l'infiltration des énormes quantités d'eaux de rejets jusqu'à la nappe phréatique. En effet, ces quantités sont en contact avec les cuttings enrobés de OBM et les « lessivent » pour s'infiltrer, ensuite, chargées en gasoil et autres composés organiques.

9. BIBLIOGRAPHIE DU CHAPITRE 2 :

1. J. P. NGUYEN, Le Forage. Editions Technip – 1993
2. International Association of Drilling Contractors, IADC – Drilling Manual. 2000
3. MI, Drilling Fluids Engineering Manual. 1998

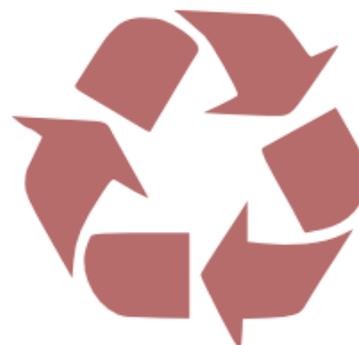
Chapitre Trois

Les techniques de traitements

Dans le but de prendre en charge les rejets inhérents à l'activité de forage, l'industrie pétrolière a su développer un concept fondamental qui est celui de la « Gestion des rejets » ou « *Waste Management* », en Anglais.

Selon ce concept, le recours au traitement n'est qu'une phase dans un processus agissant d'abord à la source. Ainsi, il est d'abord question de:

- Réduire à la source (réduction du design ... etc.)
- Réutiliser
- Recycler
- Avant de passer au traitement, s'il y a lieu.
- Le résidu du traitement doit aussi être pris en charge (enfouissement, stockage)



Sonatrach – Division Forage a consenti des investissements conséquents dans le but de prendre en charge les rejets inhérents à l'activité. Pour ce qui est du traitement, deux modes distincts sont adoptés :

- Les traitements en mode offline : où le prestataire de service de traitement intervient après la fin des travaux sur un puits donné et le déménagement de l'appareil de forage
- Le traitement en mode online : où le prestataire de service de traitement intervient en parallèle avec les travaux de construction du puits.

Dans ce chapitre, nous passons en revue les méthodes de traitement utilisées à Hassi Messaoud et nous nous assurons de la conformité de ces traitements par rapport aux exigences techniques contractuelles.

1. TRAITEMENTS EN MODE OFFLINE :

Sonatrach – Division Forage assure le rôle du maître d'œuvre dans la réalisation des ouvrages pétroliers pour le compte de clients internes (maîtres d'ouvrages) : Sonatrach – Production et Sonatrach – Exploration.

Afin d'assurer la maîtrise d'œuvre, Sonatrach – Forage gère et supervise différents intervenants et prestataires et c'est le cas aussi pour la ligne de service « Waste Management ».

Dans le mode offline, le prestataire de traitement des rejets n'intervient qu'une fois la construction du puits terminée et que les autres intervenants aient déménagé.

L'avantage du mode offline est d'abord d'ordre logistique, puisque le prestataire n'est nullement contraint par l'avancement des travaux de construction du puits ou par l'exiguïté de l'espace du fait de la présence, en même temps, de plusieurs intervenants.

Deux méthodes différentes de traitement sont utilisées en offline à Hassi Messaoud :

- Stabilisation par solidification
- Désorption thermique

a. **Traitement par Désorption Thermique :**

Adsorption/ Désorption

L'adsorption est un phénomène de surface par lequel des molécules de fluide (gaz ou liquide) se fixent sur les surfaces solides des adsorbants selon divers mécanismes. Ce phénomène a une très grande importance dans l'évolution de nombreuses réactions chimiques et physiques.

Le phénomène inverse, par lequel les molécules adsorbées sur une surface s'en détachent, notamment sous l'action de l'élévation de la température ou de la baisse de pression se nomme la **désorption**.

La désorption **thermique** est le principe de plusieurs méthodes permettant d'extraire et de séparer physiquement les contaminants organiques présents dans les cuttings.

Traitement des sites et sols pollués : Méthode de décontamination des terres polluées qui consiste à les chauffer entre 400 et 600 °C afin que les polluants se volatilisent, les gaz émis étant dépoussiérés et épurés par un filtre à manches. La désorption thermique décontamine presque intégralement les terres : elle est bien adaptée aux hydrocarbures lourds (fioul lourd, goudrons, HAP) et légers (solvants : benzène, toluène, xylène). Les terres traitées sont facilement valorisables comme matériel de remblais. Le procédé ne génère ni odeur, ni déchet.

La désorption thermique met en jeu la rupture des liaisons entre ions ou molécules et la surface de l'adsorbant.

b. Procédé de Désorption Thermique utilisé à Hassi Messaoud :

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

Ce type de traitement permet de traiter les cuttings, de récupérer du gasoil, de l'eau et de traiter les émanations de gaz toxique.

Les cuttings sont transportés à l'aide d'un rétrochargeur vers une grille qui retient tout élément dont le diamètre est supérieur à 10 cm tels que (le plastique, les pierres...). Les cuttings sont, ensuite, convoyés vers le **Desorber**, four rotatif contenant quatre brûleurs alimentés au gasoil (souvent récupéré du processus). La température qui règne à l'intérieure du four est approximativement de 450°C et la pression est de 1bar au maximum (atmosphérique). A la sortie du four, on aura les sols dépollués et les polluants à l'état gazeux.

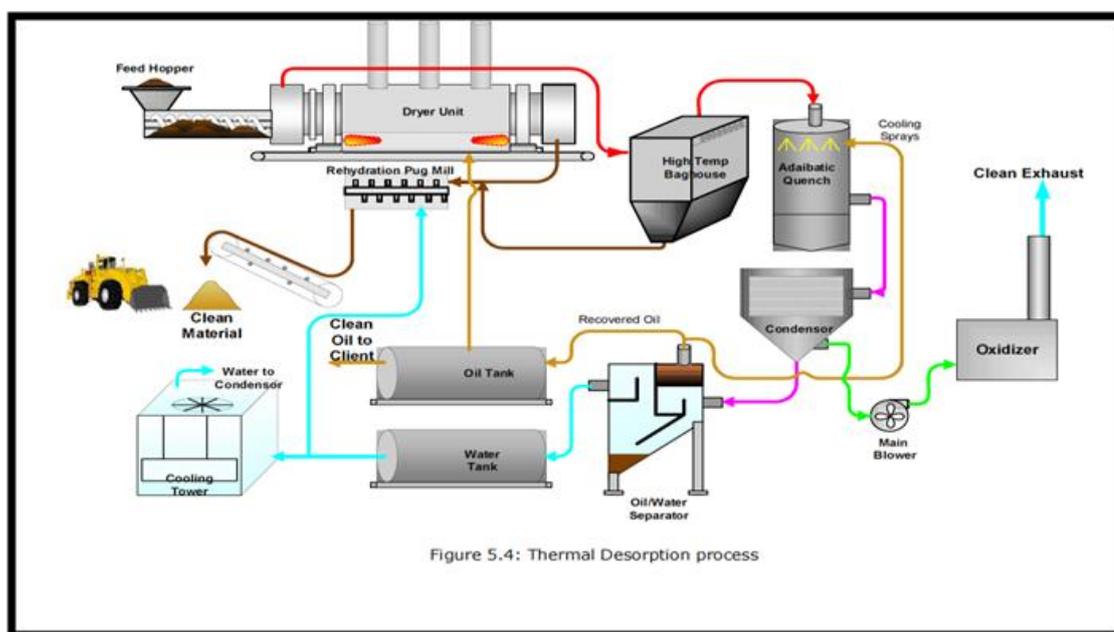


Figure (3-2) : Procédé de Désorption Thermique utilisé à Hassi Messaoud

- Les sols dépollués contiennent une quantité d'huile inférieure à 1% (en masse). Les résidus sont refroidis et humectés pour éviter toute émission de poussière dans l'atmosphère et pour protéger le personnel des risques d'inhalation de ces poussières.
- Les émanations de gaz sont refoulées vers des filtres afin d'éliminer toute trace de poussière, ensuite liquéfiées et cela par refroidissement dans deux condensateurs où l'on a séparation physique de l'eau, de l'huile et des gaz toxiques tels que le monoxyde d'azote NO, le monoxyde de carbone CO et le dioxyde de carbone CO₂. Ces derniers subissent une oxydation totale avant d'être évacués.
- L'eau récupérée sera utilisée à plusieurs fins telle que :
 - Le refroidissement des polluants présent dans les condensateurs ;
 - Le nettoyage ;
 - L'alimentation des circuits de sécurité en cas de feu ;
 - L'humidification des sols dépollués.
- L'huile (gasoil) récupérée est réutilisée pour l'alimentation des brûleurs.
- Les sols dépollués sont déposés dans des fosses ou peuvent éventuellement faire l'objet d'une valorisation.



Figure (3-3) Unité de traitement thermique (TDU) à Hassi Messaoud

c. Contrôle de conformité du traitement par désorption thermique

Afin de pouvoir contrôler la conformité du traitement avec les exigences contractuelles de Sonatrach nous avons procédé à des mesures du Oil On Cuttings (OOC%) en aval des traitements offline sur un certain nombre de puits à HMD.

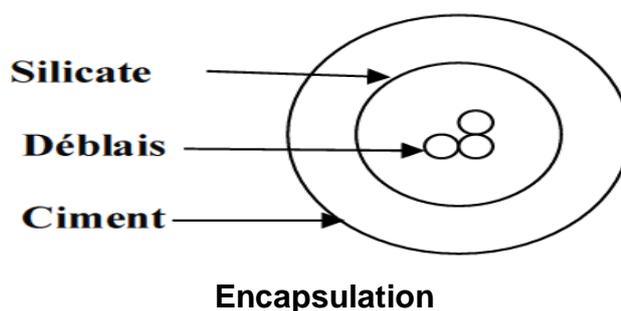
Les mesures du (OOC%) ont été effectuées selon la procédure décrite dans le paragraphe 3 du présent chapitre et sont présentées dans l'Annexe 1

Les résultats obtenus permettent de constater que le OOC% des résidus du traitement par désorption thermique est inférieur à 1%. Néanmoins, nous tenons à rappeler que la technique de mesure telle qu'utilisée n'est pas très précise pour des valeurs inférieures à 10%.

d. Traitement par Solidification-Stabilisation

La finalité de ce traitement est de stabiliser les polluants et les rendre « inertes » à l'action de lessivage des eaux (précipitation ou écoulement en surface).

Ce procédé est particulièrement recommandé lorsque des métaux lourds sont présents dans les rejets car ils sont précipités sous forme d'hydroxydes et demeurent encapsulés à l'intérieur de la matrice, c'est « l'encapsulation ».



e. Procédé de stabilisation par solidification :

L'unité de traitement est mobile. Elle est déplacée d'un site à décontaminer, à un autre.

Les déblais sont transportés avec un rétrochargeur vers un premier tamis pour éliminer les gros (cuttings) afin de protéger les équipements, ensuite ils seront

mélangés avec une quantité d'eau dans le *hooper* (entonnoir) pour les homogénéiser, puis convoyés vers un mixeur où il va y avoir le mélange du liant - silicates et ciment – avec les concentrations respectives de 8kg et 180kg pour un mètre cube de déblais.

Le « *blend* » est mélangé environ 15 minutes, et évacués vers une fosse de réception.

Généralement, au bout de trois jours le résidu atteint le stade de maturation et peut être destiné à l'utilisation dans le Génie civil (construction des clôtures, plates formes des puits...).

Le rythme de traitement est fixé à cent vingt mètres cubes (120 m^3) par jour, à raison de vingt mètres cubes (20 m^3) par heure.

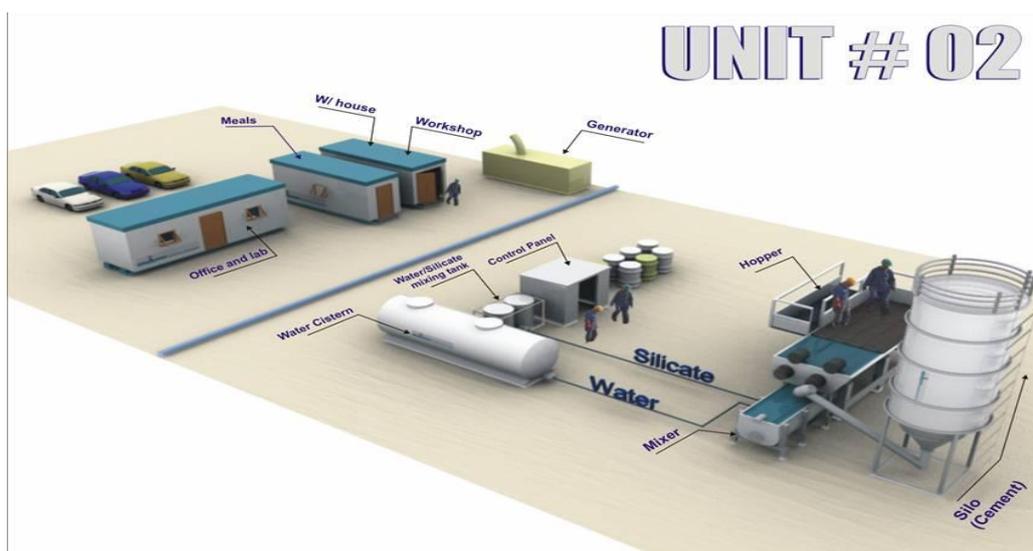


Figure (3-4) : Unité de solidification déployée sur HMD

f. Conformité du traitement par solidification

Pour le contrôle de conformité du traitement par stabilisation/solidification Sonatrach - Division Forage se réfère à la norme française NOR : ENV P 9250386A, publiée par arrêté du 18/12/1992 et parue dans le Journal Officiel de la République Française le 30/03/1993. Des échantillons du résidu de traitement sont

passés par un test de lixiviation au laboratoire simulant l'action de lessivage des eaux acides (pluies ou écoulement en surface). Pour que le traitement soit concluant, le lixiviat doit présenter des concentrations inférieures à celles fixées par la norme citée plus haut (voir tableau ci-après).

Tableau (3-1) : Concentration maximales Norme AFNOR ENV P 9250386A

Paramètres	Unité	Normes
Hydrocarbures	%	5
Cr 6+	mg/Kg	10
Cr	mg/Kg	100
Pb	mg/Kg	100
Zn	mg/Kg	500
Cd	mg/Kg	50
CN	mg/Kg	10
Ni	mg/Kg	100
As	mg/Kg	10
Hg	mg/Kg	10

La norme AFNOR ENV P 9250386A est présentée dans l'Annexe 2.

g. Avantages et inconvénients des deux procédés en offline :

Solidification -Stabilisation	<ul style="list-style-type: none"> • Procédé simple à réaliser • Ne demande pas beaucoup d'équipements 	<ul style="list-style-type: none"> • Ne permet pas la récupération des hydrocarbures présents dans les boues. • Risque de relargage des sels et des hydrocarbures.
Désorption thermique	<ul style="list-style-type: none"> • Adapté à tous les hydrocarbures • Réutilisation de l'eau • Réutilisation des boues traitées • Aucun rejet d'hydrocarbure dans l'atmosphère. 	<p>Onéreuse</p> <p><u>(10 fois le coût du traitement online)</u></p>

2. TRAITEMENT ONLINE

Le système online que Sonatrach – Division Forage a commencé à implémenter depuis 2008 est un schéma de gestion intégrée des rejets de forage en cours de la construction du puits.

L'objectif de la gestion online des rejets est de réduire en amont. La prestation est réalisée par des sociétés de service spécialisées sous la supervision de Sonatrach.

Le package est composé de :

- Centrifugeuse verticale en aval des équipements de traitement mécanique de l'appareil de forage (voir chapitre 2). La centrifugeuse permet d'essorer les cuttings et de réduire le Oil On Cuttings massique de 30 – 35% à moins de 5%.
- Equipements pour la réutilisation des eaux de rejets. Skimmer, pompes, débitmètres ... etc.
- Chemisage (liner) en polyéthylène Haute Densité pour étancher les bourbiers.

a. Description de la gestion online :



Figure (3-5) : Layout du package online

Le traitement se fait en même temps que le forage, les cuttings récupérés des (*shales shaker*) sont convoyés vers une centrifugeuse verticale avec un tamis conique au centre. Avec une capacité de traitement de 60 tonnes/h, la centrifugeuse permet de récupérer de la boue à base d'huile et des cuttings à moins de 5% en OOC% massique.

