

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

UNIVERSITE Saad DAHLEB-BLIDA 1

Faculté de Technologie

Département des Sciences de L'eau et Environnement



MEMOIRE DE MASTER

Filière : **Hydraulique**

Spécialité : **science de l'Eau**

Thème :

Caractérisation des eaux de gisements de Hassi Messaoud et gestion des déchets
de forage pour la préservation de l'environnement

Présenter par :

BELGACEM Rania

Devant le jury composé de :

M.Messaourd Nacer N

M.Remini B

M. Khouli R

Mme. Benzineb K

Maitre de conférences A

Maitre de conférences A

Maitre-assistant

Maitre de conférences A

Promoteur

Président

Examineur

Examinatrice

Promotion 2018/2019

Remerciements

Au terme de notre cursus à l'université, j'invoque Dieu et le remercie pour sa gratitude.

Je tiens à transmettre ma reconnaissance au Dr Nasreddine MESSAOUD NACER, Maître de conférence / A à l'USDB, qui m'a recommandé ce projet. Je le remercie pour la confiance qu'il m'a accordée et au temps consacré pour mener à bien ce travail.

Mes remerciements s'adressent également aux membres du jury, qui ont bien voulu accepter d'évaluer mes travaux.

Je saisis cette occasion pour complimenter nos professeurs, et particulièrement Mme S. BOUZOUIDJA, Mr H. GUENDOZ, Mr D. BENS AFLA, pour les connaissances scientifiques qu'ils nous ont transmises, et l'éducation vertueuse qu'ils nous ont inculquée.

A tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire, qu'ils puissent trouver dans ce travail le témoignage de ma sincère gratitude et profond respect.

Dédicaces

Je dédie ce mémoire à :

Ma très chère mère,

Mon frère et mes sœurs,

Mes sœurs de cœur Katia et Annia,

*Djeddi, Azouzu, Bilal, Aniès
et
l'ensemble de ma famille,*

Nourhane, Rania et sa maman,

Mes amies et collègues,

Tous ceux qui me sont proches.

Rania.

SOMMAIRE

Liste des figures
Liste des tableaux
Résumé

INTRODUCTION GENERALE	1
-----------------------------	---

Chapitre I : Présentation de l'entreprise – Lieu de stage

I.1	Présentation de la SONATRACH - Division forage.....	2
I.2	L'organigramme de la division forage - SONATRACH	3
I.3	L'historique du champ de Hassi Messaoud.....	4
I.4	La politique HSE.....	4
I.5	Le département hydraulique.....	5
I.6	Les engagements de la SONATRACH.....	5

Chapitre II : Généralités géographiques et géologiques

II.1	Situation géographique de Hassi Messaoud.....	6
II.2	Description géologique générale.....	6
II.3	La stratigraphie du champ de Hassi-Messaoud.....	7
II.4	La structuration du champ de Hassi-Messaoud	10
II.4.1	La tectonique du champ	10
II.4.1.1	La structuration antétriasique	10
II.4.1.2	La structuration post-triasique	11
II.4.1.3	La structuration actuelle de la plateforme Saharienne.....	11

Chapitre III : Géologie des provinces pétrolières et caractérisation des eaux de gisements

Partie A/ Géologie des provinces pétrolières.

III.A.1	Les provinces pétrolières	14
III.A.2	La province triasique	15
III.A.3	Lithologie et structure des gîtes pétroliers.....	15
III.A.3.1	La roche mère	15
III.A.3.2	Les roches couvertures	16
III.A.3.3	Les pièges.....	16
III.A.4	La migration des hydrocarbures.....	17
III.A.5	Les bassins sédimentaires Algériens.....	17
III.A.6	Le complexe cambro-ordovicien-silurien.....	17
III.A.6.1	La stratigraphie du complexe cambro-ordovicien-silurien.....	18

Partie B/ Caractérisation des eaux de gisements

III.B.1	Les eaux de gisements.....	19
III.B.2	Définitions de différents types d'eau.....	19
III.B.3	Caractérisation hydro-chimique des eaux de gisement de Hassi-Messaoud.....	20
III.B.3.1	La qualité de la donnée hydraulique.....	20
III.B.3.2	Présentation hydrogéochimique générale	21
III.B.3.3	Essai de classification des eaux du gisement cambrien.....	25
III.B.3.4	Caractérisation des eaux recueillies sur un champ type.....	26
III.B.3.5	Différents types d'eaux rencontrées.....	27

Chapitre IV : le « Waste managment » de SONATRACH pour la préservation de l'environnement

IV.1	Aperçu sur les différentes étapes du forage pétrolier et aspects environnementaux	30
IV.1.1	Le forage pétrolier.....	30
IV.1.2	Présentation d'un appareil de forage.....	30
IV.1.3	Les fluides de forage.....	31
IV.1.3.1	Les types des boues de forage.....	32
IV.1.3.2	Le circuit de la boue.....	33
IV.1.4	L'usage d'eau et de gasoil pendant les activités de forage.....	33
IV.1.5	Les sources de pollution	35
IV.1.6	Les déchets issus de forage	35
IV.2	La réglementation Algérienne en matière de protection de l'environnement.....	35
IV.3	Les procédés de traitement des déblais de forage.....	36
IV.3.1	Le traitement par solidification/ stabilisation (S/S) offline.....	36
IV.3.2	La désorption Thermique (ex-situ).....	37
IV.3.3	D'autres techniques de traitement.....	37
IV.4	Le système « Waste management » de la SONATRACH.....	39
IV.4.1	Les objectifs du système « waste management ».....	40
IV.4.2	Les composants du « waste management system ».....	40
IV.4.3	Le waste ségrégation et pit liner.....	41
IV.4.4	L'essai proposé par MI Algeria_ENAFOR #47 puits MD#712 (ZERO DISCHARGE)	41
IV.4.5	Le volume des déblais humide transférés	43
CONCLUSION GENERALE		47

Références bibliographiques

LISTE DES FIGURES

Figure I.1	Organigramme de la Division Forage – SONATRACH.	3
Figure II.1	Situation géographique de Hassi Messaoud.	7
Figure II.2	Colonne stratigraphique de Hassi Messaoud.	12
Figure III.1	Coupe géologique de la province triasique.	15
Figure III.2	Emplacement géographique du complexe cambro-ordovicien-silurien.	17
Figure III.3	Colonne stratigraphique de la province triasique.	19
Figure III.4	Diagramme de Piper.	24
Figure III.5	Diagramme de $rNa/ rCa = f(rCl/ rNa)$.	27
Figure III.6	Diagramme de $rNa/ rCa = f(rSO4/ rCa)$.	28
Figure IV.1	Plateforme de forage dans un environnement désertique.	31
Figure IV.2	Circuit de la boue de forage.	33
Figure IV.3	Schéma simplifié du procédé de Solidification/ Stabilisation.	37
Figure IV.4	Procédé d'incinération par four rotatif.	38
Figure IV.5	Schéma représentatif de la biodégradation en lit.	38
Figure IV.6	Pyramide d'actions pour le management environnemental des boues de forage.	39
Figure IV.7	Principe de fonctionnement du système « waste management ».	40
Figure IV.8	Le fonctionnement d'un skimmer.	41
Figure IV.9	Le rôle de la technique ATC dans le projet (ZERO DISCHARGE).	42
Figure IV.10	Les records du projet (ZERO DISCHARGE).	44
Figure IV.11	Tableau comparatif entre les différents puits.	44
Figure IV.12	Schéma illustratif du « waste management ».	45

LISTE DES TABLEAUX

Tableau III.1	Statistique élémentaire des différents paramètres physico-chimiques mesurés.	21
Tableau III.2	Analyses chimiques des eaux de gisement du cambrien en (mg/l).	22
Tableau III.3	Tableau comparatif des cations, anions et le faciès chimique de chaque eau.	23
Tableau III.4	Données des analyses chimiques en (meq/l).	25
Tableau III.5	Différents rapports calculés.	27
Tableau III.6	Résultats obtenues pour les eaux connées.	28
Tableau III.7	Résultats obtenues pour une eau météorique.	29
Tableau IV.1	Résumé des déchets solides et décharges – Programme de forage.	35
Tableau IV.2	Liste d'équipements pour le projet ZERO DISCHARGE.	43
Tableau IV.3	Déblais humides évacués (ZERO DISCHARGE).	43

ملخص:

بعد نبذة قصيرة عن تاريخ التنقيب النفطي في حاسي مسعود، الفيزيوجغرافيا والإطار التكتونيكي، تم عرض العوامل الرئيسية في تكتونيات الطابق السفلي. تمت دراسة مياه التكوين باستخدام مخططات مميزة لمختلف الأنواع الرئيسية: المياه المتصلة، المياه النيزكية، مياه الاختلاط. حيث يتم تحديد التركيبة الكيميائية لهذه المياه.

إن المخلفات الناتجة عن عمليات التنقيب النفطي تمثل ظاهرة اهتمام وعناية خاصة للمسؤولين لأنها تشكل خطر حقيقي على البيئة المحيطة لذا يجب أن يأخذ في الحسبان الاعتبارات البيئية في إطار التطور المستمر لذا فإن إدارة مخلفات الحفر ترتبط بالخطوة الشاملة التي تحوي العوامل التقنية والموارد البشرية والتنسيق الأمثل لإتمام هذه العملية. فالخطوة المقترحة لهذه الدراسة تحتوي على خسة نقاط أساسية وهي: تقليل مصدر النفايات، إعادة استخدام النفايات، إعادة استخدام المخلفات إذا أمكن، المعالجة. تخزين بقايا التنقيب النفطي.

لوحة المفاتيح: حاسي مسعود، الحوض الترياسي، مياه الحقول البترولية، مجمع كامبرو-أوردوفيسي، إدارة النفايات، صفر تصريف.

Résumé :

Après un bref historique de l'exploration pétrolière à Hassi Messaoud, la physiographie, le cadre tectonique et les principaux caractères de la tectonique du socle sont présentés. Les eaux de formation sont ensuite étudiées à l'aide de diagrammes caractéristiques. Les principaux types : eaux connées, eaux météoriques, eaux de mélange, de Hassi Messaoud sont distinguées et passées en revue.

L'activité forage pétrolier génère des rejets présentant un réel danger pour l'environnement, d'où la nécessité de les prendre en charge. C'est dans cette optique que la société SONATRACH cherche à entreprendre la démarche la mieux appropriée à suivre dans le cadre d'un développement durable, prenant en compte l'aspect environnemental, social et économique.

Pour ce faire, SONATRACH a mis en place le système « waste management » qui est la gestion intégrée des déchets, proposant ainsi le projet appelé « Zero discharge » qui consiste à réduire à la source, réutiliser les produits, recycler lorsque c'est possible, traiter les rejets et prévoir le confinement des résidus.

Mots clés : Hassi Messaoud, Province Triasique, Complexe cambro-ordovicien, Eau de gisement, Waste management, Zero discharge.

Abstract :

After a brief review of petroleum exploration history in Hassi Messaoud, the physiography and the tectonic framework are described.

Then, oil field waters were studied, with the help of diagrams. Three main types are defined: connate, mixed and meteorite waters.

Wastes generated by drilling activity represent a major concern since it is about and actual risk to the surrounding environment. However, which is the most appropriate approach that takes into account all environmental aspects within a sustainable development framework.

The « waste management » of SONATRACH proposed a project of « Zero Discharge » who complies: Reduce at the source, reuse and recycle when it is possible, remedial and residue disposal.

Keywords: Hassi Messaoud, Triasique province, Cambro-ordovicien complex, Ground water, Waste management, Zero Discharge.

Introduction générale

Si l'eau est nécessaire à la vie, elle est aussi l'élément de base de la vie de tous les jours. En dehors de son rôle alimentaire, elle joue des rôles extrêmement divers dans la collectivité humaine.

Notre objectif autant qu'ingénieurs en hydraulique est de protéger cette ressource. Parmi les différentes sources d'eau sur la terre, nous avons les eaux de gisements. On appelle gisement, le lieu où le matériel géologique donné s'est accumulé et que l'on peut exploiter en totalité ou en partie. Nous nous intéresserons dans notre travail aux eaux de gisements du champ de Hassi Messaoud.

Ces eaux se trouvent à des profondeurs très importantes dans un réservoir dit Cambro-ordovicien. Pour mieux comprendre le comportement de ces eaux, un stage pratique au sein de la société SONATRACH était nécessaire. Nous nous sommes déplacés à Hassi Messaoud pour une durée de trois semaines, ce qui nous a permis de nous familiariser avec l'industrie pétrolière et d'avoir une immersion dans le domaine professionnel.

Nous avons étudié donc en premier ressort la composition chimique de cette eau, souvent très différente de celle de l'eau de mer alors même que les sédiments qui les contiennent sont marins et ont été originellement imbibés de solution d'origine marine. Les eaux de formation sont étudiées à l'aide de diagrammes caractéristiques. Les principaux types : eaux connées, eaux météoriques, eaux de mélange, sont distingués.

Nous avons rencontré quelques problèmes concernant les données d'analyses chimiques, ce sont des données rares et il est très compliqué, voire impossible de les refaire, car la majorité des puits ne sont plus productifs. Néanmoins à la lumière de cette classification, les eaux de gisement du champ de Hassi Messaoud sont ensuite passées en revue et caractérisées.

Dans un second temps, c'est l'aspect environnemental du forage pétrolier qui nous intéresse. Face à cette pollution engendrée par son activité et soucieuse de l'environnement, l'entreprise SONATRACH a mis en place un système dit « waste management ». Ce dernier a pour but de prévenir et de réduire la pollution en gérant les fluides usés, les eaux huileuses et les déblais de forage.

Les performances de ce système sont appréciées et tendent vers une production d'hydrocarbures plus responsable et écologique.

Chapitre I : Présentation de l'entreprise – Lieu de stage

Introduction

Pour notre projet de fin d'études portant sur le thème : Caractérisation des eaux de gisement de Hassi Messaoud et gestion des fluides de forage pour la préservation de l'environnement, un stage pratique au sein de la Société SONATRACH était nécessaire. Des données ont été recueillies et des observations ont été faites. Ce chapitre est consacré à la présentation de cette entreprise, notamment la division forage et HSE.

I.1. Présentation de la SONATRACH- Division forage

La division forage fait partie de l'activité Amont de la SONATRACH : Société Nationale de Transport et Commercialisation des Hydrocarbures, qui est la première entreprise Algérienne et Africaine et le 11^e groupe pétrolier au niveau mondial. Elle a vu le jour le 31 décembre 1963 (décret 63-491) et n'avait alors pour objectif que de préparer et de mettre au point les études préalables à la construction des moyens de transport terrestre ou maritime permettant de véhiculer les hydrocarbures liquides et gazeux. Ces objectifs ont été élargis à la recherche et l'exploitation industrielle et commerciale des gisements d'hydrocarbures solides, liquides et gazeux et des substances connexes le 22 septembre 1966 par l'extension de ces compétences juridiques.

Aujourd'hui elle assume des missions stratégiques centrées sur la recherche, l'exploitation, le transport par canalisation, la transformation et la commercialisation des hydrocarbures et de leurs dérivés. SONATRACH intervient également dans d'autres secteurs tels que la génération de l'énergie électrique et le dessalement de l'eau de mer à travers sa participation dans la société AEC (Algerian Energy Compagny).

L'entreprise emploie environ 50 000 salariés (120 000 avec ses filiales) et produit à elle seule 90 % du PNB de l'Algérie. Elle est le 2^{ème} exportateur de GNL et de GPL et 3^{ème} exportateur de gaz naturel. Sa production globale, tous produits confondus, est de 222 millions de TEP (tonne équivalent pétrolier) en 2004. Côté organisationnel, la SONATRACH est composée de quatre grandes branches, appelées activités : Activité Amont (AMT), Activité Aval (AVL), Activité Transport par Canalisations (TRC) et Activité Commercialisation (COM). Chacune de ces activités est placée sous l'autorité d'un vice-président.

L'activité AMONT prend en charge la recherche, l'exploitation et la production des hydrocarbures. Ses missions sont principalement axées sur le développement des gisements découverts, l'amélioration du taux de récupération et la mise à jour des réserves.

L'activité AMONT intègre dans sa stratégie opérationnelle les filiales qui sont rattachées à SONATRACH. Elle englobe les divisions : Production, Forage, Exploration, Association, PED, et CRD. La SONATRACH comporte aussi plusieurs filiales spécialisées : telles que : ENAGEO (Entreprise Nationale de Géophysique), GCB (Société Nationale de Génie Civil et Bâtiment), ENSP (Entreprise Nationale des Services aux Puits), ENTP (Entreprise Nationale des Travaux aux Puits), ENAFOR (Entreprise Nationale de Forage) et ENGTP (Entreprise Nationale de Grands Travaux aux Puits).

Après avoir opté en 1984 pour une coordination forage chargée de superviser l'unique prestataire de forage l'ENTP, qui ne se souciait pas des performances, SONATRACH, dans un cadre de restructuration décida de créer la division forage en 1987 avec initialement 05 directions régionales qui a pour principale mission la supervision des chantiers de forage.

Au fil des ans, deux directions régionales ont fermé et il ne reste plus que la Direction des Opérations de Forage basée à Hassi Messaoud qui coordonne toutes les activités de forage à travers le pays excepté ceux réalisées dans le cadre des Associations [1].