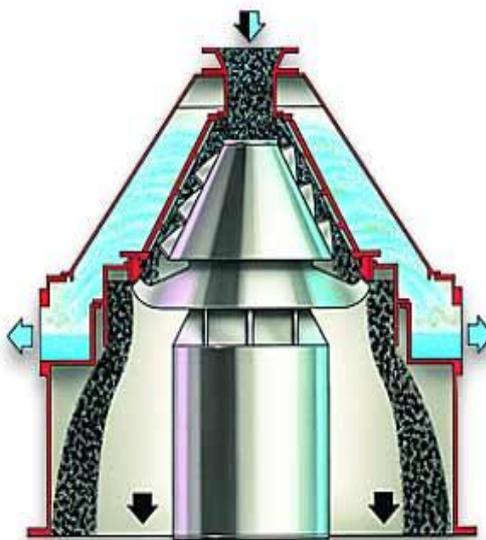


Figure (3-6) : Coupe verticale de la centrifugeuse verticale

La boue récupérée est envoyée vers deux centrifugeuses Haute vitesse (High Speed) pour éliminer les solides dont le diamètre est entre 3 et 5 micromètres. Elle est ensuite réinjectée dans le circuit de boue.

L'eau de rejet est aspirée du compartiment « eau » du borbier à l'aide de pompes. Elle est refoulée dans un bac tampon permettant la séparation de la phase huileuse de la phase aqueuse par gravité. En général, on n'utilise pas de tensioactifs pour briser l'émulsion. Néanmoins, le recours à ces produits peut s'avérer indispensable dans certains cas.

Pour contrôler la conformité de la centrifugation verticale, l'on a recours aux mesures du OOC% telles que décrites dans le paragraphe suivant.

3. PROCEDURE DE MESURE DU OIL ON CUTTINGS (OOC%)

Les mesures du OOC% se font par distillation conformément à la recommandation de l'*American Petroleum Institute API Recommended Practice 13B-2 Appendix B*

Un kit de distillation (*Retort*) est utilisé à cet effet. Le godet doit avoir une capacité de 50 cm³ et l'éprouvette graduée de 50 cm³ de capacité aussi avec des graduations de 1cm³.



1. Peser l'ensemble godet, couvercle et corps du distillateur à l'aide d'une balance précise jusqu'à 0,01 gramme. Noter cette valeur A
2. Refroidir l'échantillon représentatif de cuttings à température ambiante
3. Mettre une quantité de cuttings dans le godet
4. Placer le godet dans le corps du distillateur et peser l'ensemble. Noter cette valeur B
5. Connecter le distillateur au condensateur de vapeurs et placer le distillateur dans la jupe de chauffage (*Heating Jacket*)
6. Peser l'éprouvette graduée où les fluides seront récupérés. Noter cette valeur C.
7. Porter, alors, l'échantillon à une température de 500°C pendant une heure (1hr) permettant, ainsi, la vaporisation de tous les fluides.
8. Les vapeurs sont passées à travers un condensateur et récupérées sous forme de liquide dans l'éprouvette graduée.
9. S'il y a passage de solides à travers le condensateur, le test doit être refait.

10. Au bout du compte, l'on aura récupération d'eau et d'huile dans l'éprouvette. Un chauffage léger de l'éprouvette permettrait de briser une éventuelle émulsion.
11. Une fois refroidi à température ambiante, mesurer le volume V d'eau par lecture directe sur les graduations de l'éprouvette.
12. Peser l'éprouvette remplie de fluide. Noter cette valeur D .
13. Après refroidissement, peser la masse de l'ensemble godet, couvercle, corps du distillateur et ce qui reste comme résidu des cuttings distillés. Noter cette valeur E .
14. La masse des *wet cuttings* = $B-A$
15. La masse des *dry cuttings* = $E-A$
16. La masse d'huile = $D-(C+V)$, la densité de l'eau étant de 1.
17. La somme des masses huile, eau et *dry cuttings* doit être entre 95% et 105% la valeur des *wet cuttings*
18. Le OOC% massique = $[D-(C+V)]/(B-A)$

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.

La norme API recommande cette procédure pour des valeurs de OOC% supérieures à 10%

4. DISCUSSION :

Il est clairement établi, d'après la discussion du chapitre 1 du manuscrit, que l'élément de l'environnement le plus vulnérable dans le champ de Hassi Messaoud est la nappe phréatique du complexe terminal et plus précisément le « mio-pliocène ».

L'identification et la quantification des rejets de forage, présentées dans le chapitre 2, permettent de constater que le risque majeur est celui de la contamination de la nappe phréatique par percolation (infiltration) de polluants organiques issus des systèmes de fluides de forage à base d'huile utilisés et drainés par les quantités énormes d'eau de rejet.

Réduire le risque revient, donc, à réduire le OOC% ainsi que les eaux de rejets.

La désorption thermique permet de réduire le OOC% à un pourcentage très faible. Certes, il s'agit d'une méthode techniquement efficace, néanmoins très onéreuse. En effet, la décontamination d'un site par désorption thermique revient dix (10) fois plus cher que le traitement online.

La stabilisation par solidification est une technique destinée à encapsuler les métaux lourds. Dans notre cadre d'étude, les métaux lourds ne constituent pas une sérieuse menace. De plus, utiliser cette technique pour encapsuler l'huile peut ne pas s'avérer systématiquement efficace. Une fois la matrice écrasée pour les besoins de revalorisation (travaux de génie civil), l'huile est libérée de nouveau.

Pour ce qui est du traitement online, le concept de base s'inspire d'un plan de gestion cohérent. Néanmoins, l'implémentation du projet a été quelque peu désordonnée. La réutilisation des eaux de rejet constitue toujours une problématique. Le recyclage basé sur simple séparation par gravité ne génère malheureusement pas une eau de bonne qualité pour tous les besoins de lavage et de refroidissement sur chantier. En effet, certains équipements sont très sensibles à la qualité de l'eau.

L'une des solutions envisageables serait d'introduire le De-watering. Le De-watering est un procédé qui consiste à briser l'émulsion et l'émulsion inverse et à flocculer, coaguler et séparer les suspensions pour avoir une eau claire avec des caractéristiques acceptables pour les usages de recyclage prévus.

5. BIBLIOGRAPHIE DU CHAPITRE 3

1. Z. Ouamer Contribution à la gestion des boues des fonds de bacs de stockage des essences au niveau de HMD et de Naftal – Alger. Thèse pour l'obtention du Diplôme de Post-Graduation Spécialisée. Université de Mostaganem 2007
2. MI, Drilling Fluids Engineering Manual. 1998
3. Environmental Solutions, Hand book

Chapitre Quatre

Les analyses des eaux de la nappe

La première étape de notre démarche consiste à vérifier s'il y a, éventuellement, contamination de la nappe du Miopliocène à Hassi Messaoud. Pour cela, nous sommes allés prélever des échantillons d'eau au niveau de trois (03) puits hydrauliques situés dans le champ de Hassi Messaoud et produisant à partir de cette même nappe phréatique ; le Miopliocène.

Les trois puits sont les suivants :

- Le puits d'eau alimentant le forage du puits pétrolier OMJ532 : Ce puits hydraulique a été foré et complété le 30/03/2008
- Le puits d'eau alimentant le forage du puits pétrolier OMJZ203 : Ce puits hydraulique a été foré et complété le 02/05/2010
- Le puits d'eau alimentant le forage du puits pétrolier MDZ631: Un ancien puits hydraulique dont la date de complétion n'est pas consigné.

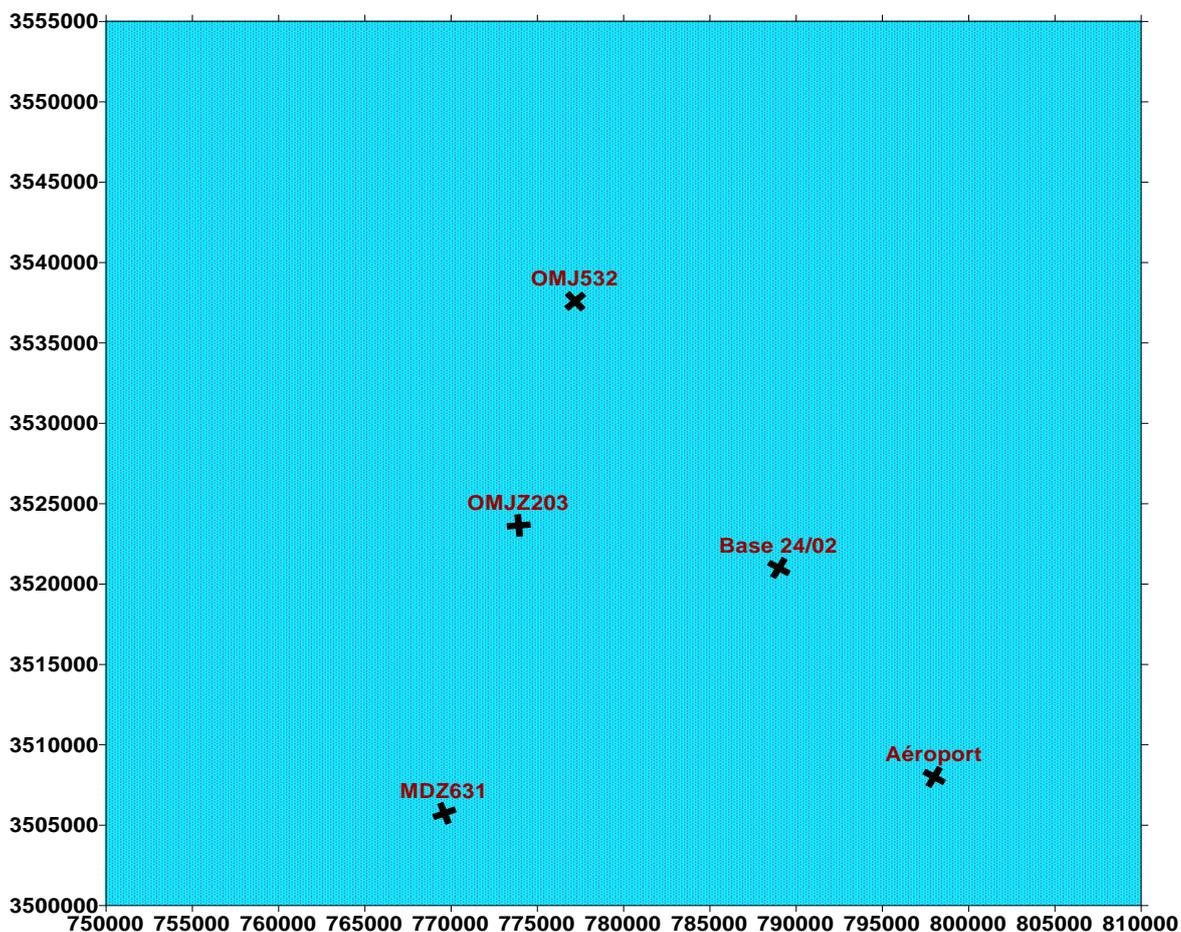


Figure (4-1) : Emplacement des sites de prélèvement

Tableau (4-1) : Coordonnées des sites de prélèvement

PUITS	X	Y
OMJ532	777 191,628	3 537 592,73
OMJZ203	773 914,6	3 523 648,15
MDZ631	769 610,96	3 505 740,04

Le tableau (4-2) résume les informations utiles sur ces prélèvements.

Tableau (4-2) : Prélèvements d'échantillons d'eau du Miopliocène

Echantillon	Date et Heure du prélèvement	Lieu de prélèvement	Nature	Analyses
01	10/05/ 2010 à 09h54	Au niveau de la tête de puits hydraulique alimentant le chantier de forage du puits OMJZ#532	Eau produite du Miopliocène	<ul style="list-style-type: none"> • Analyses Physico-chimiques • Analyses des métaux lourds • Analyses Bactériologiques
02	10/05/ 2010 à 10h15	Au niveau de la tête de puits hydraulique alimentant le chantier de forage du puits OMJZ#203		
03	10/05/ 2010 à 10h52	Au niveau de la tête de puits hydraulique alimentant le chantier de forage du puits MDZ#631		

Les puits au niveau desquels nous avons prélevé nos échantillons sont à proximité de forages en phase de réalisation. Tout autour de ces mêmes puits, il y a plusieurs puits pétroliers déjà réalisés.

Les analyses conduites sur ces échantillons sont les suivantes :

1. Analyses bactériologiques
2. Analyses physico-chimiques à la recherche des électrolytes et métaux
3. Analyses physico-chimiques par GC-MS à la recherche de traces d'hydrocarbures

1. ANALYSE BACTERIOLOGIQUE :

Les analyses bactériologiques ont été faites dans les laboratoires du CRD – Sonatrach à Hassi Messaoud selon le protocole détaillé en Annexe 3.

Les résultats des analyses bactériologiques sont résumés dans le tableau(4-3)

Tableau (4-3) : Résultats de l'analyse bactériologique des échantillons d'eau

Echantillon	Nombre de germes dans 100 ml d'eau		
	Coliformes	Colibacilles	Streptocoques fécaux
OMJZ#532	03	00	00
OMJZ#203	24	08	01
MDZ#631	03	00	00
Norme OMS	<10	00	00

Ces résultats permettent de confirmer une contamination bactériologique par des coliformes, des colibacilles et des streptocoques fécaux sur l'un des échantillons.

2. ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUES

Les analyses physico-chimiques à la recherche des différents électrolytes et métaux ont été réalisés dans les laboratoires du CRD – Sonatrach à Hassi Messaoud conformément aux protocoles présentés et détaillés dans l'Annexe4.

Le tableau (4-4) résume les résultats obtenus des analyses faites. La norme sur les caractéristiques de qualité d'une eau de source publiée dans le Journal Officiel de la République Algérienne N°51 (20/08/2000) sont données dans le même tableau pour comparaison.

Tableau (4-4) : Résultats des analyses physico-chimiques

Echantillon	OMJZ# 532	OMJZ# 203	MDZ# 631	Norme Algérienne JON°51
Element	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
Calcium Ca ⁺⁺	347,09	710,22	131,06	75 - 200
Magnésium Mg ⁺⁺	79,28	114,79	51,80	150
Sodium Na ⁺	560,00	1210,00	276,00	200
Potassium K ⁺	28,00	42,00	23,00	20
Fe ²⁺	0,12	0,58	0,08	0,3
Chlorures Cl ⁻	1037,12	2163,76	345,88	200 - 500
Sulfates SO ₄ ⁻⁻	860,00	1800,00	550,00	200 - 400
Hydroxyl OH ⁻	0,00	0,00	0,00	
Carbonates CO ₃ ⁻⁻	0,00	0,00	0,00	
Bicarbonates HCO ₃ ⁻	108,21	114,86	105,35	
pH	7,48	7,54	7,70	6,5 – 8,5
Conductivité (µs/cm)	3790,00	7670,00	1887,00	MAX 2800
Salinité	2200	4800	1100	
Turbidité (NTU)	1,20	7,70	0,90	
Dureté totale (ppm CaCO ₃)	1192,00	2244,00	540,00	
TAC* (ppm CaCO ₃)	88,70	94,15	86,35	
NO ₂ ⁻	0,069	0,028	0,016	0,1 MAX
NO ₃ ⁻	10,20	10,20	7,70	50
PO ₄ ³⁻	0,64	0,18	0,04	
Cuivre (Cu)	0,05	0,05	0,03	1,5 MAX
Zinc (Zn)	0,01	0,01	0,00	5 MAX
Plomb (Pb)	0,50	0,50	0,70	0,05
(Cd)	0,00	0,00	0,00	0,01
(Mn)	0,00	0,10	0,00	0,5 MAX

* :Titre Alcalimétrique Complet

3. ANALYSES PAR GC-MS

Des échantillons des trois points de prélèvement précédemment cités ont été analysés par Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS) en impact électronique en mode scan (balayage des ions).

Préparation de l'échantillon :

L'échantillon a été préparé par extraction liquide-liquide : 40 ml d'Echantillon-Hexane (rapport 1:1) dans une ampoule à décantier. L'extrait est récupéré avec de l'hexane puis concentré dans un rota-vapeur à 50°C jusqu'à 1 ml .

L'extrait est finalement concentré par jet (barbotage) d'azote.

Conditions d'Analyse par GC-MS :

L'extrait obtenu est analysé par chromatographie en phase gazeuse couplé à la spectrométrie de masse en impact électronique en mode scan (balayage des ions) selon les conditions suivantes :

- Potentiel d'ionisation : 70 eV
- Balayage de 30 au 550 uma.
- Injecteur 250 °C en mode splitless.
- Programmation de la température du four:
 - 80°C (2 min)
 - 20°C/min jusqu'à 170 °C (2min)
 - 4°C /min jusqu'à 280°C (15 min).

Résultats :

L'analyse des échantillons a montré quelques pics qui correspondent à des artefacts dans le dispositif d'extraction (rota-vapeur) et non pas dans les échantillons. En conclusion les trois échantillons ne contiennent pas d'hydrocarbures.