I.2. L'organigramme de la division forage - SONATRACH

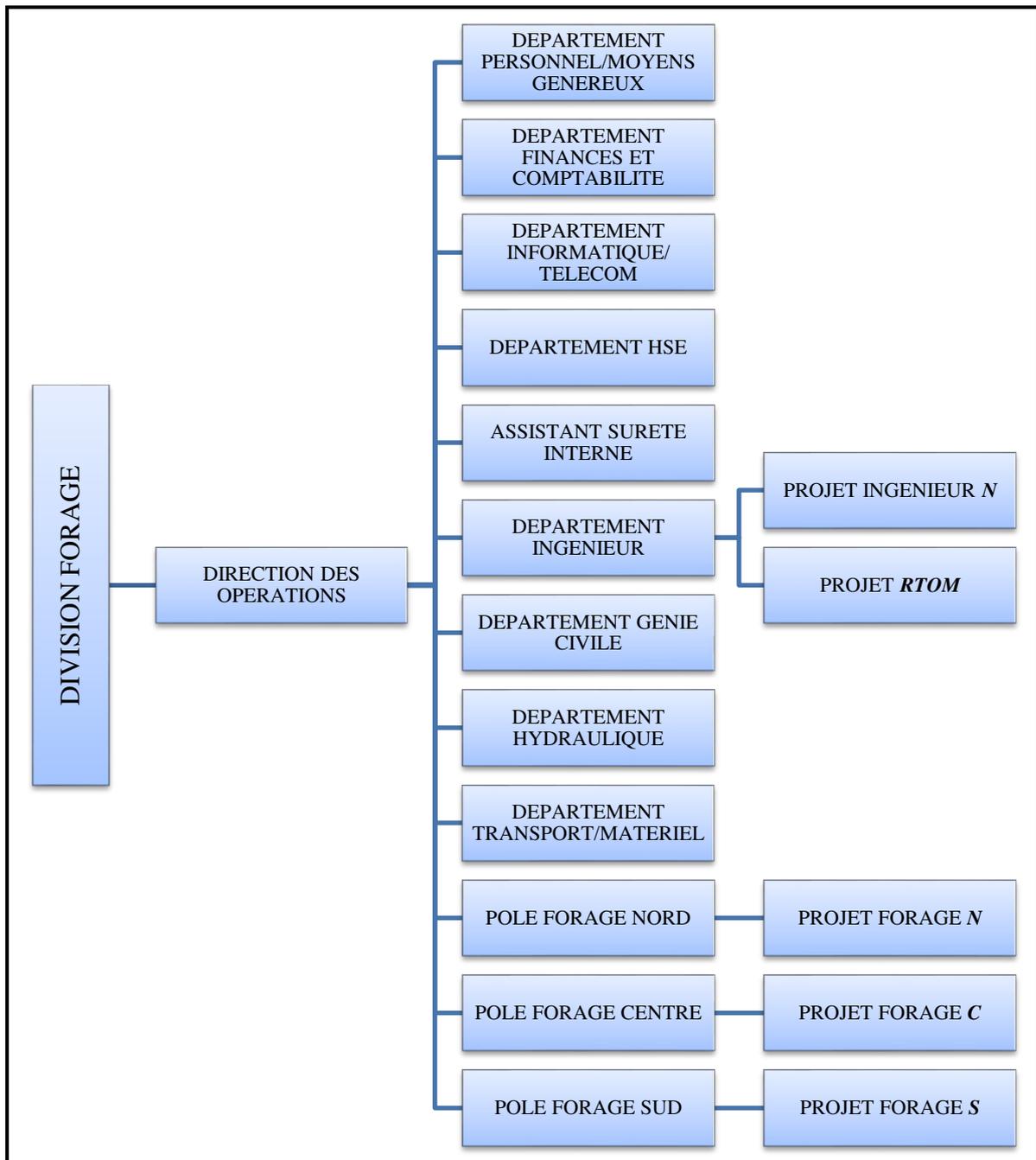


Figure I.1. Organigramme de la Division Forage – SONATRACH [1].

I.3. L'historique du champ de Hassi Messaoud

Après la mise en évidence par la sismique réfraction de la structure de Hassi Messaoud comme étant un vaste dôme structural, la société « SN REPAL » implante le 16 janvier 1956, le premier puits MD1, pas loin du puits chamelier de Hassi Messaoud. Le 15 juin de la même année, ce forage a recoupé des grés cambriens à 3338 m comme étant producteurs d'huile.

En mai 1957, la société « CFPA » réalise un puits OM1 à environ 7 km au Nord-Ouest du puits MD1, ce forage confirmait l'existence d'huile dans les grés du cambrien. Par la suite, le champ de Hassi Messaoud fut divisé en deux concessions distinctes : C.F.P.A pour le champ Nord et SN.REPAL pour le champ Sud.

La mise en production avait commencé en 1958 avec 20 puits d'exploitation. Dès lors, les forages se sont développés et multipliés sans cesse, jusqu'à atteindre aujourd'hui plus de 950 puits.

Après plusieurs années de production, la pression du gisement a énormément chuté ce qui a incité à utiliser les méthodes de récupération secondaire (injection de gaz, d'eau, fracturation, acidification, etc...) [1].

I.4. La politique HSE

En référence à son statut d'Entreprise Nationale et à ses activités de Recherche, Production, Transport et Commercialisation des Hydrocarbures, SONATRACH considère la gestion de la Santé, de la Sécurité et de la protection de l'Environnement, comme une condition pré-requise pour créer de la valeur ajoutée pour toutes ses parties intéressées internes et externes.

De ce fait, SONATRACH mène ses activités de manière à répondre aux exigences de la Santé, de la Sécurité et de l'Environnement et à respecter les préoccupations des communautés parmi lesquelles elle opère. Le respect des prescriptions légales applicables à la Santé, à la Sécurité et à la protection de l'Environnement, est un minimum en matière de performance. Pour aller au-delà de ce niveau, SONATRACH se tourne vers l'innovation et l'adoption des bonnes pratiques au sein de l'industrie mondiale. La société est convaincue qu'une gestion de la Santé, de la Sécurité et de l'Environnement, produit une valeur économique, assure la productivité des actifs et des personnes et établit de bonnes relations avec les communautés locales et les autres parties intéressées. Les responsabilités liées à la Santé, à la Sécurité et à l'Environnement incombent à tous les employés. La Direction à son plus haut niveau, assure le leadership et aide à maintenir une culture dans ce domaine à travers tout le groupe [2].

Dans ce contexte, SONATRACH œuvre à s'améliorer continuellement par :

- La maîtrise des risques liés à la santé, la Sécurité et l'Environnement de l'Homme,
- La conformité aux exigences légales et réglementaires,
- La sécurisation des procédés, des installations et des ouvrages,
- L'amélioration des capacités de réaction des unités en situation d'urgence et de crise,
- Le développement et valorisation des compétences dans le domaine HSE,
- Le développement de l'information, la sensibilisation et communication en matière de HSE,

- La participation aux actions d'envergure nationale dans le domaine de la protection de l'environnement,
- Le développement et l'amélioration continue d'une culture HSE au sein du groupe,
- La participation au développement des communautés riveraines [2].

À titre d'exemple, l'un des engagements de SONATRACH pour réduire la pollution atmosphérique générée essentiellement par les opérations de torchage (gaz carbone), se traduit par l'adhésion de l'Entreprise à l'initiative de la Banque Mondiale pour la réduction du torchage de gaz de routine à l'horizon 2030.

Par ailleurs, des efforts sont déployés par SONATRACH afin à minimiser l'impact de ses activités sur l'environnement, conformément aux exigences réglementaires et normatives nationales et internationales.

Par la mise en œuvre de cette politique, SONATRACH aspire à améliorer continuellement ses performances de Santé, de Sécurité et d'Environnement, à gagner la confiance de ses parties intéressées et à être reconnue comme leader dans ce domaine. SONATRACH adopte toutes les mesures nécessaires pour que les principes énoncés, ci-dessus, se reflètent dans la conduite de ses activités, celles de ses filiales, ses partenaires et ses entreprises extérieures et de leurs sous-traitants [2].

I.5. Le Département hydraulique

Le département hydraulique de la société SONATRACH – Division forage – Hassi Messaoud a pour charge le forage de puits hydrauliques servant à alimenter les chantiers en eau, soit avec des conduites branchées directement ou bien en élaborant un système de citernage qui consiste à envoyer des citernes d'eau potable sur les chantiers à accès difficile. Il s'occupe également du suivi et gestion des chantiers de forage d'hydrocarbures.

I.6. Les engagements de la SONATRACH

Depuis sa création, SONATRACH a toujours accordé une importance particulière au développement des projets scientifiques, économiques, sportifs et culturels. Ces actions de sponsoring sur l'ensemble du territoire Algérien, participent à la dynamique et au bien de la vie sociale de tous les Algériens.

SONATRACH soutient les initiatives nationales et locales favorisant le rayonnement et la valorisation des actions scientifiques sur le territoire national et à l'international [2].

Chapitre II : Généralités géographiques et géologiques.

Introduction

La région de Hassi Messaoud est localisée dans la partie centrale du Sahara algérien, elle est connue pour ses puits productifs d'huile principalement dans les réservoirs cambriens. Le champ de Hassi-Messaoud représente l'un des champs les plus complexes au monde. Durant l'histoire géologique, ce champ a subi une évolution tectonique intense caractérisée par des phases compressives distinctives.

D'autre part, la transformation diagénétique dans le réservoir, lors de son enfouissement au cours des temps géologiques, a permis au gisement d'avoir la forme et/ou configuration actuelle.

II.1. Situation géographique de Hassi Messaoud

La région de Hassi Messaoud se situe à 625 Km au Sud-Est d'Alger et couvre une superficie d'environ 2250 Km², elle est repérée par les latitudes 31°30'et 32°Nord et les longitudes 5°40'et 6°20'Est. L'altitude moyenne est de 150m.

Elle présente les caractéristiques d'un climat désertique, avec des températures allant de 4°C à 42°C selon les saisons. L'évaporation réelle est importante (42 mm/an) et est de même ordre de grandeur que la pluviosité moyenne annuelle (41mm).

La région de Hassi Messaoud fait partie du bas Sahara qui correspond à un vaste bassin sédimentaire très subsidient de forme plus ou moins circulaire. Il se limite au Nord par l'Atlas saharien, à l'Ouest par la bordure du grand erg occidental, au Sud par la bordure septentrionale des tassilis et à l'Est au-delà de la frontière libyenne (**Figure II.1**).

Tous les terrains depuis le cambrien jusqu'au tertiaire affleurent plus ou moins sur les bordures, s'enfonçant sous la couverture sédimentaire dissimulée en grande partie par le grand erg oriental [1].

II.2. Description géologique générale

Le champ de Hassi Messaoud occupe la partie centrale de la province triasique. De par sa superficie et ces réserves, il est le plus grand gisement de pétrole d'Algérie. Limité au Nord par la structure Djammaa-Touggourt, à l'Ouest par la dépression de Oude Mya, au Sud par le môle d'Amguid El Biod et à l'Est par les hauts fonds de Dahar, Rhoude El Baguel et la dépression de Ghadames, il s'étend sur près de 2200 Km² de superficie [1].

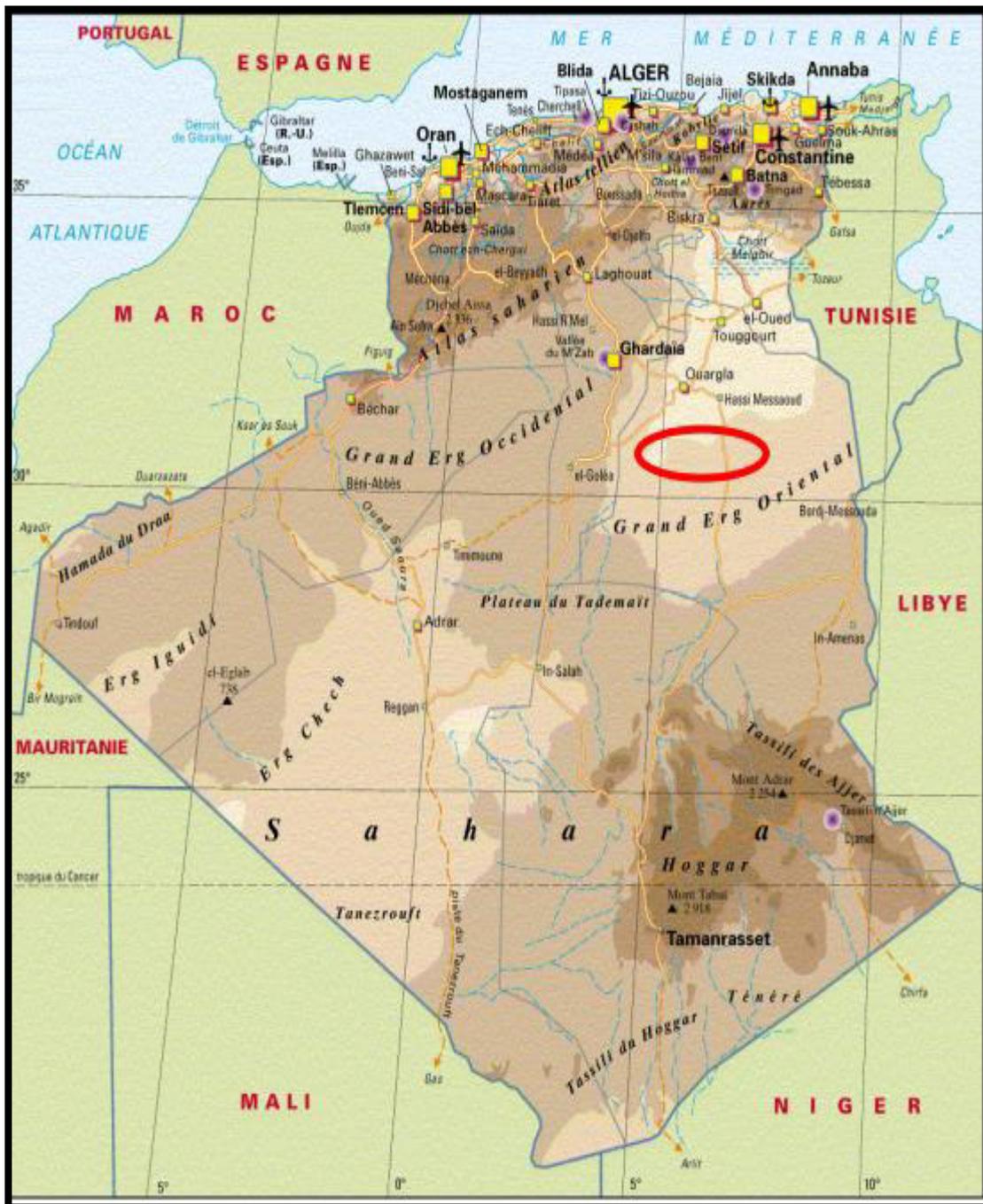


Figure II.1. Situation géographique de Hassi Messaoud [1]

II.3. La stratigraphie du champ de Hassi Messaoud [4]

Sur la dorsale de Hassi Messaoud une bonne partie de la série stratigraphique est absente. Ce sont des dépôts du paléozoïque reposant sur un socle granitique, qui ont été érodés au centre de la structure au cours de la phase hercynienne. De ce fait, les dépôts mésozoïques reposent en discordance sur le Cambro-Ordovicien. En allant vers la périphérie du champ, la série devient plus complète. De la base au sommet on distingue :

A/ Le socle : Rencontré aux environs de 4000 mètres de profondeur, il est formé essentiellement de granite porphyroïde rose.

B/ L'infra-cambrien : C'est l'unité lithologique la plus ancienne rencontrée par les forages de la région, notamment au Nord de la structure. Il est constitué de grés argileux rouges.

C/ Le paléozoïque : Sur le socle, les formations paléozoïques reposent en discordance ; c'est la discordance panafricaine.

C.1. Le cambrien : Essentiellement constitué de grés hétérogènes, fins à très grossiers entrecoupés de passées de silstones argileux, micacés.

On y distingue quatre (04) lithozones : Ra, Ri, R2 et R3.

C.2. L'Ordovicien : On distingue de la base au sommet quatre (04) unités lithologiques :

- La zone des alternances,
- Les argiles d'El-Gassi,
- Les grés d'El Atchane,
- Les quartzites de Hamra.

D/ Le mésozoïque :

D.1. Le trias : Il repose en discordance sur le cambrien au centre et, sur l'Ordovicien sur les flancs de la structure.

Il est subdivisé en trois (03) unités :

- **Le trias-gréseux :** Son épaisseur varie de 0 à 75 mètres. Il constitue le premier remplissage du relief paléozoïque et, se subdivise en plusieurs unités qui diffèrent par leurs lithologies et leurs réponses diagraphiques. Il repose, localement, sur une coulée éruptive remplissant les vallées d'érosion hercynienne profondes.
- **Le trias argileux :** Son épaisseur moyenne est de 113 mètres. Il est constitué d'argiles plus ou moins silteuses, brun-rouges à bariolées, dolomitiques et anhydritiques et, des bancs d'argile légèrement silteuse et dolomitique.
- **Le trias salifère :** Son épaisseur moyenne est de 844 mètres. Il est constitué de bancs de sel massif présentant au sommet des intercalations d'anhydrite et d'argile légèrement silteuse et dolomitique.

D.2. Le jurassique : Son épaisseur moyenne est de 340 mètres. Le Jurassique est un ensemble argilo-gréseux à intercalations de calcaires au sommet (Malm) et à alternances de faciès lagunaires marins à la base (Dogger et Lias).

- **Le lias :** Son épaisseur moyenne est de 300 mètres. Le passage du Trias au Lias est caractérisé par une zone de marne dolomitique connue sous le terme de l'horizon "B" qui est un repère sismique. Le Lias est subdivisé en cinq (05) niveaux bien distincts s'alternant entre eux sur toute l'épaisseur.

- **Le dogger** : Son épaisseur moyenne est de 320 mètres. Le Dogger est subdivisé en deux (02) formations ; le Dogger lagunaire à la base et le Dogger argileux au sommet.
- **Le malm** : Son épaisseur moyenne est de 225 mètres. Il est caractérisé par les dépôts d'argile et de marne avec des intercalations de bancs de calcaire et de dolomie accompagnées de quelques traces d'anhydrite.

D.3. Le crétacé : Son épaisseur moyenne est de 1620 mètres. Il est constitué de sept étages ; de la base au sommet on distingue :

- **Le néocomien** : Son épaisseur est de 182 m. Il comprend deux niveaux : A la base un terme gréseux constitué de grés et de quelques passées d'argile avec des passées de grés. Au sommet, un terme argileux représenté par des argiles avec de nombreuses intercalations de calcaire et de dolomie.
- **Le barremien** : Son épaisseur moyenne est de 280 mètres. Il est formé de grés fins à moyens carbonatés à plages d'anhydrite, alternant avec des niveaux d'argile gréseuse et dolomitique.
- **L'aptien** : Son épaisseur est de 25 mètres. Il est représenté par deux bancs dolomitiques encadrant un niveau argileux. La limite Aptien-Barremien coïncide avec la barre Calcaire-Dolomitique qui représente un bon repère sismique.
- **L'albien** : Son épaisseur moyenne est de 350 mètres. Constitué de grés et de sable fin, avec des intercalations d'argile silteuse, il représente une immense nappe aquifère.
- **Le cénomanien** : Son épaisseur moyenne est de 145 mètres. Alternance d'anhydrite et d'argile brun-rouge, de marne grise et de dolomie. La limite Cénomanien-Albien coïncide avec le passage des séries évaporitiques aux séries plus gréseuses de l'Albien.
- **Le turonien** : Son épaisseur moyenne varie de 70 à 120 mètres. Alternance de calcaire dolomitique et calcaire argileux, calcaire dolomitique et calcaire crayeux, au sommet apparaissent les bancs de calcaire. Le Turonien présente une nappe d'eau salée.
- **Le sénonien** : Son épaisseur moyenne est de 450 mètres. A la base, une série lagunaire présentant des bancs massifs de sel et des alternances d'anhydrite, dolomie et d'argile grise, au sommet une série carbonatée présentant des bancs de calcaire dolomitique argileux et des bancs d'anhydrite.

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

II.4. La structuration du champ de Hassi-Messaoud

II.4.1. La tectonique du champ

La structure du champ de Hassi Messaoud se présente comme un vaste dôme anticlinal aplati, de direction générale Nord-Est-Sud-Ouest.

Les accidents affectant le réservoir sont de deux types :

- Les failles de directions subméridiennes Nord. Nord-Est - Sud. Sud-Ouest ainsi que d'autres failles qui leurs sont perpendiculaires de direction Nord-Ouest-Sud-Est, ceci fait ressortir le caractère tectonique en Horst et Graben.
- Les cassures sans rejets qui ont eu un grand effet sur la fracturation du réservoir [5].

L'évolution structurale du gisement est le résultat de plusieurs phases tectoniques que l'on peut résumer chronologiquement comme suit :

II.4.1.1. La structuration antétriasique

A/ La phase panafricaine

C'est une phase compressive de direction Est-Ouest, due à une collision continentale entre le craton Ouest africain rigide et le bloc Est Africain plastique [6], provoquant une tectonique cassante, représentée par un réseau de failles de directions Nord-Est-Sud-Ouest, suivie d'une érosion intense qui s'est installée jusqu'au Cambrien conduisant à la formation d'une surface de pédiplanation appelée surface infra-tassilienne. Cette pédiplaine marque le début d'une histoire cratonique du Sahara. Des mouvements distensifs de directions Nord-Ouest-Sud-Est interviennent au Cambro-Ordovicien ; qui sont à l'origine de l'étirement de la croûte continentale suivie d'une subsidence tectonique et plus tard thermique ; cette distension provoque un jeu de failles normales (Nord-Est-Sud-Ouest) préexistant dans le socle accompagnée de volcanisme [6].

B/ La phase néo-calédonienne précoce ou phase Anté-tramadocienne

Datée d'environ 500 millions d'années, cette phase est marquée par la transgressivité des grès isométriques (Ri) connus sur les flancs du champ, après la mise en place du dépôt du réservoir (Ra). Une structure Tardi-Cambrienne s'est produite avec érosion et failles s'établissant déjà suivant une direction Nord-Est-Sud-Ouest et accompagnée de volcanisme [7].

C/ La phase calédonienne

Datée d'environ 400 millions d'années, cette phase est régionalement connue par l'absence de sédiments de Dévonien et du Carbonifère dans toute la surface du haut fond d'El Biod. A noter qu'une hypothèse de non dépôt de ces sédiments a été retenue plutôt que celle de l'érosion hercynienne du fait que les faciès remaniés à la base du Trias gréseux proviennent du Cambro-Ordovicien. Cette phase aurait débutée au Silurien ou au Dévonien inférieur [8].

D/ La phase hercynienne

Datée de 225 à 280 Ma, cette phase est responsable d'un grand bombement de direction Nord-Est-Sud-Ouest accompagnée du jeu de failles de même orientation, qui compartimentent le réservoir en blocs ayant leur comportement propre [9].

On marque une érosion de toute la couverture Paléozoïque à l'aplomb du gisement et par la disposition radiale de grandes vallées de creusement. On peut dire qu'au cours de cette phase, on assiste à un serrage de direction Nord-Ouest-Sud-Est, c'est à dire, perpendiculaire aux accidents majeurs.

II.4.1.2. La structuration post-triasique

Les effets de cette phase sont relativement faibles et ne correspondent qu'à 50 à 100 m de fermeture structurale (2950-3050 m). Ces déformations s'accompagnent d'un basculement vers le Nord-Ouest d'environ 200 m entre la partie Sud-Est et Nord-Ouest. Ce basculement a eu lieu au Mésozoïque. La fermeture Nord-Sud est beaucoup plus importante que la fermeture Ouest-Est et pourrait être due aux mouvements d'âge éocène qui est une phase tectonique atlasique avec une direction de compression Nord. Nord-Ouest-Sud. Sud-Est [7].

A/ La phase autrichienne

Datée d'environ 100 millions d'années, cette phase est un raccourcissement Est-Ouest, elle a accentué la fermeture structurale et a provoqué des fracturations le long des failles anciennes qui ont probablement rejoué. Elle est presque synchrone de la mise en place des hydrocarbures, car la formation de ces derniers a débuté au jurassique et s'est poursuivie pendant le Crétacé.

B/ La phase Atlasique

C'est une phase dont la compression est de direction Nord. Nord-Est-Sud. Sud-Ouest, postérieure à la formation des hydrocarbures, donc elle est probablement à l'origine des barrières de perméabilité dues à un décalage des niveaux réservoirs.

II.4.1.3. La structuration actuelle de la plateforme Saharienne

Cette structuration montre une fermeture de 300 m entre les bordures et le top du gisement, elle est compressive à raccourcissement Nord-Sud, elle a subi un faible réajustement épirogénique. Cette dernière a un allongement général Nord-Est-Sud-Ouest, et montre des culminations locales d'amplitude de l'ordre de la centaine de mètres, le rejet connu des failles ne dépasse pas 70 à 80 mètres [7].

Cette stratigraphie et lithologie typique de la région de Hassi-Messaoud est représentée dans la figure ci-dessous.

Ere	AGE	ETAGES	Ep(m)	LITHOLOGIE	DESCRIPTION LITHOLOGIQUE		
CENOZOIQUE	NEOGENE	MIOPLIOCENE	239		Recouvrement sableux avec alternances d'argiles, calcaires et marnes sableuses		
		EOCENE	122		Calcaire dolomitique à silex		
MESOZOIQUE	CRETACE	SENONIEN	CARBONATE	107		Calcaire dolomitique argileux, anhydrite à passées de dolomie	
			ANHYDRITIQUE	209		Anhydrite, marnes, dolomie	
			SALIFERE	149		Sel massif à intercalations d'argiles et marnes	
		TURONIEN	112		Calcaire tendre crayeux, dolomitique et argileux		
		CENOMIEN	147		Anhydrite, marnes, dolomie, calcaire et argile		
		ALBIEN	362		Grès à intercalations d'argiles silteuses		
		APTIEN	24		Dolomies cristallines et calcaires		
		BARREMIEN	276		Grès fins à moyens carbonatés, intercalés de niveaux d'argile		
		NEOCOMIEN	182		Argile à intercalation calcaire, grès à passées argileux		
		JURASSIQUE	DOGGER	MALM	226		Argiles et marnes intercalées de calcaires, dolomie et grès
	ARGILEUX			107		Argiles tendres, marnes dolomitique à rares passées gréseuses	
	LAGUNAIRE			211		Anhydrite, Dolomie et argiles tendres à marnes grises	
	LIAS		LD1	66		Dolomies, anhydrite à passées d'argiles et de calcaires	
			LS1	90		Argiles plastiques brunes salifères à passées de sel et d'anhydrite	
			LD2	55		Dolomie à passées marnes grises	
			LS2	58		Sels translucides à quelques passées de marnes grises	
			LD3	31		Marnes grises à passées de dolomies	
			SALIFERE	TS1	46		Alternances des sel d'anhydrite et de dolomie
				TS2	189		Sel massif à intercalation d'anhydrite et argile
	TS3			202		Sel massif avec traces d'argiles	
	TRIAS		Argileux	113		Argiles rouges dolomitique ou silteuses injectée de sel et anhydrite.	
			Gréseaux	0à35		Grès fins à moyens à ciment argileux	
		Eruptif	0à92		Andésite		
	PALEOZOIQUE	ORDOVICIEN	Quartzites d'Elhamra	75		Grès quartzitiques fins présentant de la glauconite et de l'anhydrite.	
			Grès d'Le Atehan	25		Grès fins feldspathiques et glauconieux.	
			Argile d'Le Gassi	50		Argile verte ou noire à graptolites	
Zone des alternances			18		Alternances d'argile et des grès quartzitiques avec glauconite et tigilites.		
CAMBRIEN		R1	R. Isométrique	42		Grès isométriques quartzites, présence de tigilite.	
			R. Anisométrique	125		Grès quartzites anisométrique moyen à grossiers à ciment argileux et siliceux avec stratification oblique à entre croise.	
		R2	10		Grès moyen à grossiers parfois micacés à ciment argileux illitiques.		
		R3	370		Grès feldspathiques et micacés grossiers à ciment argileux.		
		Infra cambrien	45		Grès argileux rouges		
		Socle			Granite porphyroïdes rose.		

Figure II.2. Colonne stratigraphique de Hassi Messaoud [10].

Conclusion

En fonction de l'âge des roches étudiées, la nature de l'information stratigraphique diffère. Ces temps fossilifères sont représentés, du plus ancien au plus récent, par le primaire ou Paléozoïque, le secondaire ou Mésozoïque, le tertiaire ou Cénozoïque et le quaternaire, qui est l'actuel.

Ces transformations géologiques confèrent à la région de Hassi-Messaoud son actuelle structuration. Et de par sa situation géographique, cette région recèle des richesses souterraines importantes.

Chapitre III : Géologie des provinces pétrolières et caractérisation des eaux de gisements.

Introduction

Au cours de ces dernières décennies, de nombreux auteurs ont présenté des résultats d'étude sur la géochimie des eaux de bassins sédimentaires, soit porteurs d'hydrocarbures soit générateurs de ressources thermales. Le but de la plupart de ces études est d'établir l'évolution de la géochimie de ces eaux qui présentent la particularité d'être confinées à des profondeurs importantes.

Toutes ces eaux soulèvent un problème particulièrement complexe qui est leur origine ainsi que de l'importance des pressions qu'elles exercent sur les gisements d'hydrocarbures.

En plus de la recherche de l'origine de la concentration en sels dissous, il est primordial de comprendre l'évolution d'une solution au sein même du gisement. En effet, les interactions eau-roche sont responsables des aspects chimiques de la diagénèse minérale ; elles régissent la poro-perméabilité de la roche réservoir et intéressent au plus haut point l'exploration et la production pétrolière.

Partie A/ Géologie des provinces pétrolières.

III.A.1. Les provinces pétrolières

Du point de vue pétrolier, on distingue à travers l'ensemble du domaine minier de l'Algérie, trois provinces plus ou moins matures :

a) **La province occidentale** : La province occidentale comprend les bassins de Béchar, Tindouf, Reggane, Ahnet, Mouydir, Timimoun et Sbaa, est surtout considéré globalement à gaz à l'exception des découvertes d'huile mises en évidence dans le réservoir du Tournaisien du bassin de Sbaa, ses ressources demeurent pratiquement inconnues ;

b) **La province orientale** : Cette province, appelée Est Algérie, se compose des bassins d'Illizi et de Ghadamès séparés par le môle d'Ahara. C'est une région à gisements connus d'huile et de gaz, qui recèle encore un bon potentiel de découvertes ;

c) **La province triasique** : Considéré comme gazifière (gisements d'importance variable) mais où de récentes découvertes d'huile permettent d'espérer d'autres développements [12].

Le champ de Hassi-Messaoud faisant partie de la province triasique, nous nous y intéresserons dans notre étude.

III.A.2. La province triasique

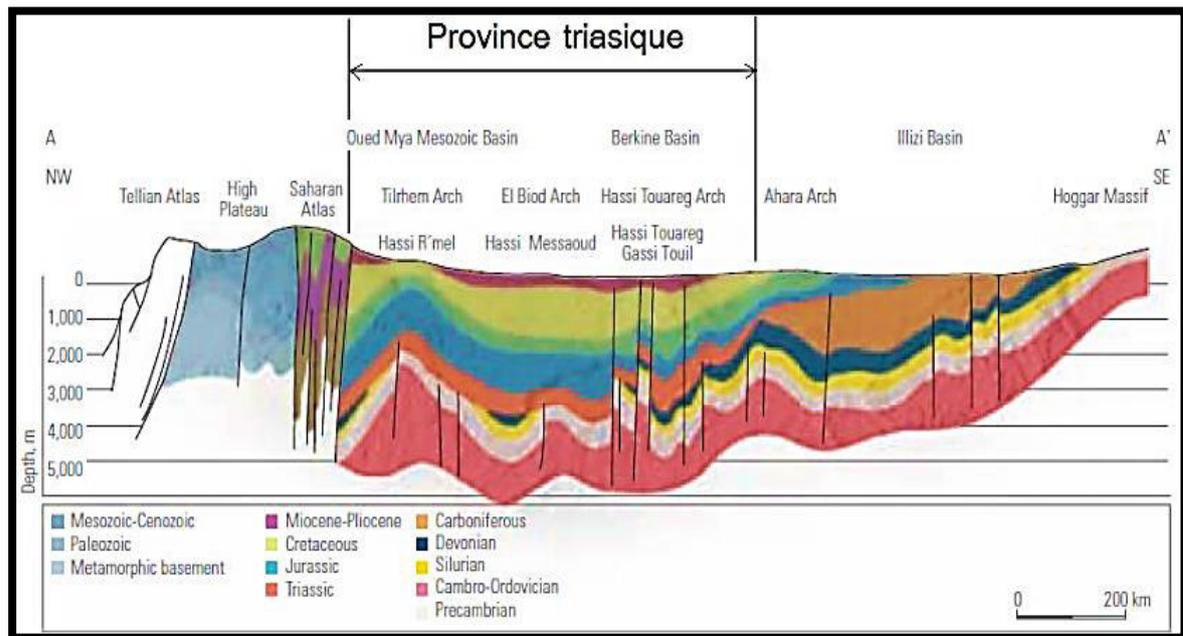
Située dans la partie septentrionale de la Plate-forme Saharienne, la province triasique est un anticlinorium de direction Est-Ouest où les éléments majeurs suivants ont été individualisés :

- La voûte de Tilrhem et le haut fond de Talemzane,
- Le système structural de Djemâa-Touggourt,
- Le système de dislocation d'El Agreb-Messaoud,
- Le môle de Dahar.

Ces éléments sont séparés par des dépressions (Oued Mya) où l'on rencontre les séries types de la province triasique. Les dépôts paléozoïques sont souvent très érodés, aussi profondément que l'Ordovicien ou le Cambrien.

Le Mésozoïque, discordant sur le Paléozoïque, est présent du Trias au Crétacé. Le Cénozoïque est représenté par une série détritique du Mio-Pliocène [13].

La figure ci-dessous nous montre la coupe géologique de la province triasique :



III.A.3. Lithologie et structure des gîtes pétroliers

III.A.3.1. La roche mère [12]

La couverture sédimentaire de l'Algérie comprend un certain nombre de niveaux roches mères réparties du Paléozoïque au Cénozoïque.

Les principaux niveaux de la roche mère susceptibles d'être la source des hydrocarbures des différents réservoirs de la couverture sédimentaire sont :

➤ **Le Silurien :**

Cette roche mère comprend des argiles radioactives gris-noir à noires à la base et qui s'est déposée sur la totalité de la plateforme Saharienne. Quelques régions en sont dépourvues par suite de l'érosion hercynienne.

L'état de cuisson du kérogène est à gaz sec et condensât dans le centre et le Nord des bassins de Reggane et Tindouf, dans le centre du bassin de Ghadamès et de l'Oued Mya, dans le centre et le Nord-Ouest du sillon de Sbaa et enfin dans les bassins de Timimoun, Ahnet, Béchar, Mouydir.

En revanche, ce même kérogène est en phase à huile dans le reste de la province triasique, dans le bassin d'Illizi, dans la partie Sud des bassins de Reggane et Tindouf, dans la partie Est du bassin de Reggane aux abords de l'Ougarta et enfin dans le Sud Est du sillon de Sbaa. Le kérogène est souvent immature comme c'est le cas pour le Sud Est du sillon de Sbaa, aux abords de la voûte d'Azzène.

➤ **Le Frasnien :**

Le Frasnien est constitué d'argiles organiques radioactives noires. La répartition des argiles montre que dans les bassins de Ghadamès, d'Illizi, du Mouydir, d'Ahnet, de Timimoun, du sillon de Benoud, ce niveau est riche en matière organique.