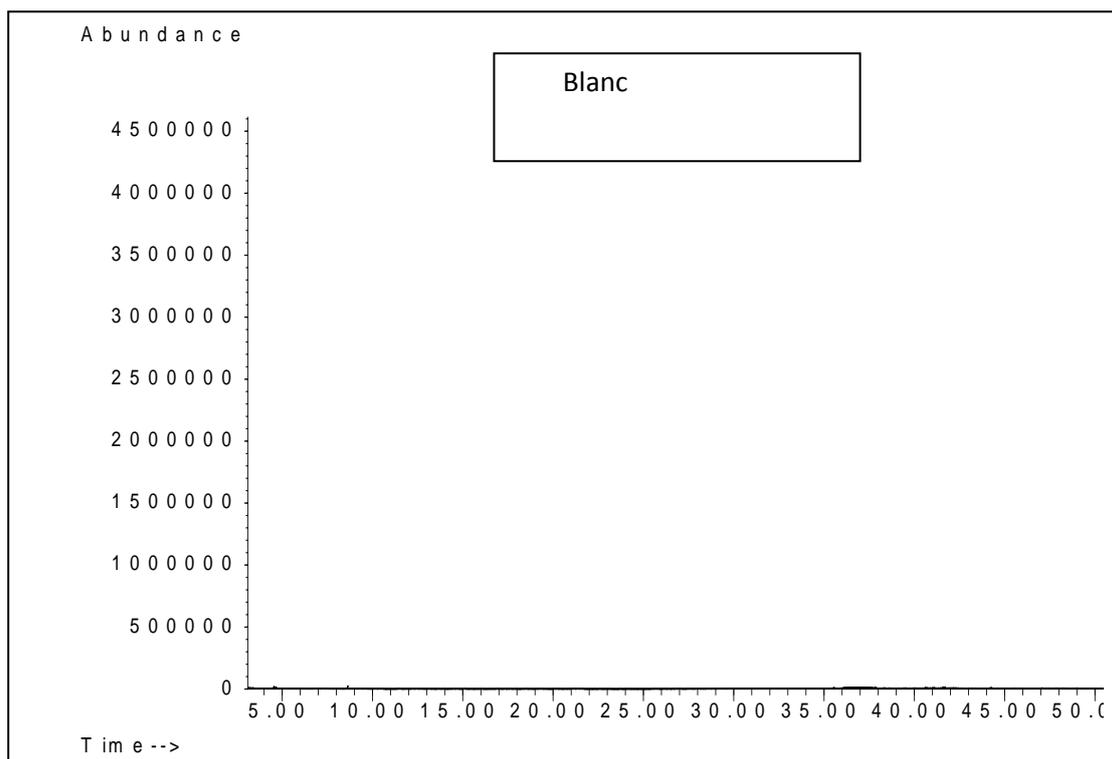


Figure (4-2) : Chromatogramme d'un échantillon à blanc

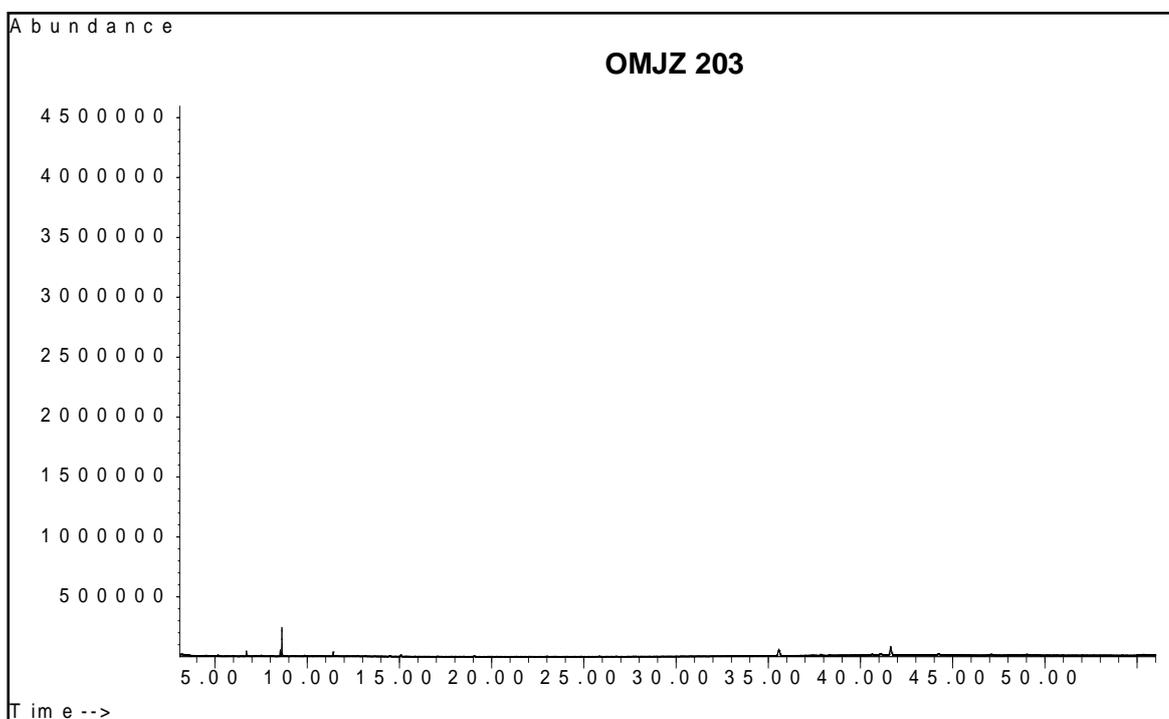


Figure (4-3) : Chromatogramme de l'échantillon pris au niveau du puits d'eau du OMJZ203

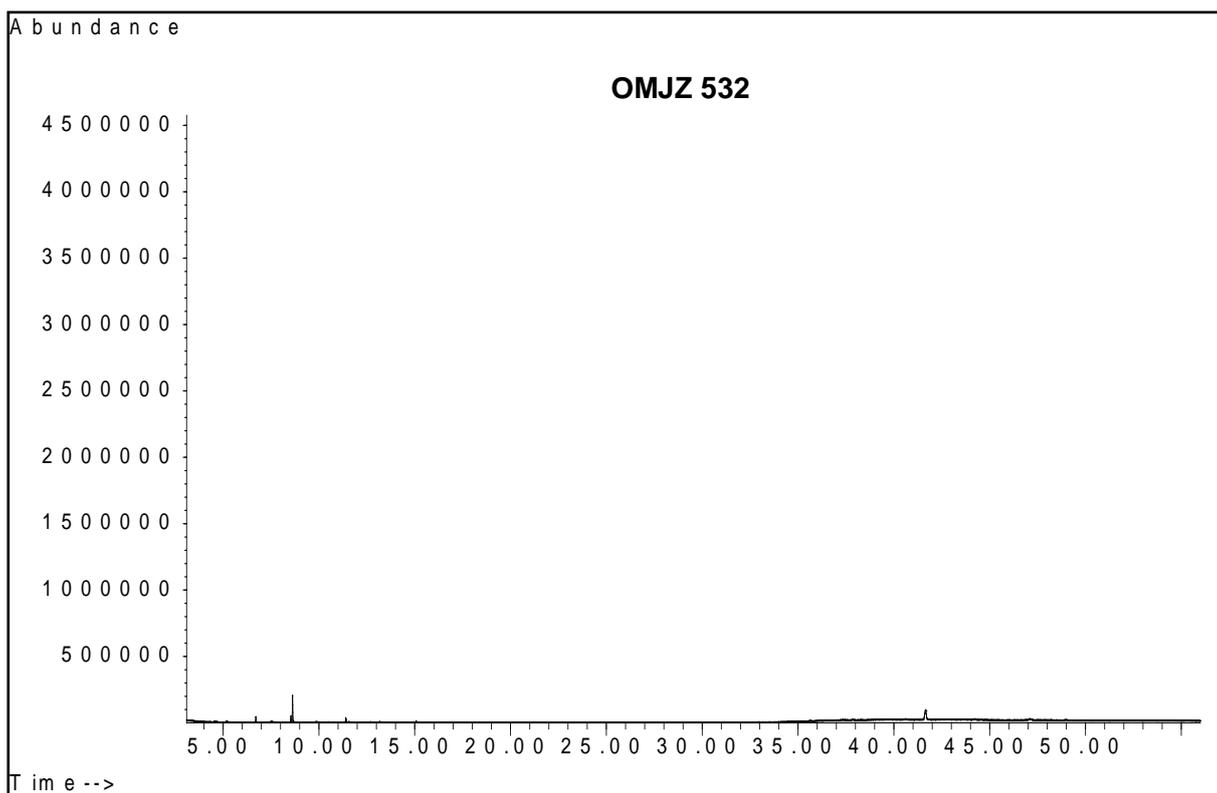


Figure (4-4) : Chromatogramme de l'échantillon pris au niveau du puits d'eau du OMJZ532

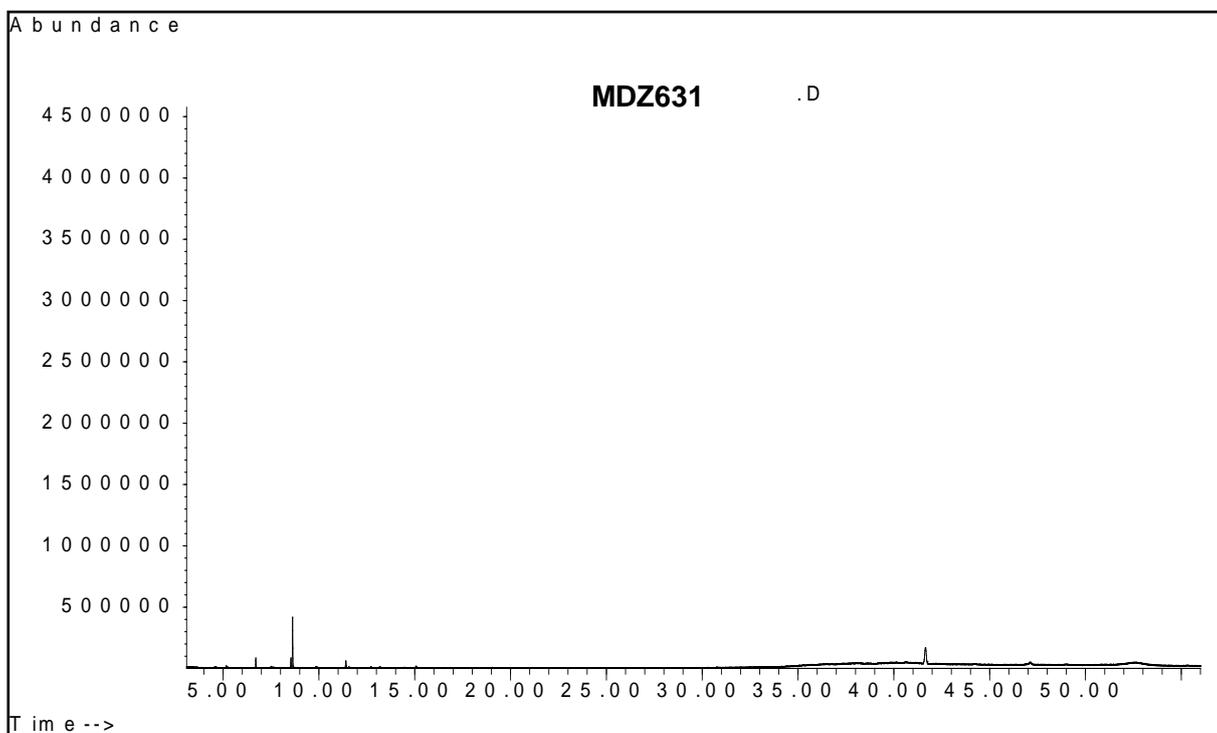


Figure (4-5) : Chromatogramme de l'échantillon pris au niveau du puits d'eau du MDZ631

4. DISCUSSION DES RESULTATS DES ANALYSES :

Résultats des analyses bactériologiques :

En se basant sur les résultats des analyses bactériologiques effectuées et en se référant à la norme sur la qualité des eaux de sources définie dans le Journal Officiel de la RADP (N°51), nous constatons que les échantillons pris à partir des puits OMJZ532 et MDZ631 ne présentent pas d'indice de contamination microbienne.

Par contre l'échantillon pris au niveau du puits OMJZ 203 présente une contamination bactériologique, avec présence de coliformes totaux et fécaux.

Les coliformes totaux sont des entérobactéries fermentant le lactose, en général, ils sont présents dans les intestins des animaux ou dans le sol. Il s'agit de bactéries en bâtonnets, gram négatif, oxydase négative aérobies ou anaérobies facultatifs.

Un premier test présomptif a montré la présence des coliformes totaux, c'est un indicateur de probabilité de présence de bactéries pathogènes.

Un second test confirmatif des coliformes thermo tolérant, ceux qui résistent à une température de 44°C, nous a permis de conclure qu'il y a présence de colibacilles. Preuve de contamination des eaux par matière fécale ce qui implique la présence de bactéries pathogènes.

Les streptocoques fécaux appartiennent à la famille des entérobactéries, qui sont d'origine fécale, pathogènes responsables d'intoxication ou d'infection.

Dans un premier test, nous avons utilisé un milieu d'enrichissement sélectif qui favorise le développement des entérocoques, la confirmation des streptocoques fécaux à été réalisé par subculture sur milieu Litsky.

Ainsi, nous confirmons que l'échantillon d'eau du puits OMJZ203 est contaminé, car il y a présence de germes de pollution d'origine humaine ou animale qui sont pathogènes. Cette contamination peut être due à :

- Une détérioration des installations de raccordement des réseaux d'assainissement.
- Des infiltrations à partir de fosses septiques.
- Présence d'éléments nutritifs, comme l'azote (contenue dans les nitrates et nitrites), le phosphate dans l'eau et qui sont essentiels au développement des bactéries.

Résultats de l'analyse physico-chimique :

Les métaux lourds sont très toxiques car ils ne sont pas dégradables. Ils peuvent réagir aux produits dangereux avec d'autres ions. Ils sont souvent impliqués dans des réactions de transfert d'électron impliquant l'oxygène. Ce qui peut mener à la formation de radicaux libres toxiques.

Les métaux peuvent former des métalloïdes et ensuite se lier aux composés organiques pour former des substances lipophiles souvent hautement toxiques et qui peuvent être stockés dans les réserves de gras des animaux et des humains.

A titre d'exemple la sidérose pulmonaire qui est due à l'inhalation de poussières d'oxyde de fer (exogène), ou infiltration des tissus par des particules ferrugineuses d'origine endogène (hémosidérose).

Les métaux lourds s'accumulent dans les organismes, se concentrant dans certains tissus ou organes à des doses très élevés dans certaines espèces consommées par l'homme, un phénomène appelé " bioaccumulation ". Cette accumulation, qui s'amplifie à chacun des maillons de la chaîne alimentaire, peut prendre parfois une ampleur inquiétante.

Dans notre cas, la concentration quelque peu élevée du plomb dans les trois échantillons peut être due à :

- Un ruissellement des eaux de pluie sur les toitures et les routes (zinc, cuivre, plomb), et infiltration dans la nappe phréatique.
- Equipements de complétion (pompe, tubings, raccords, chaines, soudures...etc.) des puits d'eau à partir desquels nous avons pris nos échantillons.

La première hypothèse est à exclure car les études menées par Biri *et al.* ont montré qu'à HMD les métaux lourds ne s'infiltrent jamais au delà de quelques dizaines de centimètres, parce qu'ils se retrouvent piégés par des passés d'argiles. C'est le rôle d'autoépuration du sol. Il est, donc, exclu que les métaux lourds puissent atteindre, par infiltration, la nappe phréatique qui se trouve à des dizaines de mètres de profondeur.

Nous pensons que l'explication à donner à la concentration quelque peu élevée du Plomb est nécessairement liée aux équipements introduits dans le puits et qui contiennent des métaux lourds.

Résultats de l'analyse par GC-MS :

Dans le chapitre 2 nous avons bien établi que la source de pollution la plus « sérieuse » dans le cas de l'activité de forage à HMD est la boue de forage rejetée avec les déblais qu'elle enrobe. Cette boue de forage est à base de gasoil.

En effet, les déblais enrobés de boue à base de gasoil sont en contact avec les eaux de rejet qui s'infiltrent lorsque le sol n'est pas étanché.

Ainsi, nous avons tenu à vérifier, par des analyses sur GC-MS, l'éventualité de la présence d'hydrocarbures provenant du gasoil dans les échantillons prélevés.