Cependant le kérogène est immature au Sud Est du sillon de Sbaa. Il est en phase à huile dans les bassins d'Illizi, de Ghadamès (excepté au centre), le sillon de Sbaa (sauf le SE) et la bordure sud des bassins de Tindouf et Reggane. En revanche, dans les bassins de Timimoun, de l'Ahnet, dans le centre des bassins de Tindouf, de Reggane et de Ghadamès, le kérogène est en phase à gaz (gaz sec à condensât).

III.A.3.2. Les roches couvertures

La couverture des réservoirs ordoviciens est assurée respectivement par l'épanchement des roches éruptives ainsi que par les épaisses séries d'évaporites d'âges triasiques ou jurassiques [12].

III.A.3.3. Les pièges

Les pièges désignent les zones les plus favorables à la présence des accumulations d'hydrocarbures, caractérisés par une faible pression et une plus basse température que celle des roches mères, et par une barrière qui oblige les hydrocarbures à s'accumuler.

Il existe trois types de pièges :

a) Les pièges structuraux : Ces pièges sont le résultat de mouvements tectoniques tels que les anticlinaux. Ils sont également appelés : pièges par failles.

b) Les pièges stratigraphiques : C'est la combinaison de deux milieux différents correspondant au passage d'un milieu perméable à un autre imperméable tel que les lentilles gréseuses, les biseaux etc...

c) Les pièges mixtes : Ils sont à la fois structuraux et stratigraphiques. Ainsi, les pièges de la région Nord-Est de Hassi Messaoud sont mixtes [12].

III.A.4. La migration des hydrocarbures

Les accumulations d'hydrocarbures du gisement de Hassi Messaoud et de tout gisement avoisinant proviennent probablement des deux bassins, Ghadamès et Illizi à l'Est et Oued Mya à l'Ouest. La migration primaire et l'alimentation de ces gisements se sont effectuées au sein du Silurien, en suite à travers les niveaux gréseuse triasique au contact de discordance Hercynienne (migration secondaire). Les réservoirs Cambro-Ordoviciens affleurant à la discordance hercynienne sont alimentés à partir des grès triasiques et la surface d'érosion qui sont au Nord et Nord-Ouest par rapport au chemin de migration [12].

III.A.5. Les bassins sédimentaires Algériens

Les bassins sédimentaires algériens couvrent plus de 1,5 million km². En Algérie, la zonation hydrogéologique établie par *M.ALIEV (1971)* permet de mettre en évidence deux bassins artésiens indépendants aux complexes hydrauliques suivants :

1) **Le complexe hydraulique Algéro-Lybien** dont les formations sont d'âge :

- Cambro. Ordovicien .Silurien.
- Devonien .Carbonifère.
- Permo. Triasique.

2) **Le complexe hydraulique Tindouf-Reggane** dont les formations sont d'âge :

- Cambro. Ordovicien. Silurien.
- Devonien.
- Carbonifère.

Notre intérêt portera sur le complexe cambro-ordovicien-silurien du bassin Algéro-Lybien.

III.A.6. Le complexe cambro-ordovicien-silurien

C'est *Axionov (1973)* qui a regroupé le cambrien, l'ordovicien et le silurien en un seul complexe. Cependant, ce sont ces eaux qui accompagnent le gisement cambro-ordovicien de Hassi-Messaoud, plus particulièrement celles de la formation cambrienne qui feront l'objet d'une caractérisation géochimique.

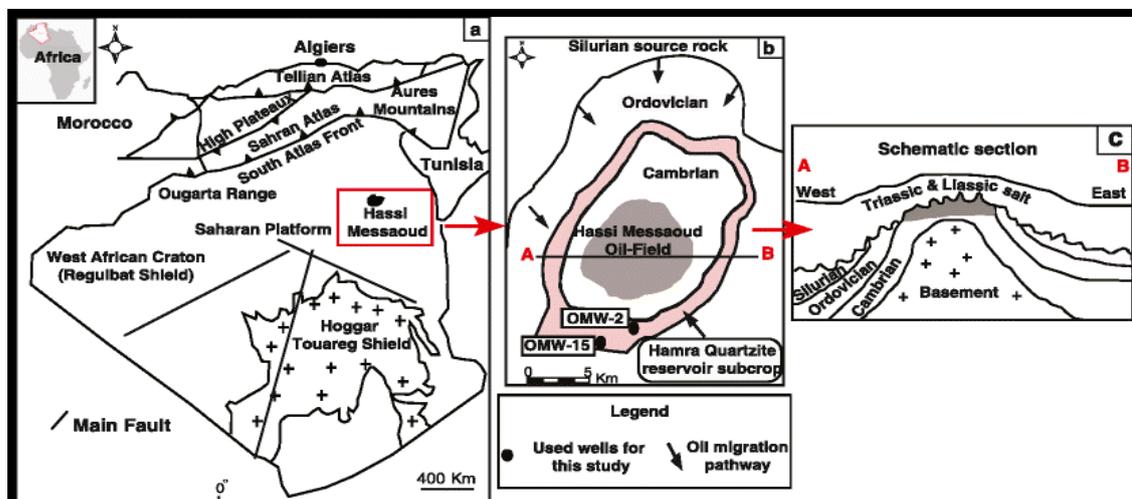


Figure III.2. Emplacement géographique du complexe cambro-ordovicien-silurien [13].

III.A.6.1. La stratigraphie du complexe cambro-ordovicien-silurien [14]

❖ **Le cambrien** : On y distingue quatre (04) lithozones Ra, Ri, R2 et R3.

a) La lithozone R3 : Son épaisseur moyenne est de 370 m. Il se compose de grés feldspathiques et micacés à grains moyens à très grossiers conglomératiques à la base, à ciment argileux abondant, admettant des passées de grés ferrugineux et d'argile silteuse.

b) La lithozone R2 : Son épaisseur moyenne est de 10 m. Il se compose de grés moyens à grossiers micacés, mal classés à ciment argileux assez abondant et admettant des intercalations de silts. Les stratifications sont souvent obliques.

c) La lithozone Ra : Son épaisseur moyenne est de 125m. Il se compose de grés à grés quartzites anisométriques moyens à grossiers, à ciment argileux et siliceux, admettant de nombreuses passées de siltstones centimétriques et décimétriques. Les stratifications sont souvent obliques à entrecroisées, parfois horizontales. Les tigillites sont présentes dans la partie supérieure de la série. L'ensemble du Ra a été érodé au centre du champ.

d) La lithozone Ri : Son épaisseur moyenne est de 42m. Il se compose de grés quartzitiques, isométriques fins, bien classés, glauconieux à ciment argileux et siliceux, avec une présence abondante de tigillites.

❖ **L'ordovicien**

a) La zone des alternances : Son épaisseur moyenne est de 18 à 20 mètres. Désignée ainsi en raison de la présence de nombreuses passées d'argiles indurées alternant avec des bancs quartzites fins isométriques.

b) Les argiles d'El Gassi : Son épaisseur moyenne est d'environ 50 mètres. Cette formation est constituée d'argile schisteuse, indurée présentant une couleur verte à noire, rarement rouge. Cette argile peut être glauconieuse ou carbonatée présentant une faune (graptolites) indiquant un milieu de dépôts marins. Cette formation est surtout rencontrée sur la périphérie Ouest à Sud-Ouest du champ de Hassi-Messaoud.

c) Les grés d'El Atchane : Son épaisseur moyenne varie de 12 à 25 mètres. Cette formation est constituée de grés fins à très fins, gris-beige à gris-sombre. Ces grés peuvent être argileux ou glauconieux admettant de nombreuses passées argileuses et silteuses.

d) Les Quartzites de Hamra : Son épaisseur moyenne varie de 12 à 75 mètres. Ce sont des grés quartzitiques fins, à rares intercalations d'argile [14].

La figure ci-dessous représente la colonne stratigraphique de la province triasique :

P A L E O Z O I Q U E	ORDOVICIEN	Quartzites d'Elhamra		75		Grès quartzitiques fins présentant de la glauconite et de l'anhydrite.	
		Grès d'Le Atebane		25		Grès fins feldspathiques et glauconieux.	
		Argile d'Le Gassi		50		Argile verte ou noire à graptolites	
		Zone des alternances		18		Alternances d'argile et des grès quartzitiques avec glauconite et tigilites.	
	CAMBRIEN	R1	R. Isométrique		42		Grès isométriques quartzites, présence de tigilite.
			R. Anisométrique		125		Grès quartzites anisométrique moyen à grossiers à ciment argileux et siliceux avec stratification oblique à entre croise.
		R2		10	Grès moyen à grossiers parfois micacés à ciment argileux illitiques.		
		R3		370	Grès feldspathiques et micacés grossiers à ciment argileux.		
		Infra cambrien		45	Grès argileux rouges		
	Socle				Granite porphyroïdes rose.		

Figure III.3. Colonne stratigraphique du cambro-ordovicien de la province triasique [1].

Partie B/ Caractérisation des eaux de gisements

III.B.1. Les eaux de gisements

On appelle « Eau de gisement » toute eau qui accompagne un gisement de pétrole, de gaz ou de minéral.

Les huiles, appelées communément pétrole, sont souvent accompagnées par :

- Le gaz, en faible quantité occupe la partie supérieure. Il est brûlé en surface grâce à des torches lorsque sa récupération n'est pas rentable ou nécessite un matériel fort coûteux.
- L'eau, en quantité non négligeable, se présente en anneau ou en demi-anneau autour de l'endroit où sont piégées les huiles.

Par sa disposition, l'eau de gisement exerce une pression constante sur le « pétrole » et facilite ainsi son extraction, elle est donc en mouvement constant et occupe petit à petit la place libérée par le pétrole.

III.B.2. Définitions de différents types d'eau

- ❖ **Eau océanique** : Près de 71% de la surface terrestre est occupée par les eaux des océans et des mers avec une composition chimique considérée comme relativement homogène. Elles représentent le réservoir d'eau de la planète avec près de 97.2% du total des eaux alors que les eaux continentales (0.63%), les glaces (2.1%) et la vapeur d'eau (0.001%) se partagent le reste [15].

- ❖ **Eau météorique** : Ce terme désigne toutes les eaux qui sont dérivées d'un cycle météorologique comprenant l'évaporation, la condensation et finalement la précipitation. Toutes les eaux continentales de surfaces telles que les rivières, lacs et glaciers font partie de cette catégorie [17].
- ❖ **Eau juvénile** : C'est une eau dérivée du manteau, au cours du refroidissement de la croûte terrestre et qui, selon certains auteurs aurait été à l'origine de toute l'eau de la planète. Son influence actuelle dans l'origine des eaux souterraines de bassins sédimentaires semble tout à fait négligeable et ne sera donc pas prise en compte [16].
- ❖ **Eau connée** : Ce terme désigne une eau, généralement marine, qui s'est retrouvée piégée avec les sédiments dans un bassin et qui n'a pas été en contact avec l'atmosphère depuis son dépôt.
- ❖ **Eau de formation** : En fait, il est généralement impossible de dire si l'eau contenue dans les pores d'un ancien sédiment est réellement l'eau incorporée au cours du dépôt. De ce fait, le terme d'eau connée n'est pas recommandé. On lui préférera le terme moins restrictif d'eau de formation pour désigner ces solutions qui sont présentes dans les interstices des sédiments.
- ❖ **Saumure** : Ce terme désigne des solutions aqueuses dont la salinité est supérieure à 100g/l. Souvent le terme de saumure a une connotation génétique. On parlera de saumure mère ou primaire pour une solution concentrée par évaporation et de saumure de lessivage ou secondaire pour une solution résultant de la dissolution des minéraux évaporitiques, suite à une infiltration d'eau sous-saturée vis-à-vis de ces minéraux [18].
- ❖ **Eau de gisement** : C'est une eau de formation associée aux hydrocarbures.

Dans le cadre de cette étude nous nous intéresserons aux eaux du champ pétrolier Hassi-Messaoud du réservoir cambrien. Ces eaux ont été prélevées à différents horizons, à une profondeur qui varie entre 3215 m et le fond du trou (< 3800 m), dans 15 forages répartis sur ce site.

III.B.3. Caractérisation hydro-chimique des eaux de gisement de Hassi-Messaoud

III.B.3.1. La qualité de la donnée hydraulique

Cette étude est basée sur un certain nombre d'échantillons prélevés dans le réservoir cambrien lors des opérations de forages. Elles ont donc été prélevées à différentes dates de (1960-1980).

Nous avons récupéré ces données au niveau de la division exploration. Bien qu'elles soient anciennes, ces données demeurent rares car il est très compliqué, voir même impossible de refaire les prélèvements. Le tableau (III.2) regroupe l'ensemble de ces données.

Nous n'avons pu nous procurer les coordonnées géographiques des forages, cependant, ces puits se situent dans le même périmètre, le champ de Hassi-Messaoud de coordonnées Lambert :

X : [790 000 – 840 000] Est ; Y : [110 000 -150 000] Nord ; de latitude 31° 30' et 32°00' et de longitude 5° 40' et 6° 20'.

III.B.3.2. Présentation hydrogéochimique générale

L'échantillonnage utilisé dans le cadre de cette étude concerne les eaux cambriennes de 15 forages. Les paramètres physico-chimiques mesurés sont : le pH (mesures effectuées in situ), Cl⁻, SO₄⁻², HCO₃⁻, Br⁻, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺ et K⁺, représentés dans le tableau (III.1)

- **Paramètres physiques :** La prise de température au niveau du puits MD57 indique une valeur égale à 91°C. Cette mesure a été faite à une profondeur importante du puits. Ceci prouve que les eaux de gisement se trouvent à haute température.

Le pH varie entre 2,15 et 5,6 avec une moyenne de 4,10, les eaux de gisement du cambrien sont acides.

- **Éléments majeurs :** Le tableau (III.1) montre la variabilité et l'ordre de grandeur des différents paramètres physico-chimique des eaux souterraines à l'échelle de tout le secteur étudié.

Les valeurs de l'écart-type sont élevées pour la plupart des éléments et dépassent parfois la moyenne comme le cas de SO₄⁻², Mg⁺⁺, Na⁺⁺, K⁺. Cela indique une certaine variabilité dans le type d'eau.

La relation entre la salinité et les chlorure ne peut être négligé par rapport aux autres éléments (les bicarbonates n'ont pas de rôle déterminant dans la salinité) globalement la variation de la minéralisation est liée essentiellement aux chlorures. Les eaux les plus chargées en sels sont les plus chlorurés.

Tableau III.1. Statistique élémentaire des différents paramètres physico-chimiques mesurés.

Paramètres	Min	Max	Moyenne	Ecart-type
pH	2,2	5,6	4,1	1,2
Cl ⁻ (mg/l)	49,8	1 461,0	767,2	269,9
SO ₄ ⁻² (mg/l)	0,3	73,9	10,3	20,2
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	1,2	61,0	10,7	22,2
Br ⁻ (mg/l)	11,2	147,2	44,7	51,9
Ca ⁺⁺ (mg/l)	49,4	667,2	307,3	150,3
Mg ⁺⁺ (mg/l)	21,0	7,5	0,8	32,4
Na ⁺⁺ (mg/l)	131,6	1 035,9	124,8	233,2
K ⁺ (mg/l)	74,4	533,4	31,4	81,7

Tableau III.2. Analyses chimiques des eaux de gisement du cambrien en (mg/l)

N°	Nom	T (°C)	pH	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ³⁻	Cl ⁻	Br ⁻	SO ₄	Fe(II)	Fe(III)	Mn ⁺	NH ₄	Salinité (g/l)	Densité	RS (g/l)	Résistivité (Ω/m)	Côte de prélèv. (m)	Date
1	MD20			238	72,7	701,5	28,4		751,7		73,9	27,3	8,6			336,225				3420(R1)	27/12/1961
2	MD3			346	118,5	404,8	44	61	750,2		8,6	38,5	2,2	0,5		342,3				3418(R2)	10/08/1960
3	OMI17			234,6	97,7	633,4	124,8		1461			5,2				332,224				3530	16/11/1977
4	MD126			302	21	549,7	26,9	3,7	885,98		0,3	48,6	0,9			340,225				3478	
5	MD71		5,6	563,2	81,9	335,8	28,8	1,2	766,7		2,5	6,1				268,467		274,1		3215	24/03/1969
6	MD25	91	3,8	49,4	24,9	1035,9	7,4		762,6		8,16	30,9				219,5	1,142	224,5		3327,7	09/05/1978
7	MD57		5,1	135	99,5	7,5	9,3	1,7	787		3,3	11,1	9,7			199,141				3388,35	22/06/1969
8	MD329		2,15	267	106,8	614,5	3,7		783,9		2,8	12,6				326,142	1,227	326			17/04/1980
9	MD19			667,2	53,4	248,4	46	3,1	768,8	18,4	0,7	8,6		1,2		375,22					
10	MD13			310	50,3	585,5	0,8	1,2	769,7	16,8	3	174,6		0,5		306,95					22/12/1960
11	MD11		3,7	379,2	131,6	409,4	11,31		49,8		4,3	56,6	11,3	8,8		352,415	1,12	352,6	0,04	fond du trou	
12	MD8		3,9	232,2	59	595,2	31,5		676,7	11,2	0,6	44,2	7		0,2	332,61	1,223	333	0,059	3455	05/08/1960
13	MD23			277,4	79,8	594,7	31,5		771,5	147,2		57,6	62	2,9		334,44	1,225	335	0,049	séparateur	
14	MD35		3,13	312,8	67	619,8	37,8		754,3	48	24,9	33,8		3,8		284,331	1,567	282	0,1		
15	MD27		5,43	296	51,4	665,6	38,6	3,2	767,7	26,4	0,5	34,5			0,9	323,018	1,218	323	0,055	3687/ 3816,6	21/03/1960

- **Faciès Chimique** : Pour comparer les analyses entre elles et mettre en évidence le type d'anions ou de cations dominant, un tableau comparatif a été dressé.

Tableau III.3. Tableau comparatif des cations, anions et le faciès chimique de chaque eau.

Puits	Cations	Anions	Faciès
MD20	Na >Ca>Mg	Cl> SO4	Chloruré sodique
MD3	Na >Ca>Mg	Cl> HCO3>SO4	Chloruré sodique
OMI17	Na >Ca>Mg	Cl	Chloruré sodique
MD126	Na >Ca>Mg	Cl> HCO3 >SO4	Chloruré sodique
MD71	Ca>Na>Mg	Cl> SO4>HCO3	Chloruré calcique
MD25	Na >Ca>Mg	Cl> SO4	Chloruré sodique
MD57	Mg>Ca>Na	Cl> SO4>HCO3	Chloruré sodique
MD329	Na >Ca>Mg	Cl> SO4	Chloruré sodique
MD19	Ca>Na>Mg	Cl> SO4>HCO3	Chloruré sodique
MD13	Na >Ca>Mg	Cl> SO4>HCO3	Chloruré sodique
MD11	Ca>Na>Mg	Cl> SO4	Chloruré calcique
MD8	Na >Ca>Mg	Cl> SO4	Chloruré sodique
MD23	Na >Ca>Mg	Cl> SO4	Chloruré sodique
MD35	Na >Ca>Mg	Cl> SO4	Chloruré sodique
MD27	Na >Ca>Mg	Cl> HCO3>SO4	Chloruré sodique

Il apparaît que les faciès chimiques se répartissent entre :

Un faciès chloruré sodique, dominant à 90%, et un faciès chloruré calcique représenté seulement par 10% des échantillons.

Le report de ces analyses sur le diagramme de piper (**Figure III.4**) nous a permis d'affiner la distribution des faciès. Ils se répartissent en 2 groupes :

Groupe 1 : Chloruré sodique à 85% et hyper chloruré sodique à 5%.

Groupe 2 : Chloruré calcique à 7% et hyper chloruré calcique à 3%.

- **Eléments en traces** : Le Br⁻ est un élément mineur parmi les espèces les mieux conservées et mobiles.

La concentration en Br⁻ varie entre 0,14 et 1,84 mg/l

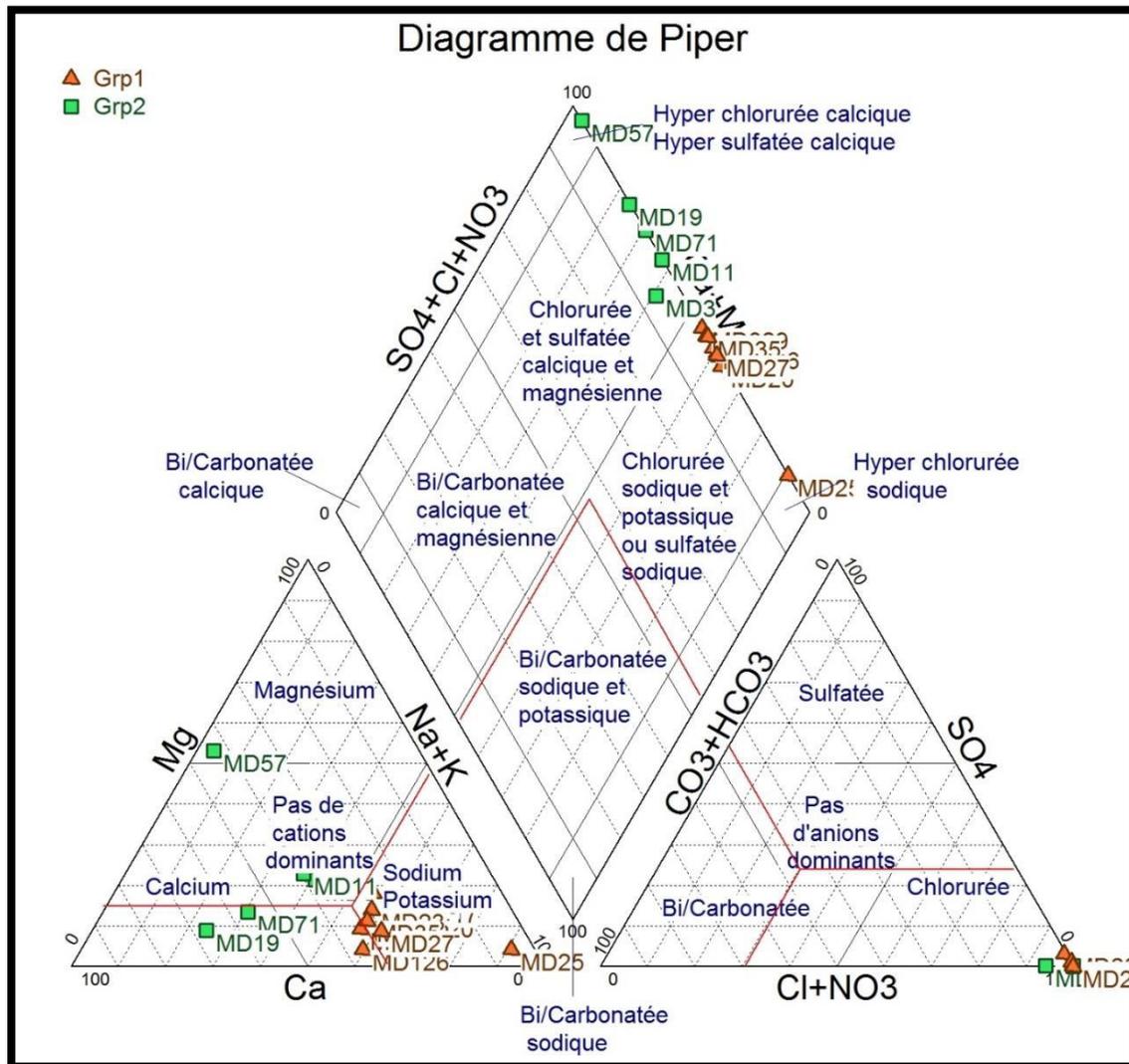


Figure III.4. Diagramme de Piper.

Globalement les eaux de gisement du cambrien analysées se distinguent en deux parties, des eaux chlorurées sodiques et d'autres chlorurées calciques.

Dans le diagramme des anions, les points forment un nuage relativement proche du pôle chlore. Le pourcentage des anions de tous les points varient dans les intervalles suivants :

$$90\% < \text{Cl} < 100\%, 0\% < \text{SO}_4^- < 2\%.$$

De cela on déduit une nette dominance de l'ion chlorure.

Dans le diagramme des cations, la plus part des points se situent dans la zone centrale avec une tendance remarquable vers le pôle sodique. On constate toutefois que quelques points évoluent vers le pôle calcique. Donc de ce diagramme, on déduit la classification dans l'ordre décroissant suivant : Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} .

III.B.3.3. Essai de classification des eaux du gisement cambrien

Les données obtenues après conversion du (mg/l) en (m_{eq}/l) sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau III.4. Données des analyses chimiques en (m_{eq}/l)

N°	Nom	T (°C)	pH	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ³⁻	Cl ⁻	Br ⁻	SO ₄	Fe(II)	Fe(III)	Mn ⁺	NH ₄	Salinité (g/l)	Densité	RS (g/l)	Résistivité (Ω/m)	Côte de prélèv. (m)	Date
1	MD20			11,9	6,01	30,5	0,73		48,5		1,54	0,76	0,16			336,225				3420(R1)	27/12/1961
2	MD3			17,3	9,8	17,6	1,13	2,98	48,4		0,076	1,07	0,04	0,02		342,3				3418(R2)	10/08/1960
3	OMI17			11,73	8,08	27,54	3,2		94,26			0,145				332,224				3530	16/11/1977
4	MD126			15,1	1,74	23,9	0,69	0,062	57,16		0,0083	1,35	0,02			340,225				3478	
5	MD71		5,6	28,16	6,77	14,6	0,74	0,021	49,47		0,054	0,17				268,467		274,1		3215	24/03/1969
6	MD25	91	3,8	2,47	2,06	45,04	0,19		49,2		0,17	0,86				219,5	1,142	224,5		3327,7	09/05/1978
7	MD57		5,1	6,75	8,23	0,33	0,24	0,028	50,78		0,07	0,31	0,18			199,141				3388,35	22/06/1969
8	MD329		2,15	13,35	8,83	26,72	0,095		50,58		0,06	0,35				326,142	1,227	326			17/04/1980
9	MD19			33,36	4,42	10,8	1,18	0,051	49,6	0,23	0,016	0,24			0,07	375,22					
10	MD13			15,5	4,16	25,46	0,021	0,02	49,66	0,21	0,064	4,85		0,02		306,95					22/12/1960
11	MD11		3,7	18,96	10,88	17,8	0,29		49,84		0,09	1,57	0,21	0,32		352,415	1,12	352,6	0,04	fond du trou	
12	MD8		3,9	11,61	4,88	25,88	0,81		43,66	0,14	0,014	1,23	0,13		0,01	332,61	1,223	333	0,059	3455	05/08/1960
13	MD23			13,87	6,60	25,86	0,81		49,78	1,84		1,6	1,16	0,11		334,44	1,225	335	0,049	séparateur	
14	MD35		3,13	15,64	5,54	26,95	0,97		48,67	0,6	0,52	0,94		0,14		284,331	1,567	282	0,1		
15	MD27		5,43	14,8	4,25	28,94	0,99	0,054	49,53	0,33	0,011	0,96			0,05	323,018	1,218	323	0,055	3687/ 3816,6	21/03/1960

❖ **Diagramme : $\frac{rNa}{rCa}$ en fonction de $\frac{rCl}{rNa}$ (r = milliéquivalent)**

Les diagrammes faisant intervenir la salinité totale n'ont pas été pris en compte, car la salinité totale est sujette à trop de facteurs impondérables qui viennent modifier et rendre cette eau de formation peu caractéristique ; parmi ces facteurs :

- La dilution par l'eau utilisée comme tapon dans le train de test, ou par la boue de forage.
- L'utilisation de boues salées, saturées suite à la traversée de niveaux salifères par le forage.

Accessoirement, les diagrammes $\frac{rNa}{rCa}$ en fonction $\frac{rSO4}{rCa}$ ont été utilisés.

III.B.3.4. Caractérisation des eaux recueillies sur un champ type

❖ **Classification à l'aide du diagramme $\frac{rNa}{rCa} = f\left(\frac{rCl}{rNa}\right)$**

Trois grandes familles se dessinent :

- Eaux de type « eaux connées » correspondant à des réservoirs ou des portions de réservoirs protégés. Ces eaux se caractérisent par :

$$\frac{rCl}{rNa} > 1,20 \text{ et } \frac{rNa}{rCa} < 6$$

- Eaux correspondant à des eaux météoriques de lessivage de sel :

Ces eaux se caractérisent par l'excès de Na^+ (apporté par le sel), d'où un rapport $\frac{rNa}{rCa}$

élevé, et un rapport $\frac{rCl}{rNa}$ voisin de 1.

Les eaux ayant lessivé des évaporites qui sont pratiquement dépourvus de sel

présentent un rapport $\frac{rCl}{rNa}$ voisin de 1 et un rapport $\frac{rNa}{rCa}$ modéré.

- Eaux correspondant à des mélanges entre les eaux « connées » et les eaux météoriques de lessivage de sel. Ces eaux occupent sur le diagramme une position intermédiaire entre les deux types d'eau précédents.

Lors des analyses faites, certaines eaux ont été contaminées par la perforation du tubage (boue) et du ciment. Il en résulte une diminution des rapports $\frac{rNa}{rCa}$ (Apport de Ca^{++}) et

$\frac{rMg}{rCa}$ (Diminution de Mg^{++}).

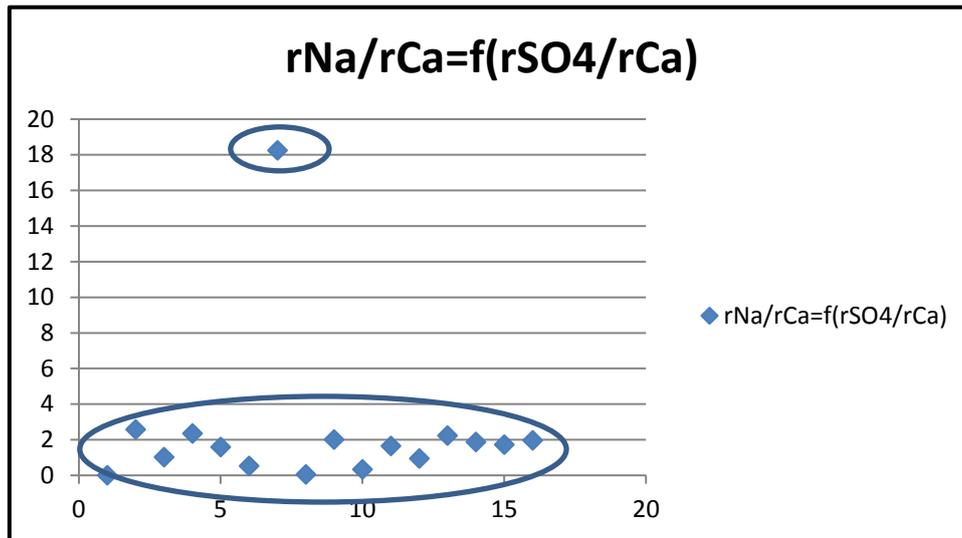


Figure III.6. Diagramme de $rNa/rCa = f(rSO4/rCa)$.

a) Eau de type « initiale » : Ces eaux correspondent à des réservoirs confinés ; ces eaux se caractérisent par :

$$\frac{rCl}{rNa} > 1.20 \text{ et une salinité } > 200 \text{ g/l.}$$

Sur 15 analyses, 14 répondent à ce type d'eau, ces eaux correspondent à des eaux emprisonnées dans les sédiments au début de leur dépôt et qui ont évolué, au contact des sédiments pour donner les eaux que l'on trouve actuellement. Ces eaux se caractérisent par une salinité élevée, d'où le fait que la saturation en chlorure de sodium est pratiquement atteinte alors que du calcium continu à être dissous, entraînant une forte diminution des sulfates.

Tableau III.5. Résultats obtenues pour les eaux connées.

N°	Nom	côte de prélèv. (m)	pH	Salinité (g/l)	rCl / rCa	rCl / rMg	rCl / rNa	rSO4/ rCa	rNa / rCa	rMg / rCa
1	MD20	3420		336,225	4,8	8,07	1,59	0,129	2,56	0,51
2	MD3	3418		342,3	2,8	4,94	2,75	0,004	1,02	0,57
3	OMI17	3530		332,224	8,04	11,67	3,42		2,35	0,69
4	MD126	3478		340,225	3,79	32,85	2,39	0,001	1,58	0,12
5	MD71	3215	5,6	268,467	1,76	7,31	3,39	0,002	0,52	0,24
7	MD57	3388,35	5,1	199,141	7,52	6,17	153,88	0,01	0,05	1,22
8	MD329		2,15	326,142	3,79	5,73	1,89	0,004	2	0
9	MD19			375,22	1,49	11,22	4,59	0,0005	0,32	0,13
10	MD13			306,95	3,2	11,94	1,95	0,004	1,64	0,27
11	MD11	fond du trou	3,7	352,415	2,63	4,58	2,8	0,005	0,94	0,57
12	MD8	3455	3,9	332,61	3,76	8,95	1,69	0,001	2,23	0,42
13	MD23	séparateur		334,44	3,59	7,54	1,92		1,86	0,48
14	MD35		3,13	284,331	3,11	8,79	1,81	0,033	1,72	0,35
15	MD27	3687/3816,6	5,43	323,018	3,35	11,65	1,71	0,001	1,96	0,29

b) Eau météorique : Cette eau paraît représentative, cependant, malgré une salinité élevée, le rapport r_{Cl}/r_{Na} demeure faible. On observe également un rapport r_{Na}/r_{Ca} élevé, cela peut s'expliquer par un apport important d'eaux de lessivage de sel, venues se mélanger à une eau "connée".

Tableau III.6. Résultats obtenus pour une eau météorique.

N°	Nom	Côte de prélèv. (m)	pH	Salinité (g/l)	r_{Cl}/r_{Ca}	r_{Cl}/r_{Mg}	r_{Cl}/r_{Na}	r_{SO4}/r_{Ca}	r_{Na}/r_{Ca}	r_{Mg}/r_{Ca}
6	MD25	3327,7	3,8	219,5	19,92	23,88	1,09	0,069	18,23	0,83

Lorsqu'on rencontre sur un même puits des eaux connées et des eaux météoriques (eau de lessivage de sel), il est probable que les réservoirs à eaux connées soient moins perméables, car moins aisément envahis que les autres réservoirs.

Conclusion

Les eaux de gisement de Hassi-Messaoud sont le reflet de l'histoire géologique. Le champ de Hassi-Messaoud se situe dans le complexe hydraulique Algéro-Lybien. Il est localisé dans la province dite triasique, et son bassin est de type cambro-ordovicien-silurien.

A travers les 15 analyses d'eau examinées et à l'aide de diverses techniques de caractérisation, notamment pour remonter à la nature véritable de l'eau, masquée souvent par diverses pollutions apportées par le forage, deux types d'eaux ont pu être distingués :

- Les eaux connées reflétant les longues périodes d'enfouissement et de diagenèse des formations,
- Les eaux météoriques reflétant l'invasion générale des réservoirs par les eaux de surface, à la faveur de phénomènes tectoniques.

En conclusion, cette étude a mis, une nouvelle fois, en évidence les étroites relations entre les transformations géologiques d'une province et la distribution des eaux de formation.

Chapitre IV : le « Waste management » de SONATRACH pour la préservation de l'environnement

Introduction

Comme toute activité industrielle, l'industrie pétrolière, qu'elle soit liée aux activités « amont » (forage conventionnel ou fracturation de la roche mère) ou aux activités « aval » (traitement et transport), génère une pollution importante qui présente une réelle menace sur l'environnement d'une manière générale, plus particulièrement sur les ressources en eaux. Cette industrie génère une très grande quantité de différents fluides contenant des produits chimiques hautement toxiques, qui sont déversés dans le milieu naturel, que ce soit dans les bourbiers de forages ou directement sur site.