A titre de rappel, nous présentons la composition du gasoil, un mélange complexe d'hydrocarbure

Tableau (4-5) : Composition du gasoil selon Kaplan *et al.*

Famille d'hydrocarbures	Carburant conventionnel	Diesel
Paraffines	45 %	55 %
Cycloparaffines	5 %	12 %
Oléfines	7 %	5 %
Aromatiques	43 %	24 %
Autres	-	4 %

Les aromatiques dans le gasoil ont une répartition qui diffère de celle du carburant conventionnel. En effet, il est essentiellement constitué d'alkyles-naphtalènes, composés chimiques plus lourds et moins biodégradables.

Ces chiffres ne sont donnés qu'à titre d'exemple et ne sauraient avoir la prétention de précision. Il faut en retenir que la composition en aromatiques du gasoil se situe aux alentours de 20% et que ces aromatiques sont principalement des dérivés du naphtalène, dont la toxicité et la faible biodégradabilité sont avérées.

L'analyse des échantillons prélevés a montré quelques pics qui correspondent à des artefacts dans le dispositif d'extraction (rota-vapeur) et non pas dans les échantillons. Voir figures (4-2 à 4-5)

En conclusion les trois échantillons d'eau ne contiennent pas d'hydrocarbures. Par ailleurs, l'eau est classée incrustante non potable mais ne présente aucune source potentiel de contamination par les hydrocarbures due à l'activité de forge.

Ceci dit, les résultats des analyses bactériologiques et physico-chimiques ne montrent aucune forme de contamination sérieuse sur les échantillons prélevés au niveau de trois puits d'eau distincts. Le plus important est que nous n'ayons décelé aucune trace d'hydrocarbures, à travers les analyses faites sur GC-MS.

Néanmoins, nous tenons à préciser que le fait qu'aucune trace d'hydrocarbure n'ait été décelée n'exclut pas pour autant la possibilité de la contamination. En effet, le faible gradient hydraulique de la nappe et par conséquent la faible vitesse d'écoulement souterrain – de l'ordre de quelques centimètres par an dans certains endroits – rendent difficile toute entreprise de contrôle.

Chapitre Cinq

Cartographie de la vulnérabilité

Les ressources hydrogéologiques non renouvelables du sud constituent un patrimoine national écologique et économique d'une envergure stratégique dont la préservation s'impose.

En effet, les sources d'eau souterraine sont confrontées à plusieurs risques de pollution indirecte que ce soit urbaine, agricole ou industriel qui entraîne leur détérioration, d'où l'intérêt d'une étude de vulnérabilité des nappes aquifères.

Dans ce chapitre nous présentons la démarche que nous avons adoptée pour étudier la vulnérabilité de la nappe phréatique du mio-pliocène aux rejets inhérents aux opérations de forage à Hassi Messaoud.

En toute rigueur, il est difficile de dissocier la notion de vulnérabilité et de risque de pollution. Néanmoins, l'on peut rappeler que la vulnérabilité est un attribut intrinsèque de la nappe qui définit un risque potentiel lorsque conjugué à la présence d'une source de pollution.



1. DEFINITION DE LA VULNERABILITE DES AQUIFERES :

Dans la littérature on rencontre plusieurs définitions de la notion de « vulnérabilité ». En 1968, Margat indiquait qu'on peut la définir «comme *le fait, pour une nappe souterraine, d'être plus ou moins exposée, par les conditions naturelles, à un risque de pollution*».

En 1971, Albinet reprend cette définition sous la forme suivante : «*la vulnérabilité des nappes correspond aux possibilités de pénétration et de propagation des polluants dans les terrains rencontrés en surface et au niveau des réservoirs dans lesquels est contenue la première nappe d'eau souterraine, généralement libre*».

L'USEPA (1990) a défini la vulnérabilité des eaux souterraines comme *la facilité relative de migration d'un contaminant dans le milieu aquifère sous certaines conditions liées à l'occupation et à la gestion du territoire mais également en fonction des caractéristiques du contaminant et du milieu récepteur*.

En 1994, Daly et Warren définissent la vulnérabilité comme *la sensibilité des eaux souterraines à la contamination engendrée par l'activité humaine. Cette sensibilité est fonction des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques intrinsèques de l'aquifère*.

Ceci étant, nous nous sommes proposé la démarche suivante dans l'étude de la vulnérabilité de la nappe phréatique. Dans un premier temps, nous avons tenu à vérifier s'il y a une contamination décelable et ce à travers une batterie d'analyses bactériologiques et physico-chimiques. C'est ce qui a déjà été présenté au Chapitre 4.

Dans une deuxième manche, nous avons estimé la vulnérabilité de la nappe par une approche de cartographie des paramètres les plus importants.

2. CRITERES DE VULNERABILITE D'UNE NAPPE PHREATIQUE:

La vulnérabilité d'une nappe phréatique dépend essentiellement de cinq (5) paramètres :

a. La topographie (surface de sol) :

- La nature du sol en surface intervient essentiellement par le degré d'imperméabilisation (acide humique), la densité et la nature de la couverture végétale
- La pente et l'aptitude au ruissellement des eaux de pluie (donc une infiltration moindre)

b. Caractéristiques des sols (pédologiques):

- La perméabilité (K)
- la réserve utile (Ru) du sol
- la capacité d'échange cationique (CEC) : qui est particulièrement importante pour les polluants de type ionique (notamment les métaux). Elle représente la capacité d'un sol à échanger ses ions avec ceux de la solution polluante (par le phénomène d'adsorption essentiellement)

c. La zone non saturée :

Le transfert des polluants dans la zone non saturée est lié aux écoulements à dominante verticale. Cependant, la porosité matricielle des terrains, plus ou moins saturés selon les périodes, leur confère un effet capacitif non négligeable qui permet de retarder et/ou d'arrêter les transferts vers la nappe. La lithologie des terrains, mais également leur anisotropie matricielle ou stratigraphique sont également des caractéristiques à prendre en compte dans l'analyse des mécanismes de transfert de la pollution.

d. La nature de la zone saturée (l'aquifère) :

L'extension d'une pollution, parvenue dans la zone saturée d'un aquifère, met en jeu différents mécanismes :

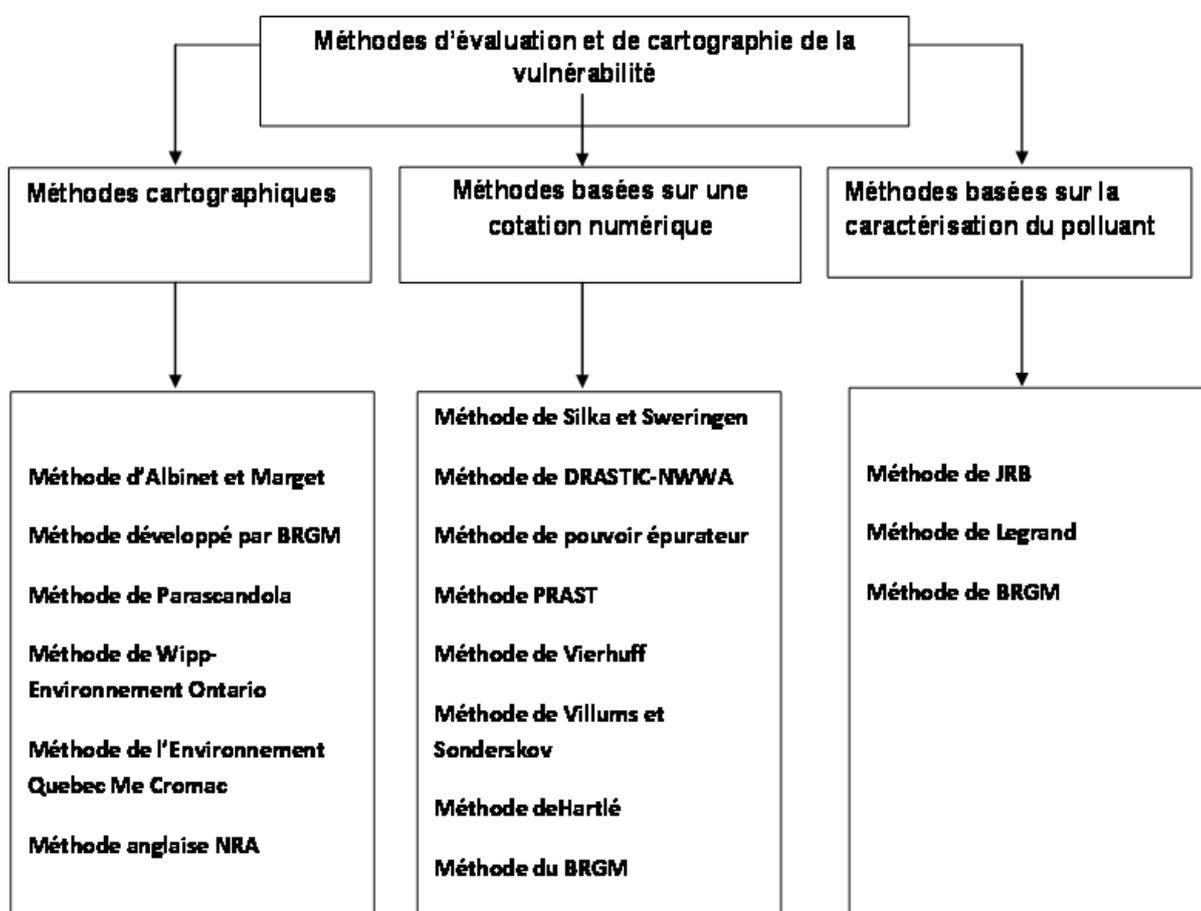
- la convection contribue à l'entraînement du produit par le flux de la nappe et donc à l'accroissement de la vulnérabilité.
- la dispersion permet l'étalement latéral et vertical du polluant grâce à la variation des vitesses et joue dans le sens d'une décroissance de la vulnérabilité.
- La sorption contribue à la fixation partielle du polluant sur la matrice.
- Le gradient hydraulique et la vitesse d'écoulement de l'eau dans la nappe intervient dans le transfert et l'étalement des polluants avec le flux naturel

e. La nature et l'origine du polluant

3. METHODES D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE DES AQUIFERES

Principalement il y a trois méthodes qui sont :

- Les méthodes basées sur un système de cotation numérique.
- Les méthodes fondées sur les documents cartographiques.
- Les méthodes fondées sur la caractérisation des contaminants.



4. METHODE APPLIQUEE DANS CETTE ETUDE :

Cette étude est consacrée à l'étude de la vulnérabilité de la nappe phréatique à HMD. Ceci dit, nous nous sommes intéressé principalement à des paramètres du sol (pédologiques) et de la zone non saturée.

En effet, nous avons exclu de notre considération le paramètre topographique, car dans le cadre de notre étude, on s'intéresse à l'infiltration et à la percolation à partir de bourniers de forage. Il ne s'agit pas d'infiltrations à partir de cours d'eau en surface où le paramètre topographique est déterminant. Les bourniers sont des excavations presque identiques.

Ainsi, nous considérons les paramètres suivants :

1. **La profondeur de la nappe** : En effet, la nappe est encore plus vulnérable lorsqu'elle est peu profonde.
2. **Le degré de consolidation de la zone non saturée** : En effet, la zone non saturée est caractérisée par une faible consolidation avec comme corolaire une plus grande perméabilité à l'infiltration. La nappe est, de ce fait, plus vulnérable lorsque les terrains de la zone non saturée, qui la précède, sont peu consolidés.
3. **Les sens d'écoulement local** : La convection rend la nappe encore plus vulnérable. Alors que la dispersion contribue à la dilution de la contamination lorsque celle-ci se produit.

La sélection de ces paramètres est dictée, par ailleurs, par le souci de disposer de données fiables et précises afin de s'éloigner, le plus possible, des interprétations basées sur des approximations sommaires.

Les données concernant chaque paramètre sont filtrées et exploitées dans l'élaboration d'une carte de contours définissant les niveaux de risque.

L'avantage de notre démarche réside dans le fait que nous exploitons des données mesurées d'une manière très précise. Ces données sont filtrées et l'illustration de la vulnérabilité est faite à travers une carte, rendant ainsi facile l'exploitation des résultats de cette étude.

Profondeur de la nappe :

Pour une nappe libre, comme celle du Miopliocène à HMD, l'on définit :

- Le niveau piézométrique : C'est en quelque sorte, « l'altitude » par rapport au niveau moyen de la mer de la surface de la nappe. Les hydrogéologues en ont besoin pour comprendre et étudier l'écoulement souterrain. Ce niveau est obtenu à partir de sondages (puits).
- L'altitude du puits considéré
- Le niveau statique : qui est le niveau, au dessous du sol, de stabilisation de la nappe en régime statique (pas d'exploitation par pompage).

La profondeur de la nappe dans un point aux coordonnées X et Y données est ainsi définie comme étant :

$$\mathbf{Profondeur\ de\ la\ nappe = Niveau\ piézométrique - Altitude\ du\ puits}$$

Cette valeur est nécessairement négative

Le niveau statique est, par conséquent, défini comme étant :

$$\mathbf{Niveau\ statique = -Profondeur\ de\ la\ nappe}$$

Nous disposons de données fiables et filtrées relatives à 78 puits d'eau dans le champ de HMD. Nous disposons, entre autres de:

- Coordonnées des puits en système Lambert que nous avons transformé en coordonnées UTM
- Niveaux piézométriques
- Les altitudes
- Les niveaux statiques stabilisés

Initialement nous disposions de données relatives à presque une centaine de puits d'eau. Mais nous n'avons considéré que 78 puits d'entre eux, pour lesquels les données étaient très fiables et précises.

Degré de consolidation de la zone non saturée :

La zone non saturée qui se trouve au dessus de la nappe phréatique est généralement peu consolidée à cause de l'absence d'effets conjugués de la compaction et de l'écoulement de fluides en place qui s'accompagne de dépôt de sels consolidant. La faible consolidation accentue la vulnérabilité de la nappe.

L'une des techniques qui permettent de « mesurer » la consolidation des roches est la diagrapie sismique. Le principe est lié à la propagation d'une onde (vibration) sismique. L'onde se propage plus vite dans les milieux compacts.

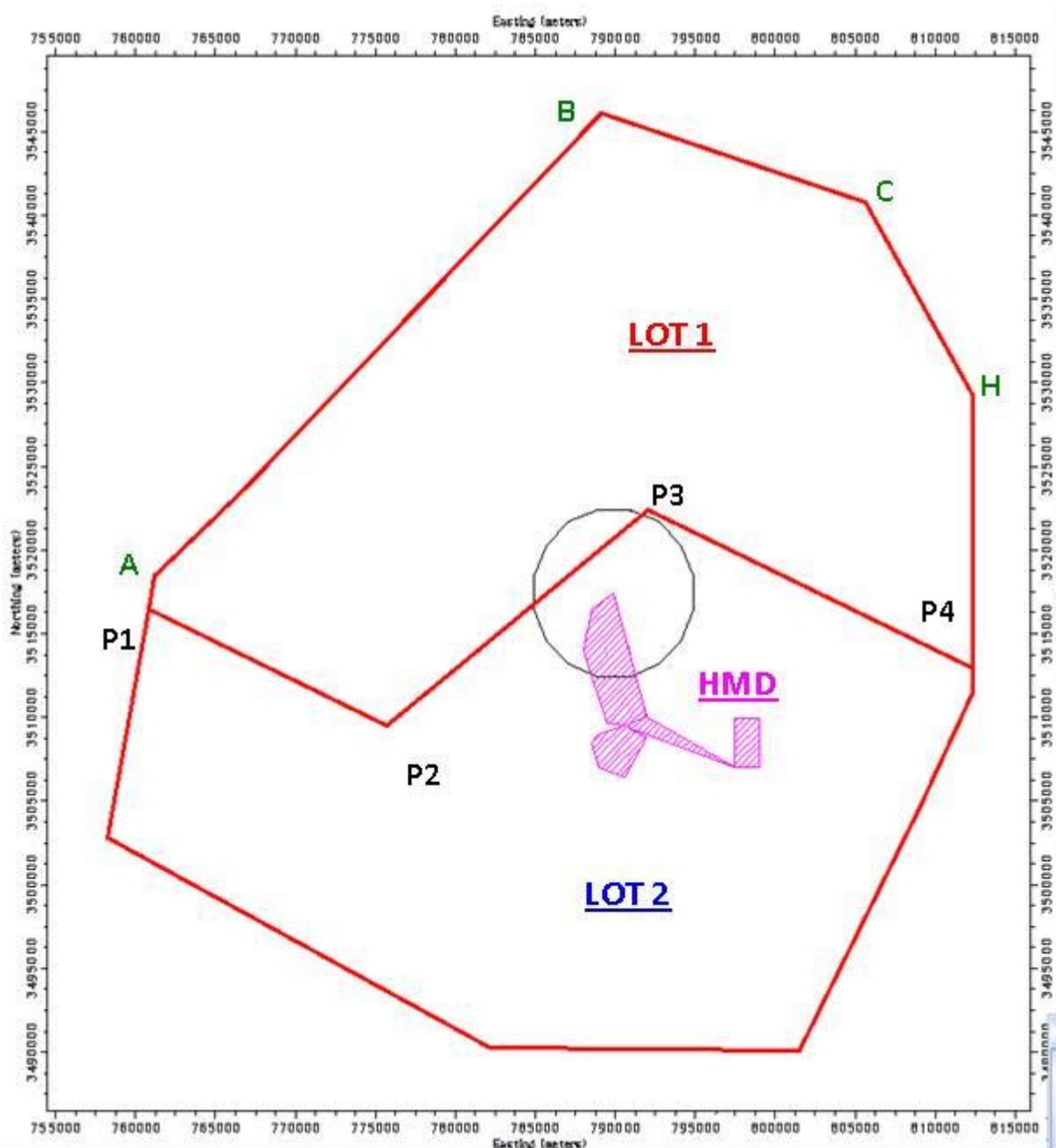
Les compagnies pétrolières lancent des campagnes sismiques dans le but de déterminer les structures de réservoirs se situant, le plus souvent, à quelques milliers de mètres de profondeur. Néanmoins, ces mesures de sismique qui visent les réservoirs profonds doivent être corrigées en apportant une meilleure connaissance des terrains non consolidés de surface qui peuvent fausser les temps d'arrivée des réflexions.