Si cette situation perdure, et en vue du rythme avec lequel l'activité pétrolière évolue, nous serons prochainement confortés à un souci environnemental d'envergure conséquente.

Devant ce constat alarmant, la société nationale SONATRACH, consciente des enjeux et du coût environnemental, a mis en place une politique environnementale par l'adoption d'une méthode de gestion efficace : le « Waste management ».

IV.1. Aperçu sur les différentes étapes du forage pétrolier et aspects environnementaux

IV.1.1. Le forage pétrolier

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

L'implantation d'un forage pétrolier est décidée à la suite d'études géologiques et géophysiques effectuées sur un bassin sédimentaire. Ces études permettent de se faire une idée de la constitution du sous-sol et des possibilités de gisements, mais elles ne peuvent préciser ou non la présence d'hydrocarbures. Seuls les forages pourront confirmer les hypothèses faites et mettre en évidence la nature des fluides contenus dans les roches.

Pour des raisons techniques, il est impensable de faire un trou qui soit de diamètre constant depuis la surface jusqu'à de telles profondeurs. Ces dernières varient de quelques centaines de mètres à plus de 6000 m (selon le programme de forage). Le puits sera donc constitué de sections successives, de diamètres de plus en plus petits. Entre chaque phase de forage le trou est "tubé", c'est-à-dire cuvelé par une colonne de tubes en acier : le cuvelage, plus communément appelé tubage. Cette colonne de tubage est ensuite cimentée : la succession des tubages cimentés correctement permet d'assurer un passage étanche jusqu'au réservoir [20].

IV.1.2. Présentation d'un appareil de forage

La plate-forme d'un chantier de forage est conçue selon un plan architectural standard, l'appareil de forage est installé au milieu du Rig. Cet appareil est constitué de trois parties principales : Le mât, le plancher et la substructure.

Le fonctionnement d'un appareil de forage est régi par cinq systèmes fondamentaux :

- Système de levage (Hoisting system),
- Système de rotation (Rotating system),
- Système de circulation (Circulating system),
- Système des obturateurs (BOP system),
- Système de puissance (power system).



Figure IV.1. Plateforme de forage dans un environnement désertique.

IV.1.3. Les fluides de forage

La boue est un élément fondamental dans le forage. Elle est composée de plusieurs combinaisons liquides contenant des additifs minérales ou organiques. Elle a des rôles multiples pendant le forage, nous citons les plus importants d'entre eux [21] :

- Nettoyer le puits et assurer la remonté des déblais de fond de puits jusqu'à la surface grâce à la circulation de ce fluide visqueux dans l'espace annulaire,
- Maintenir les déblais en suspension et empêche leur sédimentation en cas d'un arrêt de circulation et permet le redémarrage de forage sans coincement,
- Refroidir et lubrifier l'outil pour éviter l'usure rapide des pièces métalliques en mouvement,
- Garder la stabilité de puits et empêcher l'effondrement de ses parois grâce à la pression hydrostatique de fluide en écoulement qui doit être légèrement supérieure à la pression de la formation,
- Permettre de contrôler les venues des fluides à partir des formations traversées,
- Former un cake de filtration qui sert à réduire la perméabilité des parois et par la suite isoler le fluide de forage des formations traversées.

IV.1.3.1. Les types des boues de forage

Les fluides de forage sont classés en trois types selon le fluide de base utilisé dans leur préparation, on distingue :

a). La boue à base d'eau (Water Base Mud) : Elle est utilisée pendant le forage des premières phases (36'' et 26''). Elle est constituée par des suspensions de bentonites dans l'eau (30 – 60 g/l) plus des polymères pour ajuster ses caractéristiques rhéologiques et de filtration. Sa formulation dépend des caractéristiques de la formation traversée, pour cela on distingue les catégories suivantes :

- Boue douce (bentonitique) : Sa teneur en Chlorure de sodium NaCl ne dépasse pas quelques grammes par litre et la concentration de la bentonite est de 30 à 70 kg/m³,
- Boue salée : La concentration de NaCl peut être de l'ordre de quelques dizaines par litre jusqu'à la saturation. Elle est utilisée dans les zones salifères pour éviter le cavage,
- Boue KCl : C'est une nouvelle formulation de boue où le KCl joue le rôle d'un agent inhibiteur de gonflement et de dispersion des argiles.

Ces fluides sont moins coûteux et moins polluants cependant la dégradation thermique des polymères utilisés dans ces formulation présente un inconvénient majeur pour le bon déroulement de l'opération de forage [21].

Les avantages de la boue à base d'eau :

- Sécurité, santé et environnement.

Les inconvénients de la boue à base d'eau :

- L'eau mouille les roches et pénètre facilement dans les pores,
- Hydratation des argiles,
- Dissolution des sels (chlorures les plus solubles),
- Filtration dans les formations poreuses perméables,
- Endommagement des formations (colmatage, précipités),
- Réaction possible avec les fluides de formation.

b). La boue à base d'huile (Oil Base Mud) : Par définition les fluides de forage à base d'huile sont des émulsions inverses dont la phase continue est une huile organique ou minérale et la phase dispersée est une solution aqueuse. Elle garde l'avantage d'une phase externe constituée par l'huile. Elle est utilisée pour forer la phase 16'' jusqu'à la phase de réservoir. La boue huileuse est la plus utilisée dans le champ de Hassi Messaoud, pour les raisons suivants :

- Elle n'est pas réactive avec les roches rencontrées,
- Réduit le frottement de la garniture avec les parois de puits.

Les caractéristiques rhéologiques et thixotropiques sont ajustées par l'ajout de plusieurs additifs, généralement des agents viscosifiants, émulsifiants, stabilisants, fluidifiants et alourdissant. Ce type de fluide de forage pose des problèmes écologiques, il peut contaminer le laitier de ciment qui est très coûteux [21].

Les avantages de la boue à base d'huile :

- Permet de résoudre les problèmes rencontrés avec la boue à base d'eau,
- Lubrifiant : réduction des frottements dans le puits,
- Caractéristiques plus faciles à maintenir.

Les inconvénients de la boue à base d'huile :

- Polluant, Inflammable,
- Dangereux pour la santé du personnel,
- Coût de fabrication et de destruction généralement plus élevé que celui des boues à base d'eau,
- Difficulté pour "voir" les hydrocarbures (dans les déblais et avec certains outils).

IV.1.3.2. Le circuit de la boue

Pendant l'opération de forage, la boue est aspirée à partir des bacs actifs à l'aide d'une pompe hydraulique. Le fluide injecté à l'intérieure tige passe par des orifices de l'outil et remonte jusqu'à la surface à travers l'espace annulaire. La boue chargée des déblais (cuttings) est ensuite dirigée vers le Mud box ensuite les tamis vibrants (shale shakers) à travers une grande conduite appelée la goulotte (flowline). Les tamis retiennent les particules grossières et font passer la boue dans les bacs de décantation ensuite par des hydrocyclones pour éliminer le sable (desander) et le silt (desilter). Enfin la boue traitée retourne dans les bacs actifs pour un autre pompage [21].

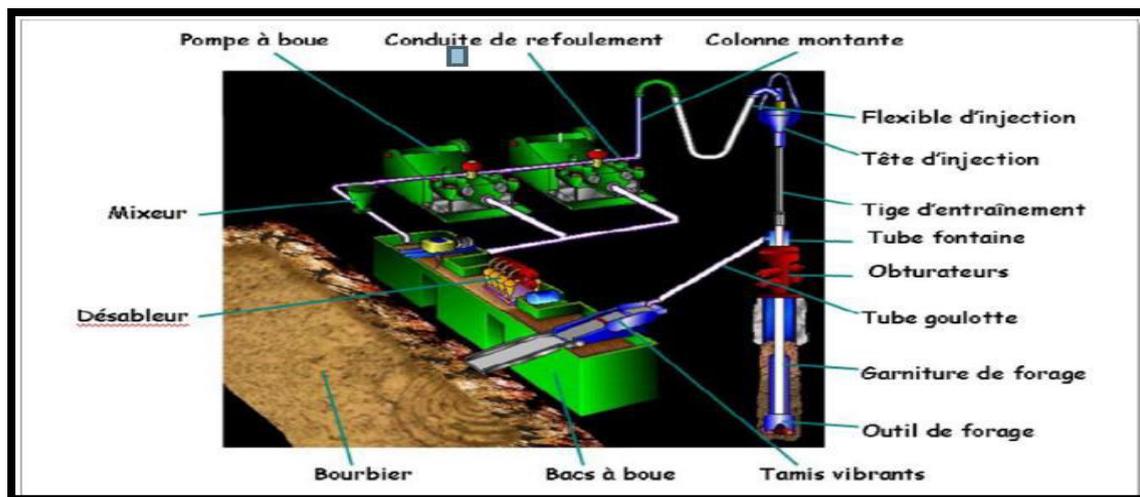


Figure IV.2. Circuit de la boue de forage.

IV.1.4. L'usage d'eau et de gasoil pendant les activités de forage

Pendant les activités de forage l'eau sera extraite d'un puits d'eau situé aux alentours. L'eau sera stockée à côté de l'emplacement de forage dans un bourbier ou bassin imperméabilisé.

La plupart de l'eau s'utilise pour la préparation de WBM, mais l'eau s'utilisera aussi pour nettoyer, et lutter contre d'éventuels incendies.

La quantité d'eau utilisée pendant le forage avec des WBM est d'environ 180 m³/jour. Si on considère que les activités de forage avec des WBM auront une durée de 20 jours, le volume total d'eau nécessaire aux activités de forage WBM sera de 3600 m³. Cette eau viendra d'aquifères situés à profondeurs d'entre 200 et 400 m.

En moyenne, les activités de forage avec des boues à base aqueuse (WBM) consomment 5m³/jour de gasoil. La consommation de gasoil pendant le forage OBM sera plus importante, étant donné que le diesel est le composant principal des OBM. Des pertes d'OBM dans les formations contribueront à augmenter la consommation de gasoil [21].

IV.1.5. Les sources de pollution

Les différentes phases de l'activité de forage d'un puits pétrolier, génèrent en surface des rejets liquides et solides notamment les déblais de forage, engendrant potentiellement trois types de pollution des ressources superficielles et souterraines dont :

1) Des débordements et rejets accidentels de fluides (en particulier boues de forage auxquelles pourraient aussi s'ajouter du gasoil et des huiles utilisés comme carburant et lubrifiants pour les sources d'énergies) au niveau de la surface,

2) L'infiltration en profondeur des fluides de la surface du terrain vers la nappe phréatique,

3) La contamination éventuelle par squeeze dans l'aquifère par les fluides de forage lors de la réalisation du forage pétrolier.

IV.1.6. Les déchets issus de forage

Cette section présente un résumé et un registre des autres décharges potentielles à l'environnement issu des activités de forage. La conception des infrastructures, plateformes et autres éléments du projet visent la minimisation ou élimination des décharges dans l'environnement.

Les déchets solides sont les suivants : déchets domestiques, déchets industriels organiques, et d'autres déchets occasionnels générés pendant le développement du programme de forage. Les déblais de forage représentent la plupart des déchets générés dans le projet, et sa composition reflète la géologie du sol [22].

❖ **Les déchets liquides** : Ce type de déchets comprendra :

1) Drainage de nettoyage des plateformes : Le drainage des plateformes arrive après des opérations de lutte contre incendies, nettoyage, et de petites fuites de produits dangereux. La plateforme draine vers le borbier WBM.

2) Eaux résiduelles : Elles sont générées par les 100 personnes travaillant et par le personnel militaire (environ 30 personnes). On estime que ces personnes génèrent 120 litres d'eaux usées par jour, la durée approximative d'un chantier de forage étant de 95 jours, on obtient un volume équivalent à 1500 m³. Ces eaux usées sont amenées aux fosses septiques ou bassins d'évaporation puis traitées. Les débordements sont dirigés vers un borbier à côté des fosses [22].

Les types de déchets (solides et liquides) générés par les activités de forage sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV.1. Résumé des déchets solides et décharges – Programme de forage.

Déchets solides	Raison	Source	Qualité	Quantité	Point de décharge
Solides des eaux usées et boues sanitaires	Déchets humains	Toilette, cuisines.	Solides sanitaires	Variable	Bassin ou fosse septique
Déchets domestiques secs	Activité humaine	Bureaux, ateliers, cuisines.	Général, pas dangereux	Variable	À l'environnement
Déchets inorganiques industriels	Produits chimiques, procédés	Filtre, ferraille, bidon usés	Déchets spéciaux	Variable	Dépôt d'élimination de déchets
Déchets	Déchets	Torchons	Déchets	Variable	Dépôt

IV.2. La réglementation Algérienne en matière de protection de l'environnement

L'Algérie figure parmi les pays qui ont accordé une importance capitale à l'environnement et le considère comme un droit constitutionnel. En effet un arsenal juridique à couvert pratiquement tous les domaines de l'environnement en général et plus particulièrement la protection de ce dernier dans le cadre du développement durable (la gestion des déchets solides, les effluents liquides, la pollution marine, les nuisances sonores, la pollution atmosphérique etc.). Les principales législations qui régissent la réglementation Algérienne en matière de protection de l'environnement sont :

a). La loi N° 03-10 du 19 juillet 2003 : Elle est relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable : Cette loi a abrogé la précédente loi 83-03 datant du 5 février 1983 et a introduit dans la législation Algérienne quelques principes environnementaux de base :

- Principe de Précaution,
- Préservation de l'environnement et réduction de toutes sortes de pollution,
- Principe de pollueur-payeur,
- Réduction des impacts environnementaux de préférence à la source,
- Préservation de la biodiversité [1].

Elle traite aussi des :

- Établissement classés et aires protégées,
- Protection de l'air et de l'atmosphère,
- Protection de l'eau et des milieux aquatique,
- Protection de la terre et du sous-sol,
- Protection des milieux désertiques,
- Protection contre les substances chimiques [1].

b). Le décret exécutif N° 06-198 du 31 mai 2006 : Le présent décret a pour objet de définir la réglementation applicable aux Etablissements classés pour la Protection de l'Environnement (ICPE). Il a mis en place une véritable politique à travers l'instauration de l'Étude d'Impact Environnementale (EIE) et de l'Étude de Dangers (EDD) pour l'identification et la prise en charge des conséquences des activités économiques sur l'environnement [2].

c). Le décret exécutif N° 07-145 correspondant au 19 mai 2007 : Il a pour objet de déterminer le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et des notices d'impact sur l'environnement. Ce décret vise à déterminer l'insertion d'un projet dans son environnement en identifiant et en évaluant les effets directs et/ ou indirects du projet, et vérifie la prise en charge des prescriptions relatives à la protection de l'environnement par le projet concerné [2].

d). Le décret exécutif N° 08-312 du 5 octobre 2008 : Fixant les conditions d'approbation des études d'impact sur l'environnement pour les activités relevant du domaine des hydrocarbures.

e). Le décret exécutif N° 06-141 du 19 avril 2006 : La voie d'élimination des rejets liquides doit être conforme, performante et respectueuse de l'environnement et des personnes.

- Toutes les installations générant des rejets d'effluents liquides industriels doivent être conçues, construites et exploitées de manière à ce que leurs rejets d'effluents liquides industriels ne dépassent pas à la sortie de l'installation les valeurs limites des rejets définies et doivent être dotées d'un dispositif de traitement approprié de manière à limiter la charge de pollution rejetée,
- Tous rejets d'installations industrielles devront être traités et leur concentration en polluants ne doit pas dépasser les valeurs limites des paramètres de rejets fixées.

f). La loi N° 05-12 du 04 août 2005 : Cette loi est relative à l'eau, elle fixe les principes et les règles applicables pour l'utilisation, la gestion et le développement durable des ressources en eau en tant que bien de la collectivité nationale :

L'objectif de cette loi est [1] :

- L'approvisionnement en eau en quantité suffisante et en qualité requise,
- La préservation de la salubrité publique et la protection des ressources en eau et des milieux aquatiques contre les risques de pollution,
- La recherche et l'évaluation des ressources en eau superficielles et souterraines ainsi que la surveillance de leur état quantitatif et qualitatif,
- La maîtrise des crues par des actions de régulation des écoulements d'eaux superficielles pour atténuer les effets nuisibles et protéger les personnes et les biens.

IV.3. Les procédés de traitement des déblais de forage

Le traitement des déblais « Cuttings » et boues de forage est l'étape la plus importante au regard des volumes de ces rejets qui constituent l'impact environnemental négatif le plus significatif. Le procédé de traitement appliqué actuellement par SONATRACH consiste à traiter les déblais trouvant dans le borbier par solidification/ stabilisation [23].

IV.3.1. Le traitement par solidification/ stabilisation (S/S) offline

Cette technique permet de traiter et réutiliser en toute sécurité les déchets contaminés et accumulés dans le borbier. Cette opération sert à transformer les déblais en un solide.

Il s'agit de l'encapsulation des déblais de forage par un liant hydraulique et les transformé en une forme consolidée ayant de bonnes propriétés mécaniques. Les liants hydrauliques utilisés sont :

- ✓ Silicate de sodium ($\text{SiO}_2 \text{Na}_2\text{O}$),
- ✓ Silicate de potassium ($\text{SiO}_2 \text{K}_2\text{O}$),
- ✓ Ciment.

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

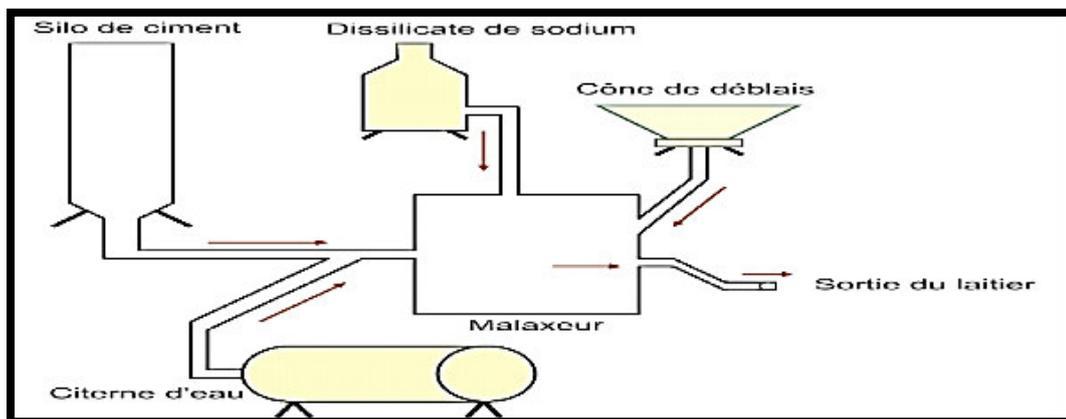


Figure IV.3. Schéma simplifié du procédé de Solidification/ Stabilisation.

IV.3.2. La désorption Thermique (ex-situ)

Cette technique est bien développée aux États-Unis, elle consiste à dégrader les molécules des contaminants par l'effet de l'augmentation de la température visant à :

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

Les rejets de forage à forte teneur en hydrocarbures (en général 10 à 40%) sont de bons candidats pour le traitement thermique. Une unité de traitement thermique est généralement une installation fixe qui permet de traiter les sols contaminés de façon ex-situ [23].

IV.3.3. D'autres techniques de traitement

A travers le monde, la dépollution des sols contaminés par les hydrocarbures peut être mise en œuvre à l'aide des techniques suivantes :

a). Le confinement : Le confinement consiste à isoler la source de pollution par des ouvrages étanches (mélanges de matériaux argileux et synthétiques). Ils sont utilisés en couverture, en parois verticales et horizontales, en injection dans le sol ou en enrobage des déchets. Le site est recouvert pour éviter le lessivage et surveillé par des piézomètres.

b). L'incinération : C'est la technique la plus ancienne et repose sur la combustion des déchets du sol. Les hautes températures détruisent les polluants ou les volatilisent. L'installation de traitement thermique par incinération comprend les éléments suivants :

Cette technique est extrêmement coûteuse et les fumées toxiques qui se dégagent lors de la combustion nécessitent d'importants traitements qui engendrent des surcoûts [23].

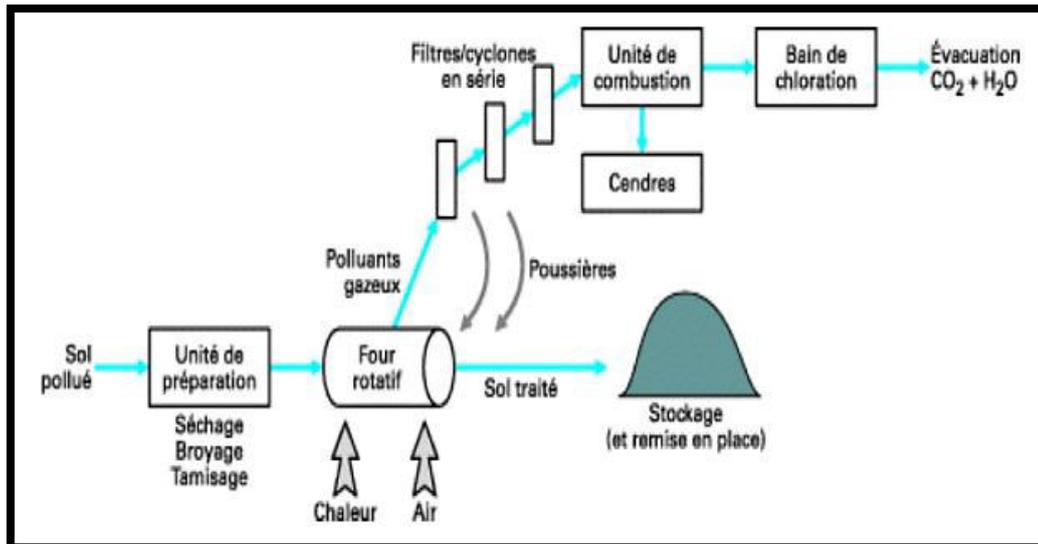


Figure IV.4. Procédé d'incinération par four rotatif.

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

La décontamination se fait in situ en introduisant dans le sol les éléments nécessaires au développement de la biomasse ou bien ex-situ en traitant le sol excavé [23].

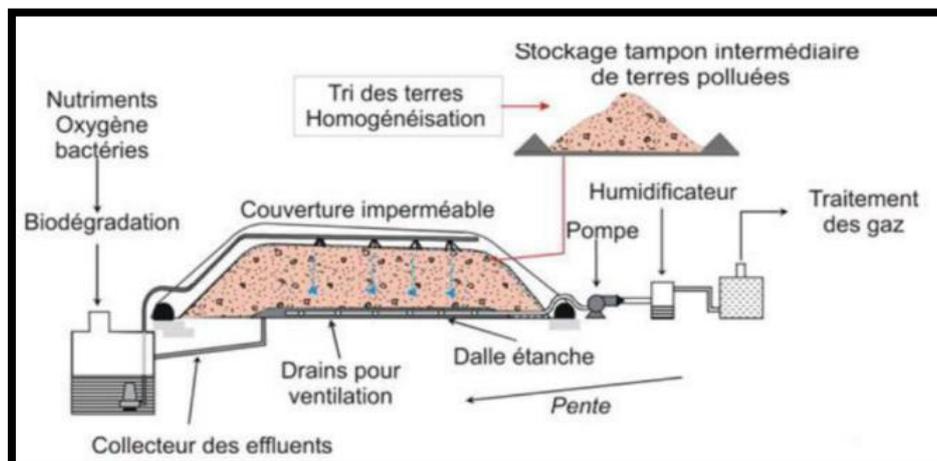


Figure IV.5. Schéma représentatif de la biodégradation en lit.

IV.4. Le système « Waste management » de la SONATRACH

La gestion de fluides usés, d'eaux huileuses et de déblais de forage passe par toute une démarche environnementale qui intègre :

1. L'aménagement du site et de l'appareil de forage ;
2. La protection des eaux de surface et souterraines ;
3. Le choix des fluides de forage ;
4. La réduction des volumes d'effluents à la source :
 - 4.1. L'économie d'eau ;
 - 4.2. Le recyclage des fluides ;
 - 4.3. La séparation « solides/liquides ».
5. Traitement des déblais ;
6. La mise en place de procédures opératoire adaptées ;
7. La sensibilisation et la formation du personnel [24].

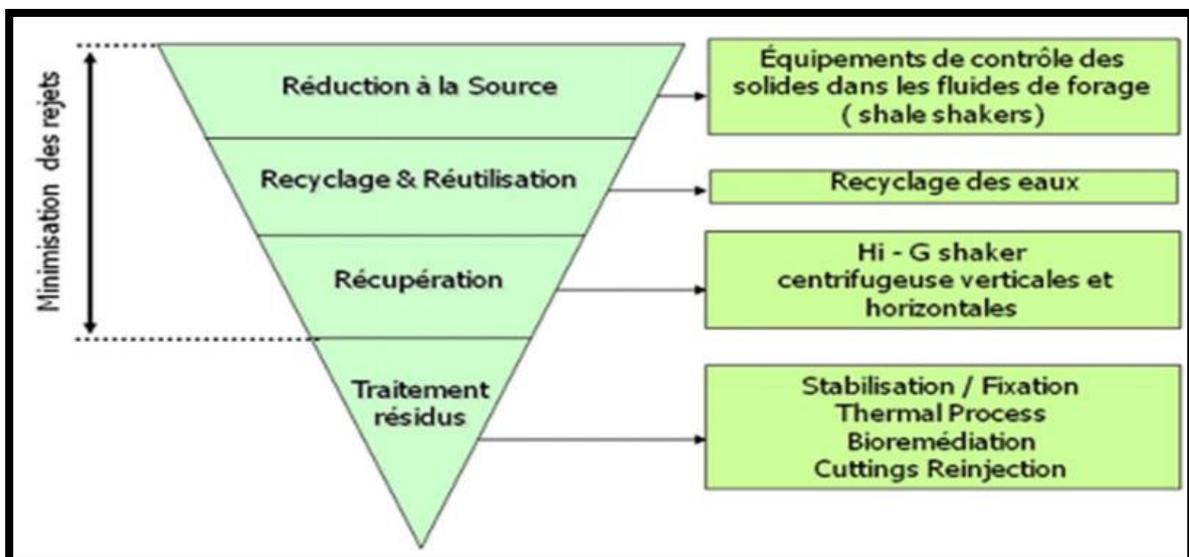


Figure IV.6. Pyramide d'actions pour le management environnemental des boues de forage.

Depuis l'intégration du système « waste management », les bourniers conventionnels ont été remplacés par trois compartiments.

Des modifications ont également été apportées à la plate-forme de forage. Au niveau de celle-ci se trouve des rigoles qui permettent de collecter les eaux usées et de les acheminer vers le corral pit. Ce dernier est relié au water pit par une excavation creusée. Durant les phases forées par la boue à base d'eau « WBM », le déplacement des déblais qui proviennent des tamis vibrants se fait par gravité. A la fin du forage de la section « WBM », l'excavation sera fermée pour éviter la contamination du water pit par la boue à base d'huile « OBM ».

Avant d'entamer le forage avec une boue à base d'huile « OBM », tous les équipements « waste management » doivent être montés et testés. Les deux vis convoyeuses « Auger » sont installées respectivement en dessous des tamis vibrants et du « mud cleaner » pour collecter et transporter les déblais vers la troisième vis convoyeuse qui achemine les déblais vers le « dryer ».

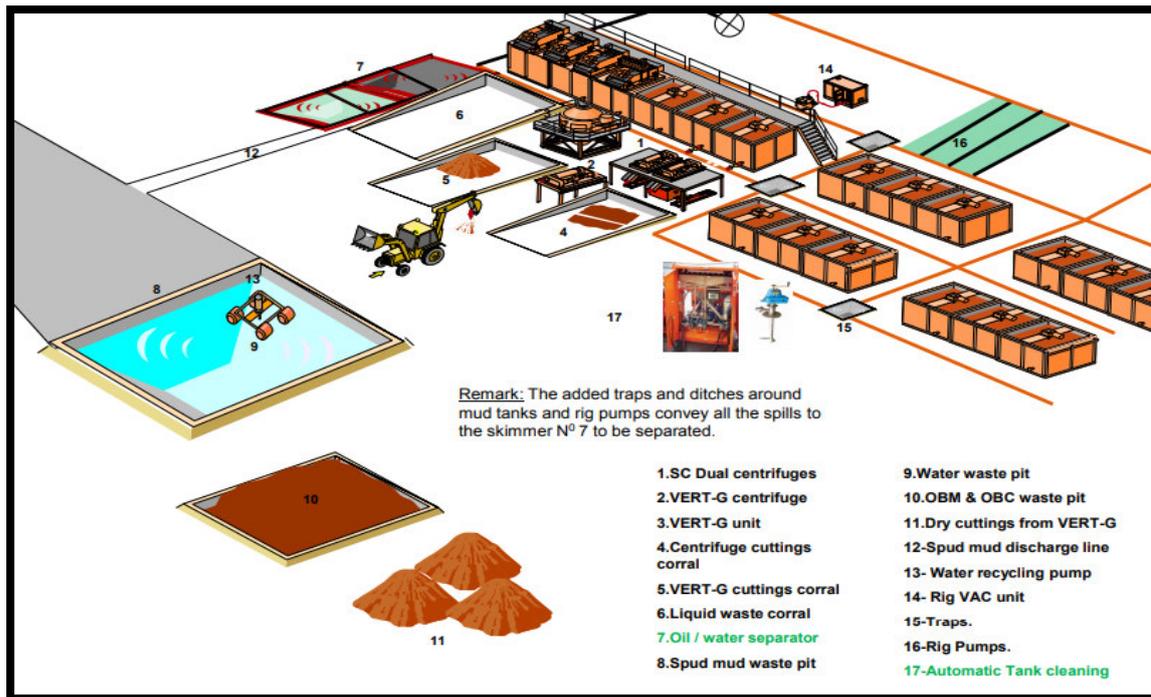


Figure IV.7. Principe de fonctionnement du système « waste management » [24]

IV.4.1. Les objectifs du système « waste management »

Ce procédé a pour but :

- La réduction de pourcentage des huiles sur les déblais en aval du « drying process » qui est $\leq 5\%$,
- La récupération des volumes de fluide de forage ainsi extraits,
- L'optimisation de la consommation d'eau industrielle,
- L'étanchéité des compartiments de borbier (dry waste pit et wet waste pit) par une membrane en Polyéthylène à Haute densité (HDPE) [24].

IV.4.2. Les composants du « waste management system »

Il se compose de trois parties majeures :

1. Drying process (séchage des déblais de forage) : Les équipements utilisés pour cette prestation sont :

- Dryer (Centrifugeuse verticale),
- Centrifugeuse horizontale,
- Auger (Vis-convoyeuse),
- Three side tank,
- Catch tank,
- Pompes et flexibles.

2. Le recyclage et la réutilisation des eaux : Les équipements utilisés sur site pour le recyclage d'eau et la réutilisation d'eau « Water Reuse » est un « skimmer » qui se divise en trois compartiments :

- Pompe diaphragme,
- Débitmètres,
- Pompe de transfert.

L'eau usée est récupérée depuis le corral à l'aide de la pompe diaphragme, transférée vers le « skimmer » où la séparation des phases s'effectue par le phénomène de décantation mécanique. On obtient au final :

- ✓ Des Solides décantés dans le premier compartiment,
- ✓ De l'huile emprisonnée dans le deuxième compartiment,
- ✓ De l'eau claire dans le troisième compartiment pour réutilisation « water reuse » (arrosage plateforme, nettoyage, etc.) [24].

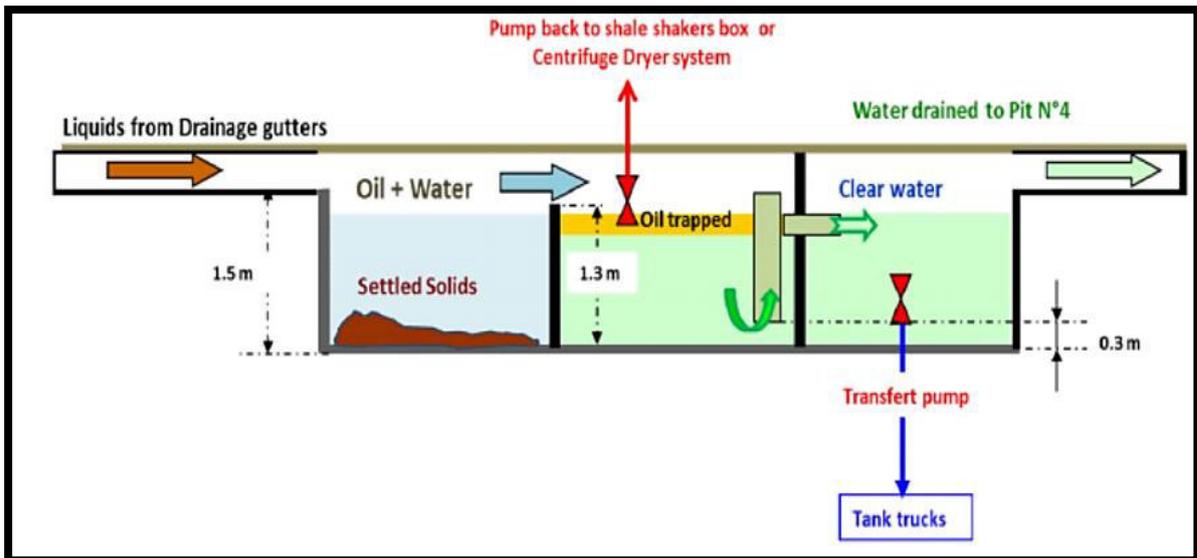


Figure IV.8. Le fonctionnement d'un skimmer.

IV.4.3. Le waste ségrégation et pit liner

La récupération des rejets de forage se fait dans une grande excavation, compartimentée en trois borbiers :

- a). Water Waste pit : destiné pour les rejets issus du forage par une boue à base d'eau,
- b). Wet Waste pit : destiné pour les rejets issus du forage par une boue à base d'huile (wet cuttings),
- c). Dry Waste pit : stockage de déblais traités par le « dryer ».

Les deux borbiers « dry pit et le wet pit » doivent être couverts d'une géo-membrane étanche en Polyéthylène Haute Densité (HDPE), fabriquée en une seule pièce [24].

IV.4.4. L'essai proposé par MI Algeria_ENAFOR #47 puits MD#712 (ZERO DISCHARGE)

Un essai a été réalisé par SONATRACH et MI Algeria au niveau du chantier ENAFOR 47 puits MD 712 champs de HASSI MESSAOUD. Cet essai représente le cas idéal en matière de gestion intégrée des rejets de forage.

Ce projet a été établi en tenant compte d'un ensemble de concepts visant à promouvoir les aspects de la protection de l'environnement.

Ses objectifs sont :

- ✓ Minimiser le volume des déchets humides produits et éliminés à partir des opérations de forage quotidiennes dans la plate-forme,
- ✓ Transférer tous les déchets humides générés à partir de la plate-forme de puits à l'unité de solidification la plus proche,
- ✓ Réduire au minimum le nombre de voyages de transfert par camions de déchets humides,
- ✓ Minimiser le volume de l'eau utilisée dans les opérations de forage quotidiennes dans la plate-forme.