Ainsi, nous avons exploité les données relatives à la campagne de sismique 3D réalisée à HMD de 2005 à 2006 pour avoir une idée très claire sur la consolidation des terrains de surface.

Cette étude sismique a été réalisée en mode vibroseis 3D effectuée sur le permis HMD-3D & RDC-3D.

Ce projet a été lancé par Sonatrach à travers un Appel d'Offres ouvert à la concurrence National et International réparti en 2 lots :

- le lot1 couvrant la partie nord du projet (1238 km² (946,41 km² Full Fold)) a été attribué à ENAGEO (Fig 5-1).



- Le lot n° 2 couvrant la partie sud du projet (1320 km² (995.73 km² Full Fold)) a été attribué à Western Geco (Western Atlas) (Fig 5-1).

Figure (5-1) : Allotissement du projet de la compagnie sismique 3D à HMD

Les vibrateurs utilisés (voir figure 5-3) ont les caractéristiques suivantes :

- Peak Force : 62000 pounds (275 KN)
- Fréquence : 5 – 250 Hz
- Masse : 9000 pounds
- Poids Base Plate : 3400 pounds
- Hold down weight : 62000 pounds



Figure (5-2) : Système d'enregistrement des données de sismique



Figure (5-3) : Vibrateurs utilisés dans la campagne sismique 3D à HMD

L'objectif de la campagne sismique est de déterminer le temps de réflexion des ondes à une certaine profondeur afin de calculer les vitesses et cela pour connaître le type des couches : consolidée ou altérée, sachant que la vitesse minimale de consolidation est de 1800m/s.

Pour étudier cette zone altérée, la méthode utilisée est celle des carottages verticaux sismique (CVT) et qui consiste à forer jusqu'à une centaine de mètres de profondeur. Le trou est rempli d'eau et des hydrophones sont placés atteignant parfois une profondeur de 400m. Chaque hydrophone contient douze câbles, l'espacement est de 5m, l'échantillonnage se fait à chaque 2,5m.

Dans le cadre de l'étude de Hassi-Messaoud la profondeur maximale était de 75m, et la profondeur maximale enregistrée était de 70m et cela par mesure de sécurité.

Les mesures des vitesses de propagation de l'onde acoustique générée par l'outil de diagraphie et leur atténuation renseignent sur les propriétés mécaniques de roches traversées.

Le retard enregistré correspond à une zone altérée, c'est une couche superficielle meuble qui se caractérise par une variation latérale d'épaisseur et de vitesse. **Notre étude comporte 378 corrections pour autant de carottages, répartis de manière homogène sur l'ensemble du champ de Hassi Messaoud.**

Nous avons considéré le Transit Time à partir du substratum qui constitue la zone consolidée avec des vitesses de propagation supérieure à 1800 m/s. Le Transit Time considéré est la somme des transit times des différentes couches (H0, H1 et H2) avant d'atteindre le substratum.

La consolidation est plus faible lorsque le transit time est plus important.

Sens d'écoulement local :

Le sens d'écoulement est étudié sur la base des données relatives aux 78 puits d'eau dont nous disposons. Le niveau piézométrique nous permet de visualiser les sens d'écoulement.

De façon globale, l'écoulement naturel du Moi-pliocène est vers les exutoires des chotts. L'écoulement naturel, devrait être en principe vers le nord-est.

Néanmoins, cet écoulement naturel est « perturbé » par les effets de l'exploitation locale de la nappe. Les directions d'écoulement local ne répondent pas trop au sens naturel.

5. SYSTEME DE CARTOGRAPHIE

Pour les besoins de cartographie des trois paramètres considérés, nous avons pris comme référence le système UTM (Universal Transverse Mercator).

Initialement, le territoire national était cartographié dans la projection Lambert Sud Algérie (LSA), qui présentait des limites pour le couvrir entièrement. Ainsi, à partir des années soixante le système de projection UTM à été adopté pour sa convenance.

Le champ de Hassi-Messaoud chevauche sur deux fuseaux « 31 et 32 » de la projection UTM, chaque fuseau correspond à 6° d'amplitude.

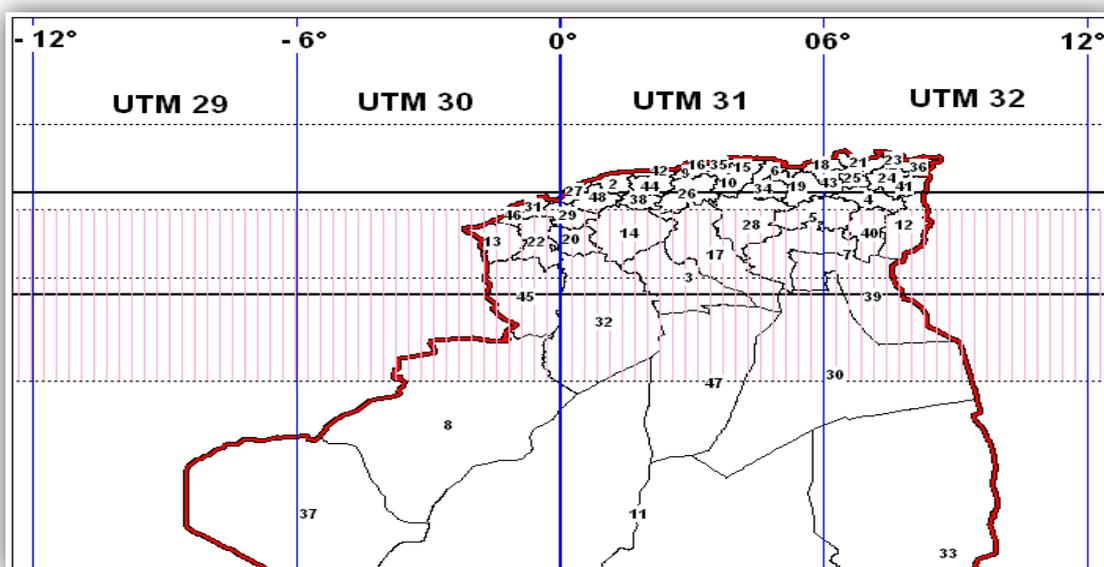


Figure (5-4) : Fuseaux UTM cadrant l'Algérie

Les coordonnées Lambert ont été transformées en UTM on utilisant le logiciel *Geographic Calculator (version 3.09)*

6. CARTOGRAPHIE DE LA VULNERABILITE :

Paramètre Profondeur :

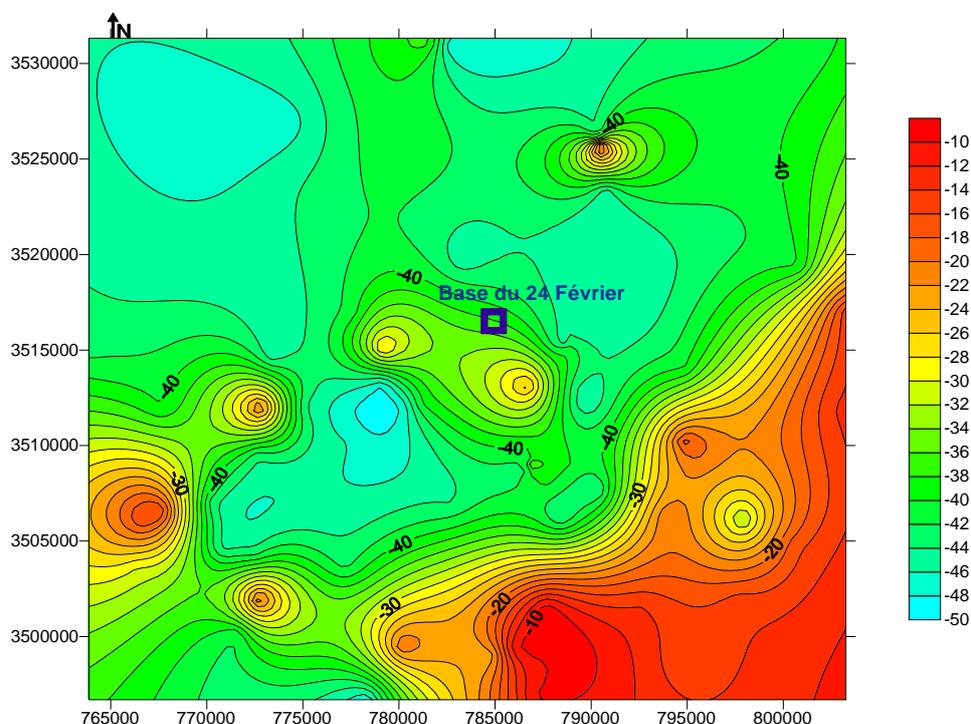


Figure (5-5) : Cartographie du paramètre « profondeur de la nappe » en mètre

La cartographie de la profondeur de la nappe (figure 5-5) permet de constater, par rapport à ce paramètre important, que la nappe du Miopliocène est beaucoup plus vulnérable dans le sud-est du champ, du côté de l'aéroport et de la route d'Elbaguel. Par ailleurs, il est clair, toujours par rapport à ce paramètre, que la zone MD (sud de HMD) est plus vulnérable que la zone des OM (Nord du champ).

Rappelons que pour un borbier de forage dont la superficie est de 4000 m² (configuration actuelle) , des sols de capacité de rétention de 7% en volume approximativement, une évapotranspiration maximale (450 mm/mois) et des rejets en eau de l'ordre de 15000 m³/puits ; la profondeur critique de la nappe est de 35m.

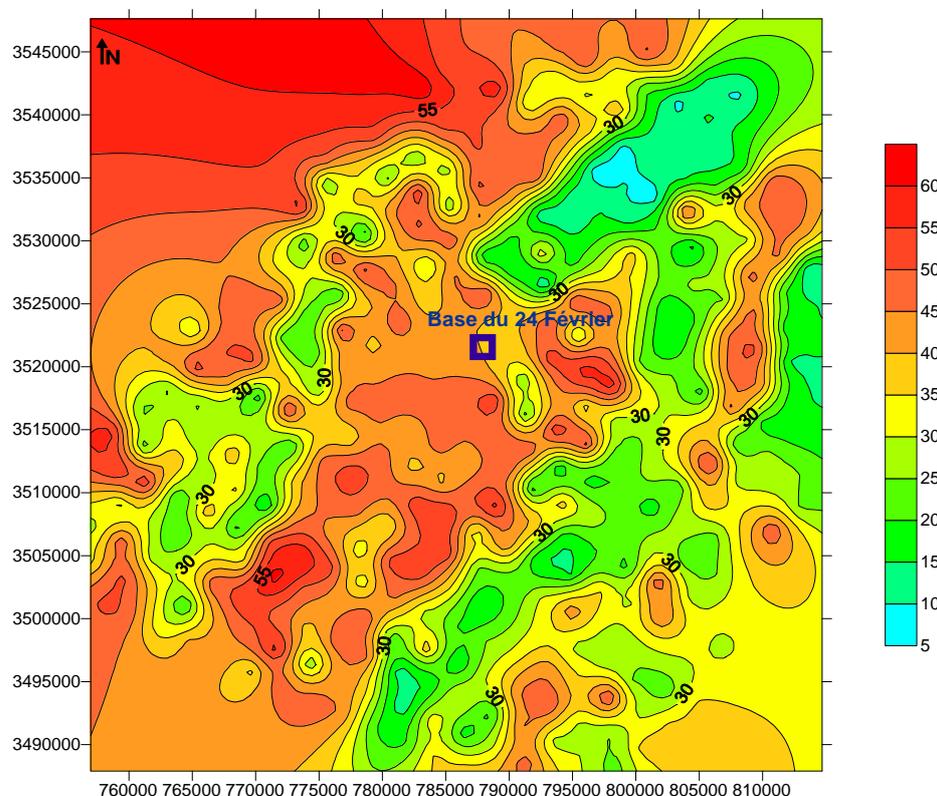
Paramètre consolidation :

Figure (5-6) : Cartographie du paramètre consolidation représenté par le Transit Time (millisecondes)

Le Transit Time de l'onde sismique jusqu'au substratum renseigne sur le degré de consolidation de la zone non saturée rencontrée avant d'atteindre la nappe phréatique.

La cartographie de ce transit time permet de constater que la consolidation du sol est quelque peu disparate. Néanmoins, l'on peut noter l'existence d'une « dorsale » d'orientation SW-NE qui passe par la ville de Hassi Messaoud et couvre une partie de la base Irara. Cette dorsale correspond à une zone altérée mieux consolidée que la partie ouest du champ.

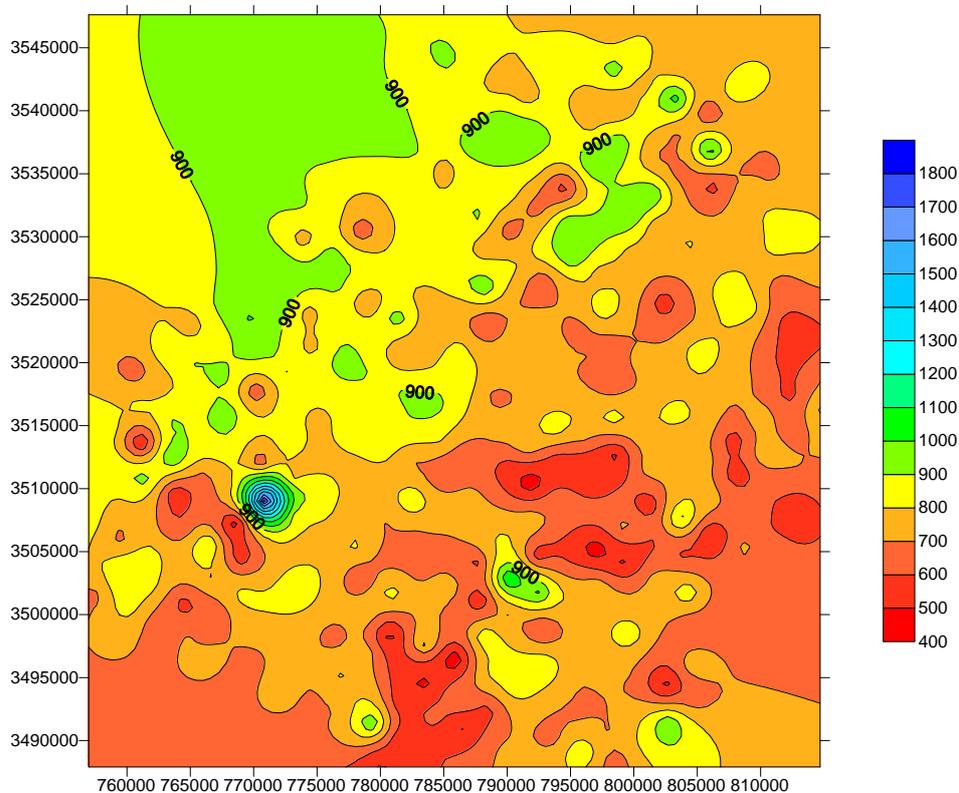


Figure (5-7) : Cartographie du paramètre consolidation représenté par la vitesse de propagation (m/s)

Si l'on exprime la consolidation comme fonction de la vitesse moyenne de propagation à partir du substratum jusqu'en surface, l'on obtient la figure (5-7).

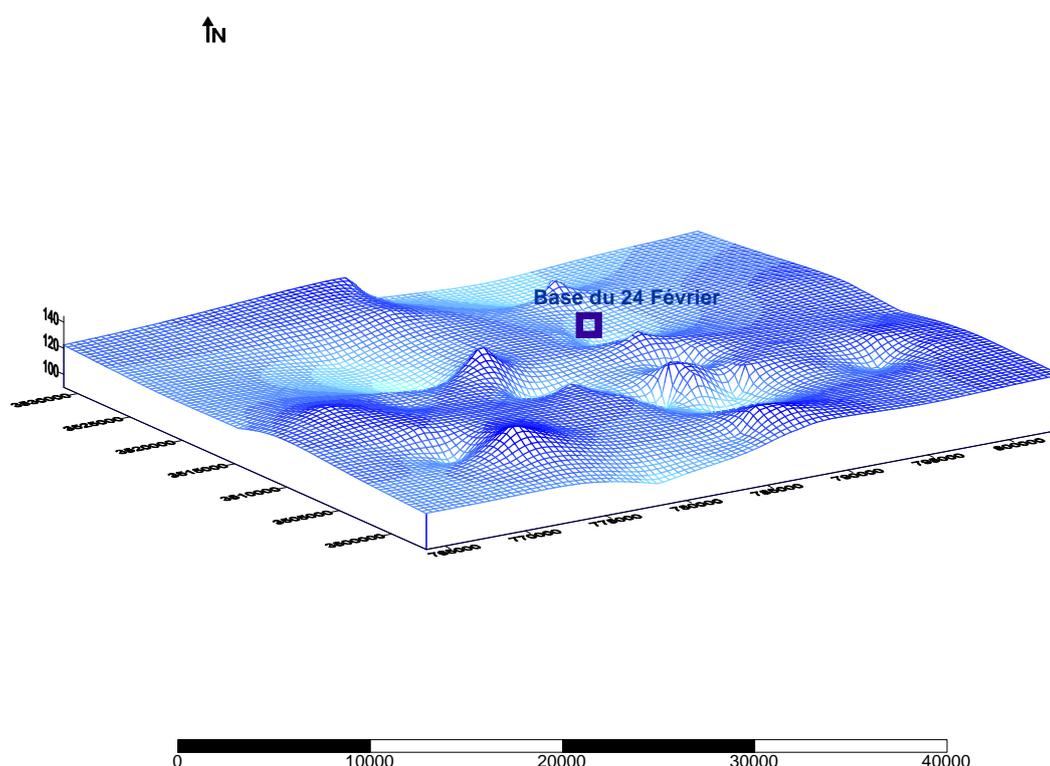
La vitesse moyenne de propagation, ci-considérée, est égale à la profondeur jusqu'au substratum (m) que divise la transit time.

Là aussi, l'on constate une plus grande vulnérabilité dans la partie sud-ouest du champ.

Paramètre « Sens d'Écoulement Local » :

Figure (5-8) : Cartographie du niveau piézométrique de la nappe phréatique à HMD

La figure (5-8) illustre le niveau piézométrique de la nappe phréatique sur l'ensemble du champ. L'on constate des anomalies de niveau dues à la surexploitation.



L'écoulement naturel dans le complexe terminal, auquel appartient la nappe du Mio-pliocène à HMD, se fait vers le Nord-est, vers les exutoires des grands chotts. Néanmoins, à Hassi Messaoud, cet écoulement naturel est perturbé par la surexploitation de la nappe pour les besoins de l'industrie pétrolière.

Les figures (5-9) et (5-10) donnent une indication sur cet écoulement local et les éléments de convection et/ou de dispersion. L'on constate que ces deux effets ne sont pas si importants puisque leur magnitude est mineure.

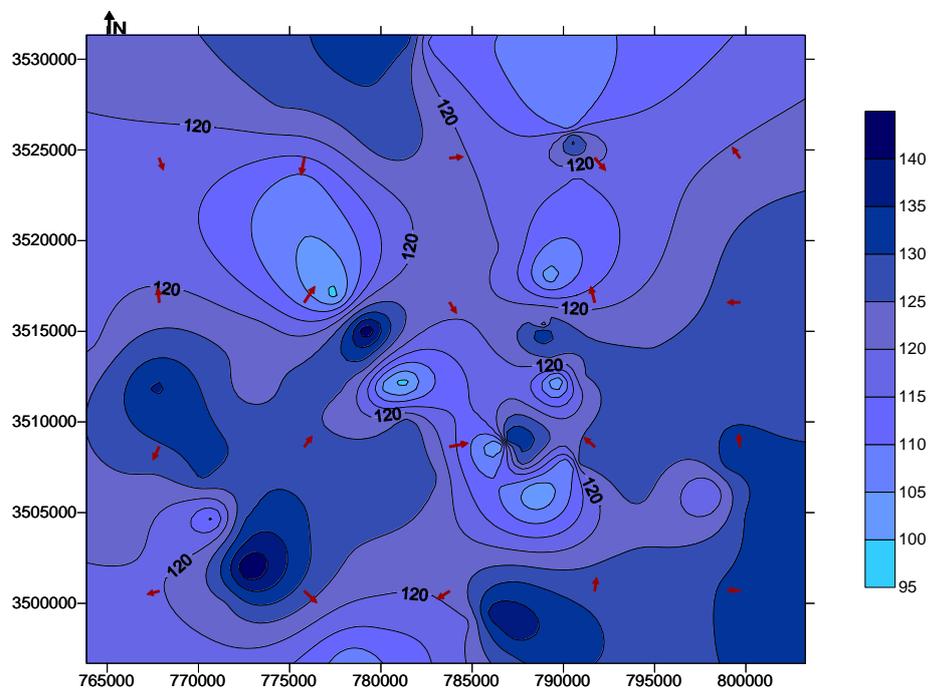


Figure (5-10) : Niveau piézométrique et sens de l'écoulement

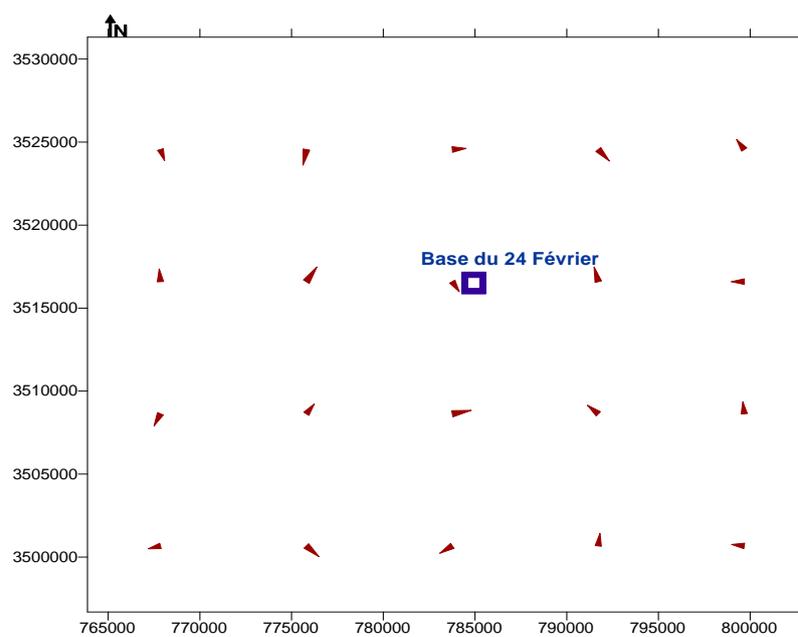


Figure (5-10) : Illustration des sens d'écoulement de la nappe phréatique à HMD

7. DISCUSSION :

Nous avons considéré trois paramètres essentiels dans l'évaluation de la vulnérabilité de la nappe phréatique du Miopliocène à HMD. Ces trois paramètres sont :

- La profondeur
- La consolidation
- Le sens d'écoulement

Nous avons exploité les données hydrogéologiques de 78 puits d'eau et les résultats de la campagne sismique 3D réalisée sur le champ de Hassi Messaoud avec 378 points de mesure.

Par rapport au premier paramètre, la partie Sud-est du champ est la plus vulnérable avec des profondeurs inférieures à la capacité de rétention nécessaire au « captage » des volumes moyens d'eau de rejet par puits. Rappelons qu'actuellement, les bourbiers sont étanchés et que ceci réduit énormément le risque et permet à l'évaporation d'éliminer une bonne partie.

Par rapport au deuxième paramètre – la consolidation – la partie Sud-ouest du champ semble un peu plus vulnérable que le reste du champ.

En considérant, les phénomènes de convection/dispersion l'on ne peut parler d'une tendance claire. Ces effets semblent d'un impact mineur et ceci est d'autant plus vrai lorsqu'on sait que la vitesse d'écoulement est faible.

8. **BIBLIOGRAPHIE DU CHAPITRE 5 :**

1. M. A. Abdallah-Elhadj, *Aquifers protection & Drilling activities – A risk based approach*. Thèse de Master - Msc in asset management with HSE – Robert Gordon University – Juin 2006
2. United States Department of Agriculture, *Technical guide to managing groundwater resources*. Mai 2007

Conclusion

CONCLUSION GENERALE

L'écosystème auquel appartient la région de Hassi-Messaoud se caractérise par un climat aride et une pauvreté en espèces et un caractère épars de la faune et de la flore. Néanmoins, la région recèle de ressources hydrogéologiques non-renouvelables considérables dont la préservation relève du domaine stratégique.

Ceci dit, l'élément de l'écosystème le plus vulnérable aux rejets de forage est la nappe phréatique qui appartient au système des aquifères du Sahara septentrional. C'était, là, l'objet de notre étude.

Les principales formes de rejets inhérents à l'activité de forage à Hassi Messaoud sont principalement:

- Les eaux de rejet (18 000 m³/puits)
- Les déblais de forage (cuttings) générés par destruction de la roche
- La boue de forage qui enrobe les cuttings (1200 m³ d'OBM/puits)
- Les déversements accidentels des boues de forage
- L'éjection de la boue bentonitique en fin de phase 26''

L'infiltration des énormes quantités d'eaux de rejets et le drainage des hydrocarbures qui constituent les Boues à Base de Gasoil - avec lesquelles ces eaux sont en contact - demeure le risque majeur pour la nappe phréatique.

Le traitement online permet de réduire considérablement le pourcentage de *Oil On Cuttings*, jusqu'à des valeurs inférieures à 5%. Néanmoins, la gestion des eaux est encore loin d'avoir atteint les objectifs. Il y a une réticence de la part des différents entrepreneurs à utiliser l'eau recyclée qui présente souvent de mauvaises caractéristiques et n'est, par conséquent, pas recommandée pour certains équipements sensibles.

Les techniques de traitement en mode offline sont la solidification et la désorption thermique. La première est beaucoup plus recommandée pour les métaux lourds, alors que dans notre cas, c'est le gasoil et les hydrocarbures

qui entrent dans la formulation des Boues à Base d'Huiles qui constituent le danger potentiel. Pour ce qui est de la désorption thermique, c'est une technique très efficace qui permet d'atteindre des valeurs du Oil On Cuttings inférieures à 1%. Néanmoins, la désorption thermique est une technique très onéreuse (10 fois le coût du traitement online) et n'est utilisée que dans les zones les plus sensibles, comme la mer du nord.

Nous avons prélevé des échantillons d'eau du Miopliocène à partir de trois puits d'eau situés dans diverses parties du champ.

Les analyses bactériologiques révèlent que l'un des échantillons présente une contamination aux coliformes totaux et fécaux. Cette contamination ne peut avoir son origine dans la nappe elle-même. Elle doit provenir soit d'une fosse sceptique proche ou encore d'une contamination en surface, au niveau de la tête de puits, après passage, très commun, d'un cheptel camelin.

Les analyses physico-chimiques, à la recherche de métaux lourds, permettent de constater une concentration de plomb quelque peu élevée, comparée aux concentrations données dans la norme algérienne pour les eaux de sources publié dans le Journal Officiel N°51 de la RADP. La concentration quelque peu élevée du plomb est probablement due à des équipements de complétion des puits hydrauliques. En effet, les études menées par *Biri et al.* ont permis de confirmer que les métaux lourds ne peuvent s'infiltrer jusqu'à la nappe phréatique. Au maximum, ces métaux s'infiltrent quelques dizaines de centimètres pour se retrouver piégés par complexation dans des passées d'argiles.

L'analyse des échantillons d'eau par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse à la recherche des hydrocarbures, ne révèle aucune forme de contamination.

Cependant, nous voulons rappeler que si aucune forme de contamination aux hydrocarbures n'ait été détectée cela n'exclut pas pour autant la possibilité de

la contamination. En effet, le faible gradient hydraulique de la nappe, rend difficiles les efforts de détection de ce genre de contamination.

Pour l'étude de la vulnérabilité de la nappe, nous avons opté pour une approche cartographiée basée sur trois paramètres essentiels :

- La profondeur de la nappe
- Le degré de consolidation de la zone non saturée
- La convection/dispersion de l'écoulement local

Nous avons exploité les données hydrogéologiques de 78 puits et les résultats de la campagne sismique 3D réalisée en 2006 sur le champ de Hassi Messaoud avec 378 points de mesure.

Nous avons démontré qu'il été possible d'exprimer la consolidation par le *Transit Time* de l'onde sismique qui se propage dans la zone altérée ou encore par la vitesse moyenne de propagation.

La cartographie réalisée par le Logiciel Surfer version 7 permet de constater :

- Par rapport au premier paramètre, la partie Sud-est du champ est la plus vulnérable avec des profondeurs inférieures à la capacité de rétention nécessaire au « captage » des volumes moyens d'eau de rejet par puits.
- Par rapport au deuxième paramètre – la consolidation – la partie Sud-ouest du champ semble un peu plus vulnérable que le reste du champ.
- Par contre, aucune tendance claire ne peut être « perçue » quant aux phénomènes de convection/dispersion.

A l'issue de cette étude nous tenons à recommander de:

1. Continuer l'étude en essayant de trouver les pondérations entre les trois paramètres de vulnérabilité qui devraient, in fine, permettre d'exprimer la vulnérabilité par une seule et même carte qui serait la superposition, avec pondération, des trois cartes des trois paramètres.
2. Etudier la possibilité de recourir au traitement de « De-watering » des eaux de rejet afin d'améliorer, par floculation/coagulation, la qualité de l'eau recyclée pour qu'elle puisse être utilisée sans préjudice aux équipements ; et arriver à terme à réduire la consommation en eau sur les chantiers de forage

Annexes

Annexe Un

		Volum e d'eau recueillie	Volum e d'huile recueillie	Masse de l'huile	Prise d'essai	%OOC
UNITE		cc	cc	G	g	
OML103	AT	35	7	5.35	174.42	3.17
	PT	19	3.5	2.76	129.56	2.13
OML103	AT	35	7	5.35	174.42	3.17
	PT	19	3.5	2.76	129.56	2.13
OMLZ33	AT	14	6	4.74	154.23	3.07
	PT	10.5	2	1.58	117.09	1.35
OMLZ32	AT	26.5	6	4.74	228.54	2.07
	PT	2	2.4	1.89	122.7	1.55
OML103	AT	38	5	3.95	135.12	2.92
	PT	1	1	0.79	78.44	1.01
OMLZ33	AT	20	6.5	5.13	50.57	10.15
	PT	17.5	3	2.37	126.62	1.87
MDZ544	AT	19	11	8.7	71.24	12.20
	PT	0.6	0	0	68.54	0
TDU HMD	AT	30	4	3.16	135.03	2.34
	PT	2	0	0	132.25	0
TDU HMD	AT	40	10	7.9	149.09	5.3
	PT	2.8	0.2	0.158	139.02	0.11
TDU HMD	AT	22	6	4.74	114.09	4.15
	PT	4	0.3	0.24	134.05	0.18
MDHA8	AT	277	7	5.53	138.76	4
MDZ544	AT	2	5	3.95	100	3.95
	PT	0	0	0	100	0
MDZ544	AT	6	4.8	3.79	100	3.79
	PT	4	0.6	0.47	100	0.47
MDZ544	AT	13.8	5.6	4.42	100	4.42
	PT	10.4	0.4	0.32	100	0.32
MDZ544	AT	17	6	4.74	100	4.74
	PT	0	0	0	100	0
MD599	AT	29	7	5.53	130.59	4.23
	PT	4.9	0.1	0.079	108.39	0.07
MDZ542	AT	6.6	6		100	4.74
	PT	6.6	0.7		100	0.55
	AT	1	3		100	2.37

MDZ542	PT	3.2	0.1		110	0.08
MDZ542	AT	5	1.4		100	1.10
MD599	AT	32	10	7.9	154.9	5.10
MD599	PT	5	0.2	0.15	118.91	0.13
MD599	AT	17	19	15.01	139.10	10.79
MD599	PT	3.4	1	0.79	117.54	0.67
MD599	AT	7	6	4.74	124.28	3.18
MD599	PT	13	1.5	1.19	129.1	0.92
MD599	AT	17	10	7.9	136.67	5.78
MD599	PT	11	0.5	0.39	138.95	0.28
MD599	AT	7.6	9	7.11	147.41	4.82

- **AT** : Avant Traitement
- **PT** : Après traitement

Annexe Deux

DOMAINE D'APPLICATION

Ces essais sont utilisés pour déterminer la mobilité d'analytes inorganiques présents dans des résidus solides.

PRINCIPE ET THÉORIE

Pour les échantillons contenant plus de 0,5 % de solides en suspension, le liquide est séparé du solide dans une première étape. Par la suite, le solide est mis en contact avec une solution de lixiviation.

La solution de lixiviation utilisée dépend du type de lixiviation demandé. Finalement, la solution est filtrée et le dosage est effectué sur le liquide obtenu.

Il y a plusieurs types de lixiviation, qui sont:

- Lixiviation pour l'évaluation de la mobilité des espèces inorganiques
- Lixiviation (en milieu acide acétique lorsque la capacité de neutralisation est supérieure à 3 eq/kg à un pH de 9) pour la valorisation de résidus industriels non dangereux et l'évaluation des résidus stabilisés et solidifiés.
- Lixiviation pour simuler les pluies acides pour déterminer la concentration des espèces inorganiques susceptibles d'être lixiviées par les pluies acides afin d'évaluer les possibilités de valorisation des résidus industriels non dangereux et de gestion des matières résiduelles traitées par stabilisation-solidification.
- Lixiviation à l'eau

PRÉLÈVEMENT ET CONSERVATION

Pour les solides, prélever un échantillon représentatif d'un poids minimum de 500 g dans un contenant de verre ou de plastique. Pour les échantillons liquides, prélever un volume minimum de 1 litre dans un contenant de verre ou de plastique. Aucun agent de conservation n'est ajouté, conserver à environ 4 °C.

APPAREILLAGE

Broyeur capable de réduire un solide à une taille inférieure à 9,5 mm et à 100 Mesh.

Appareil pour lixiviation

Étuve à 60 °C ± 5 °C

PH-mètre

Système de filtration sous vide

Tamis de 9,5 mm et de 150 µm (100 Mesh)

Une solution étalon en utilisant 5,7ml Acide acétique glacial HCH₃CO₂ dans 1l d'eau distillé

PROTOCOLE D'ANALYSE POUR LA SIMULATION DES PLUIES ACIDES

Dans une bouteille de plastique ou de verre, peser un minimum de 20 g d'échantillon

préalablement broyé, leur grosseur maximale permise est de 9,5mm.

Ajouter le tampon acide de façon à obtenir un rapport solide : liquide de 1 : 20

(ex. : 20 g de solide et 400 ml de tampon).

-Boucher la bouteille et placer sur un appareil pour la lixiviation.

-Agiter pendant 18 heures à une vitesse de rotation d'environ 30 ± 2 tr/min.

-Filtrer l'échantillon sous vide sur une membrane de 0,45 µm, placer le filtre en prenant soin de déposer le côté rugueux du filtre sur le dessus, puis faire le vide.

CALCUL ET EXPRESSION DES RÉSULTATS

Le pourcentage de la phase liquide dans l'échantillon est déterminé comme suit :

$$S_1 = A * 100 / C * D$$

Sl : pourcentage de la phase liquide (% P/P);

A : poids du liquide après la filtration (g);

C : poids du becher + échantillon avant la filtration (g);

D : poids du becher + particules collées aux parois (g).

Le pourcentage de la phase solide dans l'échantillon est déterminé comme suit :

$$S_s = S_1 * 100$$

S_s : pourcentage de solides en suspension (% P/P); S_l : pourcentage de la phase liquide (% P/P).



Filtre presse



Four rotatif

Annexe Deux

L'échantillonnage

Les bouteilles d'échantillonnage utilisées sont en verre et contiennent 0,2ml de thiocyanate de sodium pour capter les ions chlorure car il attaque les germes, les bouteilles sont stériliser au par avant.

Technique de stérilisation utilisée

La technique de stérilisation par chaleur humide, c'est le principe de l'autoclave.

L'autoclave est un appareil très performant, il est utilisé pour la stérilisation des milieux de culture et des bouteilles d'échantillonnage et tout autre matériel de microbiologie.

Le chauffage à lieu sous pression de vapeur d'eau, généralement à une température de 120°C pendent une duré de 20 minutes.

Les milieux utilisés

Pour le dénombrement des coliformes, des colibacilles et des streptocoques fécaux on a utilisé des milieux de culture liquide, qui seront représenté dans le tableau ci-dessous.

Les milieux de culture liquide permettent une culture facile et rapide aux bactéries, mais ils se trouvent dispersés, et il est impossible de séparés des espèces bactériennes différentes.

Les milieux de culture liquide sont réparties dans des tubes à essai , ou il y a présence de cloche au fond.

Type de dénombrement	Test préventif	Test confirmatif
Coliformes	BCLP	Schubert
Streptocoques fécaux	Rothe	LITSKY

Recherche des coliformes totaux et fécaux

Test présomptif

Introduire 50ml dans le flacon de BCLP à double concentration.

Remplir 10ml dans cinq tubes de BCLP à double concentration.

Remplir 10ml dans cinq tubes de BCLP à simple concentration.

Incuber le flacon et les dix tubes pendant 48 heures à 37°C.



50ml BCPL D/C

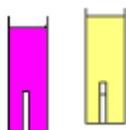
10ml BCPL D/C

10ml BCPL S/C

Lecture

Un test positif se traduit par acidification du milieu par dégradation du lactose avec production de gaz carbonique CO₂, et virage de l'indicateur coloré du violet au jaune translucide, et présence du gaz au moins à 1/10^{ème} de la cloche, implique présence des coliformes totaux.

Dans chacun des cas, le nombre de coliformes par moyenne arithmétique peut être évalué en se rapportant aux tableaux de Mac Grady pour calculer le nombre le plus probable.



Test confirmatif

Prenez 1ml à partir d'un tube positif qui servi à la recherche des coliformes totaux, puis ensemencer 1 ml sur milieu Schubert.

Incuber pendant 24heures à 44°C

Lecture

S'il y a un trouble et présence de gaz dans la cloche, rajoutez quelque goutte du réactif de covax.

Laissez reposer 4 à 5 minutes, s'il aura présence d'un anneau rouge implique la présence des colibacilles qui appartiennent à la famille des coliformes fécaux.



Recherche des streptocoques fécaux

Les Streptocoques fécaux (*Enterococcus* ou Streptocoques D) sont des commensaux intestins. Le nombre de Streptocoques étant en général peu élevé, on utilise dans un premier temps un milieu d'enrichissement relativement sélectif, le milieu de Rothe. Ils sont recherchés de manière présomptive sur le milieu de Rothe (bouillon glucosé à l'azide). Ce milieu n'est pas spécifique des streptocoques fécaux car il permet le développement d'autres streptocoques. Un développement positif constitue une présomption de streptocoques fécaux. Les tubes incriminés sont repiqués sur le milieu liquide en tube de Listky à l'azide et l'éthyle violet qui lui est spécifique.

Protocole

Test présomptif

Introduire 50ml dans le flacon sur milieu Rothe à double concentration

Remplir 10ml dans cinq tubes de milieu Rothe à double concentration.

Remplir 10ml dans cinq tubes de milieu Rothe à simple concentration au trois quart

Incuber le flacon et les dix tubes pendant 48 heures à 37°C.



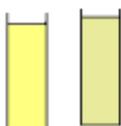
50ml Rothe D/C

10ml Rothe D/C

10ml Rothe S/C

Lecture

Le milieu devient trouble avec dépôt microbien



Test confirmatif

Prenez 1ml à partir d'un tube positif qui a servi à la recherche des streptocoques fécaux, puis ensemencer 1 ml sur milieu LITSKY.

Incuber pendant 24 heures à 37°C

Lecture

Le milieu devient trouble avec dépôt microbien

Annexe Quatre

LE PH

Le PH est en relation étroite avec la concentration des ion Hydrogène (H⁺) présents dans l'eau ou les solutions. (Les ions H⁺ présents dans les eaux naturelles sont dus à des causes diverses en particulier l'ionisation de l'acide carbonique et de ces sels).

L'électrode de verre est universellement employée pour la mesure du PH des eaux , car elle ne modifie pas l'équilibre ou les concentrations gazeuses et, d'autre part elle est insensible au groupes oxydo-réducteurs.

REFERENCE: NF T 90-008 AVRIL 1953

OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

Ce mode opératoire décrit une méthode de la mesure du PH des eaux par la méthode potentiométrique au moyen de l'électrode de verre. Elle précise les caractéristiques essentielles à exiger de l'appareillage en vue d'obtenir des résultats comparables et d'autre part elle constitue une normalisation du mode d'emploi de l'électrode de verre et des techniques à suivre pour obtenir des résultats corrects.

La norme est applicable pour les eaux dont la température est comprise entre 0 et 60 °C . Elle n'est pas applicable pour la détermination de valeurs de PH supérieurs à 11 unités ou inférieurs à 1 unité avec les électrodes de verre habituelles.

PRINCIPE

La différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence (calomel-KCl saturé) plongeant dans une même solution ,est une fonction linéaire du pH de celle-ci . En effet ,d'après les lois de NERNST , le potentiel de l'électrode est à l'activité des ions H⁺ présents par la relation:

$$X = k + \frac{RT}{F} + \text{Log} [H^+]$$

R : représente la constante des gaz ,en Joules /Degrés

T : la température absolue (°K)

F : le symbole du Farady (96500 coulombs)

[H⁺] : est l'activité des ions [H⁺].

K : est une constante dépendant de la nature du verre de l'électrode et dispositif de mesure.

APPAREILLAGES

- PH- mètre
- Electrode de verre

EXPRESSION DES RESULTATS

Dans les conditions opératoires décrites dans la norme, la précision de la détermination est de + ou – 0.02 unité de PH.

Les résultats sont exprimés en unités de PH, à la température de 20°C.



PH mètre

TURBIDITE

Principe

La détermination de la turbidité mesure une propriété optique de l'échantillon d'eau qui résulte de la dispersion et de l'absorption de la lumière par les particules de matières en suspension présentes dans l'échantillon.

La quantité de turbidité mesurée dépend de variables telles que la taille, la forme et les propriétés de réfraction des particules. Il n'existe pas de relation directe entre la turbidité de l'échantillon d'eau et la concentration en mg/l des matières en suspension.

Mode opératoire

Remplir la cellule à la ligne (environ 15 ml)

Essuyer la cellule avec le morceau du tissu pour enlever les traces d'eau et les empreintes.

Appliquer un film de l'huile de silicone sur la cellule et essuyer avec le morceau de tissu.

Presser le bouton I/O pour allumer le turbidimètre et placer la cellule

Sélectionner la gamme de mesure en pressant le bouton «Range»

Presser le bouton «READ». L'instrument montre ----- NTU .

La turbidité est exprimée en NTU. Lire la valeur après l'extinction du symbole de la lampe.



Turbidimètre

CONDUCTIVITE , SALINITE ET TDS

Méthode d'essai:

La mesure de la conductivité de la salinité et des TDS se font par un même et unique appareil conductimètre dont on change les paramètres pour lire à chaque fois une donnée.

Rincer abondamment la sonde à l'eau distillée avant chaque utilisation.
Introduire la sonde dans la solution à analyser. Régler la constante de la cellule à l'arrière de l'appareil à $K = 0.1$.

Conductivité: Elle est déterminée à 15 °C

Appuyer sur la touche kappa jusqu'à l'obtention du symbole «Cond»
Appuyer sur la touche C pour régler le fonctionnement à l'une des deux gammes $\mu\text{S}/\text{cm}$, mS/cm qui donnera la meilleure résolution et la valeur s'affiche elle correspond à la conductivité à une température de référence.

Salinité totale exprimée en NaCl:

Appuyer sur la touche kappa jusqu'à l'obtention du symbole (Sal)
La valeur de la salinité s'affiche si cette dernière est comprise entre 100 mg/l et 70 g/l.

Teneur en sels dissous totaux TDS:

Appuyer sur la touche kappa jusqu'à l'obtention du symbole (TDS)
La valeur des TDS s'affiche si cette dernière est comprise entre 0 mg/l et 2000 mg/l.

Etalonnage de l'appareil :

L'appareil est étalonné par une solution de KCL à 0.01 mol/l:
Résistivité = $783.10 \Omega \cdot \text{cm}$
Conductivité = $1277 \mu\text{S}/\text{cm}$ à 20°C



Appareil de mesure de la conductivité, la salinité et TDS

DOSAGE DES IONS CALCIUM **Méthode titrimétrique à l'EDTA**

REFERENCE: NFT 90-016

OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

La présente norme spécifie une méthode titrimétrique à l'EDTA pour le dosage du calcium dans les eaux souterraines, les eaux de surface et les eaux de boisson. Elle peut aussi être utilisée pour les eaux résiduaires urbaines et les eaux brutes industrielles, à condition qu'elles ne contiennent pas de métaux lourds en quantités interférentes.

Elle est applicable aux eaux dont la teneur en calcium varie de 2 à 100 mg/l, pour les eaux contenant plus de 100 mg/l de calcium, une dilution de l'échantillon doit être effectuée.

PRINCIPE

Titration des ions calcium avec une solution aqueuse de sel disodique d'acide éthylène - diamine tétraacétique(EDTA) à un pH compris entre 12 et 13.

L'acide calconique qui forme un complexe rouge avec le calcium, est utilisé comme indicateur. Le magnésium est précipité sous forme d'hydroxyde (MgO) et n'interfère pas lors du dosage.

Lors du titrage, l'EDTA réagit tout d'abord avec les ions calcium libres, puis les ions calcium combinés avec l'indicateur qui vire alors de la couleur rouge à la couleur bleu clair.

MODE OPERATOIRE

- Préparation de l'échantillon: si la concentration supérieure à 100 mg/l de calcium, effectuer une dilution afin de ramener la concentration dans la zone désirée et noter le facteur de dilution.

- Dosage:

A l'aide d'une pipette, introduire 50,0 ml de l'échantillon préparé dans une fiole conique de 250 ml.

Ajouter 2 ml de la solution d'hydroxyde de sodium et environ 0,2 g de l'indicateur HSN.

Mélanger et doser immédiatement. avec la solution d'EDTA tout en continuant d'agiter. En versant lentement

En fin de dosage. Le virage est atteint lorsque la couleur devient nettement bleue et la couleur ne doit plus changer avec l'ajout d'une goutte supplémentaire de la solution d'EDTA.

Expression des résultats

La teneur en calcium QCa exprimée en milligrammes par litre, par l'équation

$$QCa = \frac{C_1 V_3}{V_0} \times A \times D$$

où

C_1 est la concentration, exprimée en millimoles par litre, de la solution d'EDTA;

V_0 est le volume, en millilitres, de la prise d'essai;

V_3 est le volume, en millilitres, de la solution d'EDTA, utilisée pour le dosage.

A est la masse atomique relative du calcium (40,08).

D : le facteur de dilution.

DOSAGE DU CALCIUM + MAGNESIUM

Méthode titrimétrique à l' EDTA

REFERENCE: NFT 90 - 003

OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

La présente norme spécifie une méthode titrimétrique à l'EDTA pour la détermination de la somme des concentrations en calcium et magnésium dans les eaux souterraines, les eaux de surface et les eaux de boisson.

La méthode n'est pas applicable aux effluents et aux eaux ayant une forte concentration en sels, telles que les eaux de mer. La plus faible concentration qui peut être déterminée est de 3.5 mg /l.

PRINCIPE

Titration molaire des ions calcium et magnésium avec une solution de sel disodique de l'acide éthylènediaminétraacétique(EDTA) à pH 10. Le noir ériochrome T, qui donne une couleur rouge foncé ou violette en présence des ions calcium et magnésium, est utilisé comme indicateur.

MODE OPERATOIRE

Introduire 50 ml de l'échantillon dans une fiole conique de 250 ml .
Ajouter 4 ml de la solution tampon et une pincée de l'indicateur au noir ériochrome. La solution doit se colorer en rouge foncé ou violet et son pH doit être de 10.0 ± 0.1 . Dans le cas où le pH est inférieur à 10, ajouter la quantité de tampon nécessaire.

Doser immédiatement à l'aide de la solution d'EDTA en agitant constamment . Verser rapidement au début du dosage puis lentement vers la fin. Ajouter la solution d'EDTA goutte à goutte dès que la couleur de la solution commence à virer du rouge et du violet au bleu . La couleur ne doit plus changer par addition d'une goutte supplémentaire de la solution d'EDTA.

En cas de difficulté d'appréciation du virage de l'indicateur, titrer un échantillon de la manière suivante:

Introduire 50.0 ml de l'échantillon dans une fiole conique de 250 ml.
Ajouter un volume de la solution d'EDTA inférieur de 0.5 ml à celui versé lors du premier titrage.

Ajouter 4 ml de la solution tampon et une pincée d'indicateur. Titrer goutte à goutte jusqu'à ce que le point de virage soit atteint.

Si le résultat diffère de celui obtenu lors du premier titrage de plus de 0.2 ml, titrer un troisième échantillon de la même manière.

Si le volume de la solution d'EDTA versée est inférieur à 2 ml, effectuer un autre titrage en prenant un volume plus grand d'échantillon.

Si le volume de la solution d'EDTA versée excède 20 ml, effectuer un autre titrage en prenant un plus petit volume d'échantillon.

Ajouter de l'eau distillée de façon à ce que le volume initial de la solution d'essai, soit de 50 ml.

EXPRESSION DES RESULTATS:

La concentration totale en calcium et magnésium ($\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$) exprimée en méq est donnée par la formule:

$$Q (\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}) = \frac{C \times V_1 \times 2 \times 1000}{V_2}$$

C = Concentration exprimée en moles / litre de la solution d'EDTA

V_1 = volume en ml de la solution d'EDTA utilisée pour le titrage

V_2 = volume en ml de la prise d'essai de l'échantillon dosé.

La concentration en magnésium exprimée en milligrammes par litre est donnée par la formule :

$$Q (\text{Mg}^{++}) = \frac{C \times (V_1 - V_3) \times A \times 1000}{V_2}$$

V_3 = volume de la solution d'EDTA versée pour le dosage du calcium.



Burette automatique pour mesurer la dureté

DETERMINATION DE L'ALCALINITE (OH⁻, CO₃⁼ et HCO₃⁻)

REFERENCE: NFT 90 - 036

OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

La présente norme a pour objet de déterminer l'alcalinité d'une eau par la mesure du «titre alcalimétrique» (TA) et du «titre alcalimétrique complet» (TAC).

Elle comporte la description d'une méthode volumétrique applicable dans tous les cas où la présence de substances qui tamponnent les ions hydrogène dans les zones de pH de 4.3 et 8.3 n'est pas à craindre; elle peut être mise en oeuvre soit à l'aide d'indicateurs colorés, soit à l'aide d'un pH-mètre. L'emploi de cette dernière technique, plus générale, est recommandé dans le cas des eaux troubles, riches en matières en suspension, colorées ou qui altèrent les indicateurs et dans le cas des eaux dont l'alcalinité totale est inférieure à 0.2 milliéquivalent-gramme par litre.

PRINCIPE

Détermination des volumes successifs d'acide fort en solution diluée nécessaire pour neutraliser, aux niveaux de pH 8.3 et 4.3, le volume d'eau à analyser. La première détermination sert à calculer le titre alcalimétrique(TA), la seconde à calculer le titre alcalimétrique complet(TAC).

Aucun remplissage de la burette n'intervenant entre les deux lectures, TA sera inclus dans TAC, et de ce fait, lui sera toujours inférieur.

MODE OPERATOIRE:

DETERMINATION DU TITRE ALCALIMETRIQUE (TA):

Placer la prise d'essai dans un bécher de volume suffisant (50 ml).

METHODE POTENTIOMETRIQUE:

Si le pH est supérieur à 8.3, verser lentement l'acide chloridrique (HCl) de concentration 0.05 mole par litre pour obtenir cette valeur.

Noter le volume Plu à la burette.

DETERMINATION DU TITRE ALCALIMETRIQUE COMPLET (TAC):

Utiliser la prise d'essai traitée précédemment

METHODE POTENTIOMETRIQUE:

Verser ou continuer à verser lentement l'acide HCl jusqu'à un pH de 4.3. Noter le volume Tlu à la burette.

EXPRESSION DES RESULTATS:

$$\text{Si } P = 0 \text{ ----- } [\text{HCO}_3^-] \text{ en mg/l} = \frac{T \times N \times 61 \times 1000}{V} \quad (\text{mg/l})$$

$$[\text{OH}^-] = [\text{CO}_3^{2-}] = 0 \quad (\text{mg/l})$$

$$\text{Si } P \leq \frac{1}{2} T \text{ ou ----- } [\text{HCO}_3^-] = \frac{(T-2P) \times N \times 61 \times 1000}{V} \quad (\text{mg/l})$$

$$[\text{CO}_3^{2-}] = \frac{(2P) \times N \times 60 \times 1000}{V} \quad (\text{mg/l})$$

$$[\text{OH}^-] = 0$$

$$\text{Si } P > \frac{1}{2} T \text{ ----- } [\text{HCO}_3^-] = 0$$

$$[\text{CO}_3^{2-}] = \frac{(2T-2P) \times N \times 60 \times 1000}{V} \quad (\text{mg/l})$$

$$[\text{OH}^-] \text{ l} = \frac{(2P-T) \times N \times 60 \times 1000}{V} \quad (\text{mg/l})$$

Si $P = T$ ----- $\text{HCO}_3^- = 0$
 $\text{CO}_3^{2-} = 0$
 $\text{OH}^- = 0$

Le titre alcalimétrique TA et le titre alcalimétrique complet TAC, exprimés en milli-équivalents par litre sont donnés respectivement par les expressions:

$$\text{TA} = \frac{P \times N \times 1000}{V}$$

$$\text{TAC} = \frac{T \times N \times 1000}{V}$$

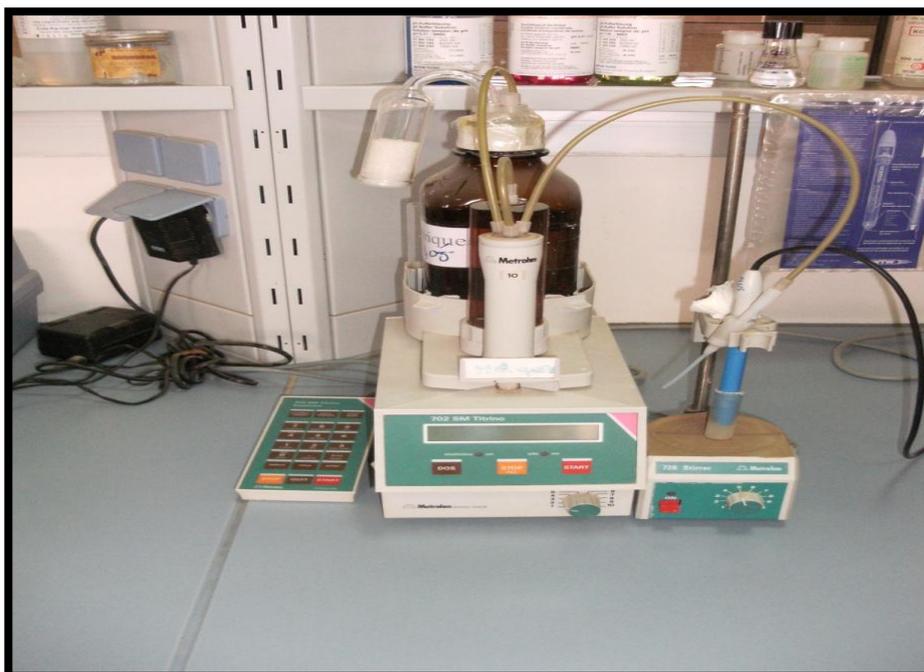
où

V = volume de la prise d'essai en (ml)

P = volume d'acide lu à la burette en (ml)

T = volume d'acide lu à la burette en (ml)

N = normalité de la solution acide



Burette automatique pour mesurer l'alcalinité

DOSAGE DES IONS CHLORURES (Méthode de Mohr)

REFERENCE: Norme T 90-014

OBJET DE LA NORME

La présente norme a pour objet la description d'une méthode de dosage des ions chlorures présents dans l'eau.

Si la teneur de l'eau à analyser est inférieure à 5 mg/l, l'échantillon est concentré de façon à amener sa teneur entre 5 et 150 mg/l.

Si cette teneur est supérieure à 150 mg/l, l'échantillon est dilué par addition d'eau distillée de façon à ramener sa teneur entre les limites indiquées.

PRINCIPE

Dosage du chlore combiné à l'état de chlorure par le nitrate d'argent, en présence de chromate de potassium comme indicateur.

MODE OPERATOIRE:

1- Préparation de l'échantillon:

Metz 10 ml dans un bécher

Rajoutez 1 ml de solution de chromate de potassium $K_2Cr_2O_7$ comme indicateur coloré.

Dosez avec le nitrate d'argent $AgNO_3$

La couleur vire du jaune à une très faible teinte brunâtre.

EXPRESSION DES RESULTATS

La teneur de l'eau en chlorures sera donnée en milligrammes/litre par l'expression:

$$Q_{Cl^-} = \frac{V \times N \times A \times 1000 \times D}{PE}$$

V = volume en millilitres de la solution de nitrate d'argent utilisé

N = normalité de la solution du nitrate d'argent.

A = masse atomique de l'ion chlore 35.457

D = dilution utilisée

PE = volume de la prise d'essai utilisé

ABSORPTION ATOMIQUE

Principe

L'échantillon est nébulisé avant d'être entraîné dans la flamme qui provoque l'atomisation. Le rôle de la flamme est de convertir l'échantillon en nuage atomique qui peut absorber les radiations émises par la lampe (Cette zone chaude est située sur le parcours optique de l'appareil, en aval de la source lumineuse).

L'atome à l'état fondamental absorbe l'énergie lumineuse émise par la lampe et passe à l'état excité.

L'utilisation d'une source de lumière (lampe) spécifique à une longueur d'onde spécifique permet la détermination individuelle de l'élément voulu. En mesurant la quantité de lumière absorbée par les atomes, on détermine la concentration en élément.



Spectromètre d'adsorption atomique

Identification des essais

Essai	Numéro Atomique	Longueur d'onde nanomètre	Fente Nanomètre	Sensibilité mg/l	Gamme de Linéarité mg/l	Solution étalon
Plomb (Pb)	82	217.0	0.7	0.190	20.0	Solution étalon de Pb à 20.0 mg/l
Cuivre (Cu)	29	324.8	0.7	0.077	5.0	Solution étalon de Cu à 4.0 mg/l
Zinc (Zn)	30	213.9	0.9	0.018	1.0	Solution étalon de Zn à 1.0 mg/l
Manganèse (Mn)	25	279.5	0.2	0.052	2.0	Solution étalon de Mn à 2.0 mg/l
Sodium	11	330.2	0.7	1.700	80.00	Solution étalon de 50.0 et 100.0 mg/l
Potassium	19	769.9	1.4	0.083	20.00	Solution étalon de 4.00 et 12.00 mg/l
Cadmium (Cd)	40	228.8	0.7	0.028	2.0	Solution étalon de Cd à 2.0 mg/l

Annexe Cinq

PUITS		MES	PB	Cu	Cr	Cd	Zn	Mn
ZRG1	Eau de séparation (mg/l)	279	00	0.13	00	00	0.53	
	Bourbi ers		00	0.80	00	00	09.2 0	
MDZ605 ES	Cuttin gs traité ES		109	0.90	00	2.00	112. 50	50.0 0
MDZ605 ES	Cuttin gs traité ES		54.0 0	0.30	00	2.00	85.0 0	35.0 0
MDZ605 ES	Cuttin gs non traité ES		204. 00	0.10	0.20	2.00	145. 00	
	Cuttin gs traité ES		36.0 0	0.40	00	1.00	80.0 0	40.0 0
MDZ605 ES	Cuttin gs non traité ES		176	00	00	1.00	137. 50	
	Cuttin gs traité ES		23	00	00	1.00	75.0 0	45.0 0
MDZ605 ES	Cuttin gs non traité ES		157	0.30	0.60	1.00	120. 00	38.0 0
	Cuttin gs traité ES		8.00	0.20	0.40	00	8.20	22.0 0
MDZ605	Cuttin gs non traité ES		00	00	00	00	0.70	0.90
	Cuttin gs traité ES		00	00	00	00	0.30	0.70
MD599	Cuttin gs non traité ES		11.0 0	00	00	00	57.0 0	2.00
	Cuttin gs traité ES		00	00	00	00	Trac e	00
MD599	Cuttin gs non traité ES		43.0 0	0.70	/	1.00	40.0 0	50.0 0
	Cuttin gs traité ES		10.0 0	0.70	/	1.00	14.0 0	140. 00

MD599	Cuttin gs non traité ES	5.00	0.80		00	4.40	50.0 0
	Cuttin gs traité ES	34.0 0	1.20		1.00 0	38.0	140. 00
MD599	Cuttin gs non traité ES	5.00	0.90	/	00	4.80	40.0 0
	Cuttin gs traité ES	4.00	0.40	/	00	6.00	100
MD599	Cuttin gs non traité ES	3.00	3.00	/	00	1.00	30.0 0
	Cuttin gs traité ES	5.00	0.40	/	00	1.20	180. 00
OMO31	Cuttin gs non traité ES	6.8	12.0	2.3	Ni 6.2	0.2	4.6
	Cuttin gs traité ES	0.4	00	0.0	0.0	0.7	0.0
OMO31 OMO31	Cuttin gs non traité ES	13.4	6.1	1.5	4.1	0.4	12.2
	Cuttin gs traité ES	0.2	00	0.0	0.0	0.6	0.0
OMO31 OMO31	Cuttin gs non traité ES	15.3	8.5	4.6	5.6	0.4	8.7
	Cuttin gs traité ES	0.0	00	0.0	0.2	0.9	0.0
OMO31 OMO31	Cuttin gs non traité ES	17.1	2.6	7.2	8.5	0.3	14.5
	Cuttin gs traité ES	0.0	00	0.0	0.0	1.0	0.0
OMO31 OMO31	Cuttin gs non traité ES	9.6	4.7	5.5	9.3	0.0	9.8
	Cuttin gs traité ES	0.2	00		0.0	0.2	0.0

RESUME

Le présent travail est une étude de la vulnérabilité de la nappe phréatique à Hassi-Messaoud aux rejets inhérents à l'activité de forage.

Une nouvelle méthode basée sur des paramètres liés à la pédologie, à l'écoulement souterrain ainsi qu'à la profondeur de la nappe a été développée pour l'objet de l'étude. La méthode développée permet, aussi, de cartographier le niveau de vulnérabilité.

Des données de carottage sismique sur le champ de Hassi-Messaoud – campagne sismique 3D 2005-2006 – ont été exploitées pour mesurer les paramètres pédologiques et de consolidation de la zone non saturée.

Une campagne d'échantillonnage d'eau du mio-pliocène et d'analyses bactériologiques et physicochimiques a permis de constater qu'il n'y a aucune indication sur une éventuelle contamination par les rejets de forage pétrolier.

Mots clés :

Vulnérabilité, nappe phréatique, rejets de forage, sismique, cartographie, risque

ABSTARCT

The present study aims at evaluating the vulnerability - to the drilling wastes - of the water table aquifer in Hassi Messaoud.

A New method based upon depth, underground flow and rock strength parameters has been developed for the purpose of the study. This method enables, as well, the mapping of the vulnerability levels.

Seismic data from the 3D campaign of 2005 - 2006 on Hassi Messaoud Oilfield have been used to estimate the consolidation strength of the vadose zone.

Samples from different water-wells have been collected. Bacteriological and physicochemical analyses have been carried out on the collected samples showing no evidence or indication of a suspected contamination of the water table aquifer by drilling wastes.

Keywords:

Vulnerability, groundwater, drilling wastes, seismic, mapping, risk

ملخص

العمل الحالي هو دراسة لهدى تعرض المياه الجوفية في حاسي مسعود لخطر التلوث بإفرازة الحفر المرتبطة بنشاط الحفر. ثم تطوير منهجية تقوم على متغيرات مرتبطة بطبيعة التكوينات الجيولوجية و التدفق الجوفي و كذا عمق المياه الجوفية هذه المنهجية التي وضعت لغرض الدراسة تمكننا أيضا من رسم خرائط لمستوى المخاطر. كما استخدمت بيانات أساسية من حملة النفط الجيولوجية و التدفق الجوفي لحاسي مسعود 2005-2006 لقياس المتغيرات السطحية للتربة الغير المشبعة كما مكنتنا حملة التحاليل الكيميائية و الفيزيائية من استبعاد احتمالات التلوث بمشتقات النفط.

الكلمات الرئيسية

القابلية للتلوث ، المياه الجوفية ، إفرازات الحفر ، رسم الخرائط لجيوفيزيائية ، مخاطر