Au cours de ce projet Zéro Décharge deux travaux de nettoyage de l'ATC ont été effectués :

a). En premier lieu :

- Nettoyage des bacs à boue avant la section 6'', afin de recevoir une faible densité d'OBM,
- Minimiser le volume d'eau douce utilisé pour les cuves de nettoyage à seulement 07 m³ d'eau et disposés seulement 09 m³ des déchets solides.

b). En deuxième lieu :

- Nettoyage des bacs à boue à l'achèvement et pour DTM,
- Utiliser le même 07 m³ d'eau utilisée auparavant dans le premier emploi et disposer seulement 17 m³ des déchets solides.



Figure IV.9. Le rôle de la technique ATC dans le projet (ZERO DISCHARGE).

La société Mi-Algeria a sélectionné un personnel qualifié pour suivre ce projet, son expérience est acquise à travers plusieurs projets réalisés en Algérie ainsi qu'à l'étranger. La communication entre les trois parties impliquées dans ce projet (SONATRACH, MI-Algeria, ENAFOR) a été assurée par la présence permanente d'un coordinateur de « waste management » sur chantier.

Mi-Algeria a mis en place tous les outils nécessaires pour fournir à SONATRACH les données requises permettant de mieux évaluer cet essai. En outre, elle a accordé une importance majeure au reporting puisqu' il sert à définir les objectifs des projets à venir.

Pour la réalisation du projet ZERO DISCHARGE, une liste d'équipements a été fournie :

Tableau IV.3. Liste d'équipements pour le projet ZERO DISCHARGE

	Description	Quantité	Compagnie	Remarque
1	Rig Vac unit	01	MI-Algeria	Yes
2	ATC UNIT	01	MI-Algeria	Yes
3	Concrete skimmer	01	Sonatrach	Yes
4	Ditches (Collect points)	05	Sonatrach	Yes
5	Drill pan	01	Enafor	Provided
6	Graco Gun	02	Enafor	Provided
7	Mud saver	01	Enafor	Provided
8	Solidification unit	01	ES	Provided
9	Cuttings transfer truck	02	ES	Provided
10	Extra tri-side tanks	06	MI-Algeria	Yes
11	Extra Auger	01	MI-Algeria	Yes
12	Verti-G Contingency backup	01	MI-Algeria	Yes

IV.4.5. Le volume des déblais humide transférés

Le tableau ci-dessous résume les chiffres des déblais évacués dans les différentes étapes du forage :

Tableau IV.4. Déblais humides évacués (ZERO DISCHARGE)

Section de forage	16''	12 1/4 ''	8 1/2 ''	6''	DTM	Total
Nombre de camions	37	15	0	8	11	71
Déblais humide transférés (m ³)	296	112	0	63	100	571
Volume évacué par voyage (m ³ /voyage)	8	7,46	0	7.87	9,09	8,04

Le volume de déchets humides a été réduit de 42,9% par rapport au concept conventionnel et de 12,3% par rapport au projet précédent.

Le nombre de camions de transfert de déchets a été réduit de 38,3% par rapport au 1er projet d'essai et le volume d'eau consommé a été réduit de 13,4%.

Les figures (IV.9) et (IV.10) ci-dessous nous renseignent sur les objectifs atteints par le projet « Zero Discharge ». Ainsi, on remarque que le volume d'eau consommé des deux puits auxquels cette méthode a été appliquée est nettement inférieur à ceux qui ont subi un traitement autre que le « Zero Discharge ».

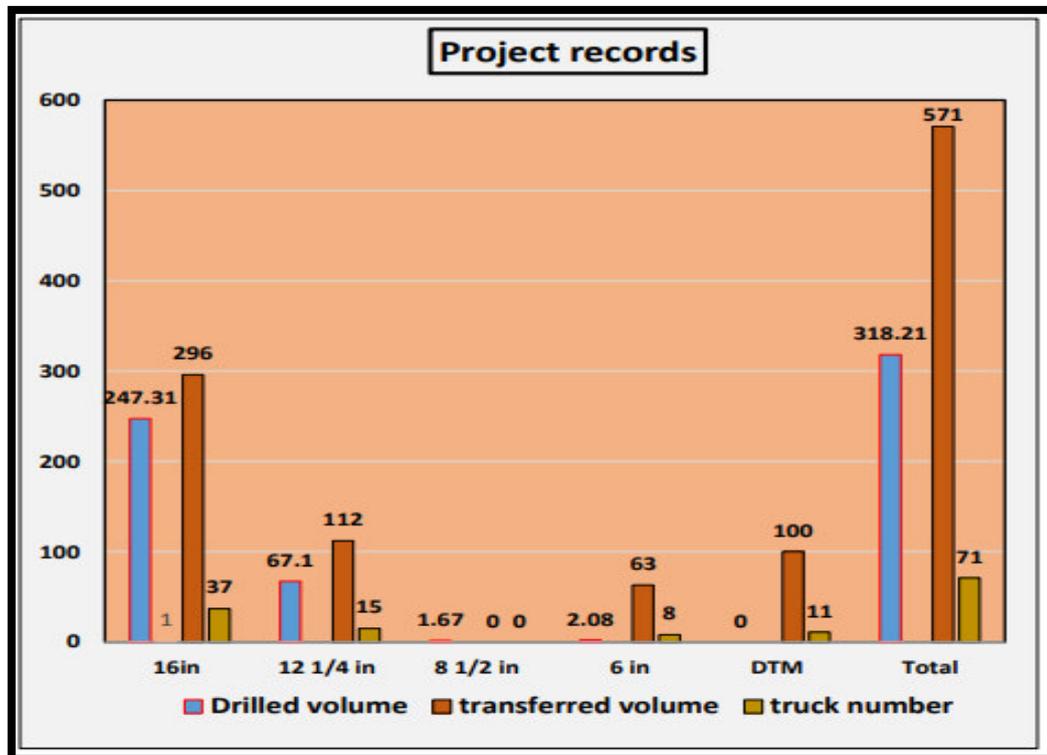


Figure IV.10. Les records du projet « Zero Discharge ».

Rig	Well	Treated Volume (m ³)
GWDC-133	NHGAW-1	1440
ENF-46	MDZ-677	1244
GWDC-118	MD-680	1160
SNP-118	HGAW-6	1500
GWDC-133	HHT-1	1320
F-21	MD-685	1120
SNP-118	HGAW-7	1280
GWDC-118	OMKZ-823	1500
SNP-237	ONI-452	1630
SPEC-118	HGAW-8	1120
GWDC#118(1st Trial)	ONI-211	651
ENAFOR #47(2 nd Trial)	MD#712	571
Total Volume Treated (m ³)		13,314
Average Volume per well (m ³)		1,331.4

Figure IV.11. Comparatif de puits traité avec ou sans « Zero Discharge »

Le schéma suivant illustre le processus établi par le « waste management » pour la gestion des déchets de forage, selon les deux phases : Online et Offline.

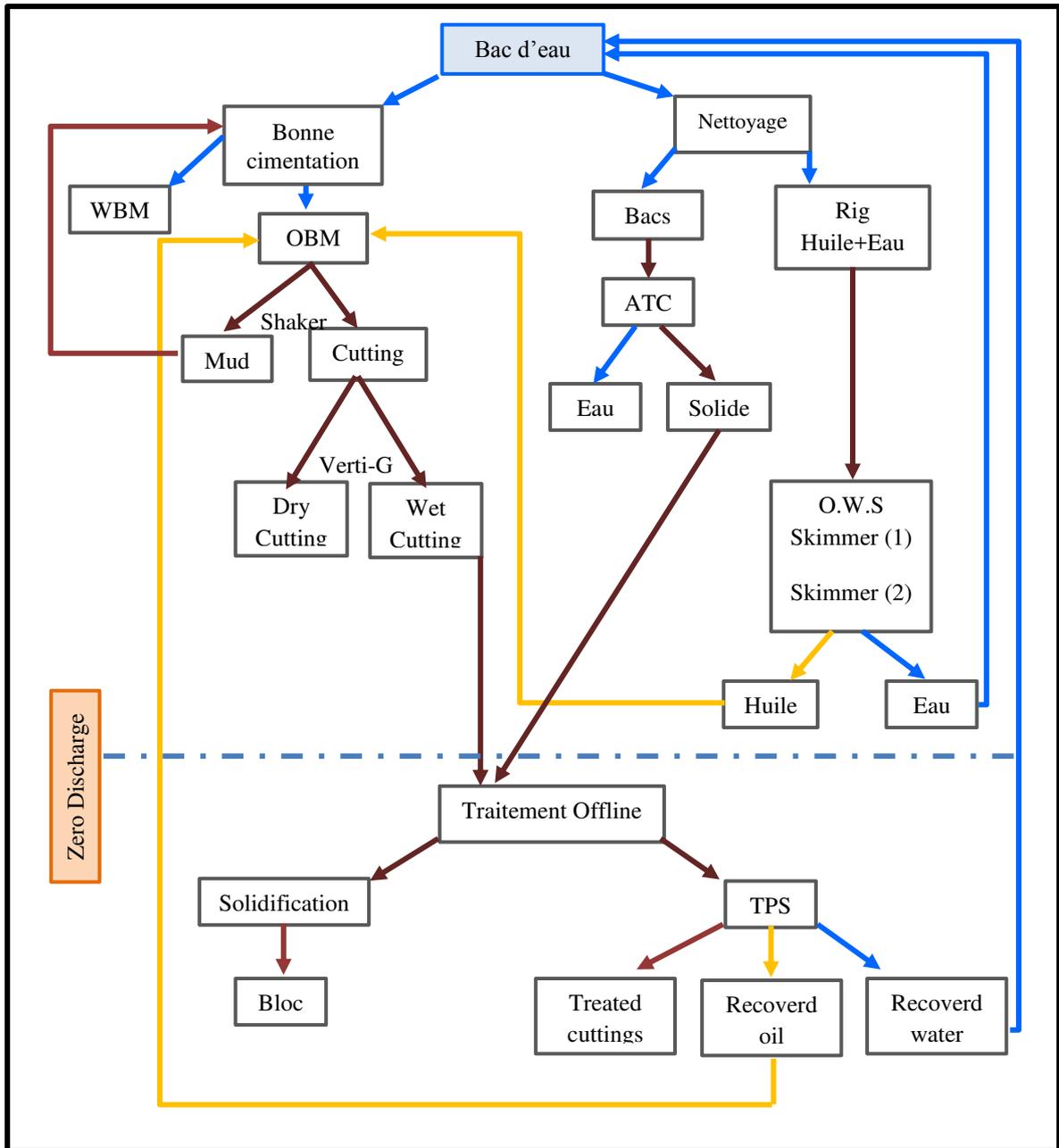


Figure IV.12. Schéma illustratif du « waste management ».

Conclusion

Le développement de l'industrie pétrolière a engendré divers problèmes environnementaux contribuant à la dégradation des écosystèmes naturels, à savoir les nappes d'eaux souterraines, la faune et la flore. La protection de l'environnement est devenue, de toute évidence, un enjeu et même une nécessité planétaire.

Le « waste management » que SONATRACH a mis en place a permis de réduire l'impact environnement de son activité forage. Et dans une optique d'optimiser ce système, le projet « Zero Discharge » a été proposé et testé sur deux puits. Les résultats obtenus étaient satisfaisants. Ainsi 58 000 \$ d'économies sur les coûts, sans inclure le coût des travaux de génie civil, de réduction du volume d'eau et de la sécurité requise, ont été réalisés.

Conclusion générale

En premier lieu, nous nous sommes intéressés à la caractérisation des eaux de gisement du champ de Hassi Messaoud.

Hassi Messaoud est une localité de la wilaya d'Ouargla située à la porte du grand Sud Algérien. Cette région connue pour ses importants gisements d'huile et de gaz, se situe dans la province dite triasique. Cette province abrite le complexe hydraulique Algéro-Lybien. Les formations du bassin auquel nous nous sommes intéressés reviennent à l'ère Paléozoïque et sont d'âge cambro-ordovicien-silurien.

L'huile du champ de Hassi Messaoud est contenue dans des pièges structuraux et stratigraphiques, autrement dit pièges mixtes. L'eau se présente autour de ces pièges, en forme d'anneau ou de demi-anneau. L'eau occupe la place de l'huile en la poussant au fur et à mesure de son pompage, elle facilite dès lors son extraction.

Les eaux souterraines du bassin Cambro-ordovicien de Hassi Messaoud présentent d'importantes variations de leur minéralisation. A travers les 15 analyses effectuées dans différents puits et à l'aide de diverses techniques de caractérisation, deux types d'eau ont pu être distingués :

Sur 15 analyses, 14 répondent à des eaux connées, qui correspondent à des eaux emprisonnées dans les sédiments au début de leur dépôt et qui ont évolué, au contact de ces derniers, vers des eaux qui se caractérisent par une salinité élevée ; ainsi la saturation en chlorure de sodium est pratiquement atteinte tandis que la dissolution du calcium est continue, entraînant une forte diminution des sulfates.

L'autre type d'eau révélé par l'analyse restante est une eau météorique caractérisée par une salinité élevée mais un rapport rCl/rNa faible. Ces eaux sont en fait une eau connée mélangée à des eaux de lessivage de sel.

Nous nous sommes également penchés sur la question du faciès chimique caractérisant ces eaux de gisement. En comparant la composition chimique des différents échantillons analysés et on se basant sur le diagramme de Piper, deux types de faciès apparaissent clairement. Un faciès dominant représenté par 90% des échantillons qui est un faciès chloruré sodique dont 5% est hyper chloruré sodique. Le second faciès chimique est chloruré calcique.

La seconde partie porte sur notre intérêt envers l'environnement et la protection de la ressource hydraulique en particulier. Ainsi, afin de maîtriser sa consommation de ressources naturelles et d'énergie, de réduire au minimum ses émissions des gaz à effet de serre et de gérer sa production de déchets, SONATRACH veille à appliquer les meilleures pratiques de l'industrie tout au long de ses opérations, par la mise en œuvre des mesures adéquates de suppression, de réduction et/ou de compensation de ses impacts négatifs, en étroite concertation avec les autorités et les populations concernées.

Le système « waste management » fait partie des mesures prises par la division Forage de la société SONATRACH pour minimiser l'impact des rejets de forage sur l'environnement.

L'étude que nous avons réalisée a permis d'analyser les différentes données relatives au système « waste management » et son projet « Zero Discharge ». L'interprétation des résultats montre que les techniques utilisées pour la gestion des rejets de forage sont efficace pour la réduction du pourcentage d'huile des déblais traités. En outre ce système permet de récupérer un volume non négligeable de boue et de recycler l'eau utilisée lors du forage.

Cette étude nous amène à des questionnements relatifs à l'exploitation de ces eaux de gisement. La température et salinité élevées de ces eaux permettront-elles leur utilisation une fois extraite ? Son extraction et traitement seront-ils rentable ? Ceci ouvre le champ à une éventuelle étude dans le but d'utiliser cette ressource importante qui demeure au jour d'aujourd'hui inexploitée.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] : SONATRACH–Division forage. *Données HSE*. Hassi Messaoud.
- [2] : SONATRACH. *Politique HSE*. Disponible sur : « <https://sonatrach.com/politique-hse> » (consulté le 15 mars 2019).
- [3] : SONATRACH. Nos engagements. Disponible sur : « <https://sonatrach.com/nos-engagements> » (consulté le 15 mars 2019).
- [4] : MOHAMMEDI et CHELLALI (2009) et LEKHOUA et REKABI (2012). *Etude pétrophysique et diagraphique du Réservoir R1 (Cambrien) de la zone 17 – Champ de Hassi Messaoud*.
- [5] : SONATRACH. *Données Département géologie – Hassi Messaoud*.
- [6] : BERTRAND et R.CABY 1978, Soc. Géol. Fr., *Anomalies gravimétriques et collision continentale au Précambrien*, A. Moussine-Pouchkine (1978), pp. 863-876
- [7] : DJIMTEMADJI Charles et BENAICHA Hani et Morsli Hamza. Mémoire de Fin d'Etudes. Université de Boumerdès 2008.
- [8] : MASSA et LEJAL– NICOL. *Lower and middle devonian miospore-based stratigraphy in Libya and its relation to the megaflores and faunas, Tripolitania* (Daber, 1971).
- [9] : B.BENACER. S.BOUGHIOUT. E.MAZOUZ. *Caractérisation géologique de la province triasique du sud-est algérien et son intérêt économique*.
- [10] : M. ATTAR et M. HAMMAT. *Le Potentiel en Hydrocarbures de L'Algérie Contribution de SONATRACH Division Exploration*. SCHLUMBERGER WEC SONATRACH (2007).
- [11] : FISCHER R.S et KREITLER C.W. (1987). *Geochemistry and hydrodynamics of deep-basin brines, Palo Duro Basin, Texas, U.S.A*. Applied Geochemistry, 2 :459-478.
- [12] : La province triasique. Consulté [<http://www.alnaft.gov.dz/index.php/le-développement-des-hydrocarbures-en-chiffres/géologie-de-l-algérie>]. (consulté le 24 mai 2019)
- [13] : Alain Perrodon. Masson, 1980 - Technology & Engineering - *Géodynamique pétrolière : genèse et répartition des gisements d'hydrocarbures* · Alain Perrodon Snippet view - 1985.
- [14] : BOUDJEMA Arezki, *Évolution structurale du bassin pétrolier "triasique" du Sahara Nord oriental -Algérie-*, Thèse de doctorat en Terre, Océan, Espace, 1987. Paris 11.

- [15] : KITANO, Y. (1975)- *Geochemistry of water*. Dowden, Hutchinson et Ross, Inc. Halsted Press, 455 pp.
- [16] : RUBEY, W.W. (1951) – *Geologic history of seawater. An attempt to state the problem*. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 62 : 1111-1148.
- [17] : WHITE, D.E. (1965)- *Saline waters of sedimentary rock*. In : A. Young et J.E. GALLEY (Eds), *Fluids in Subsurface Environments*. Am. Ass. Petrol. Geol. : 343-366.
- [18] : CARPENTER A.B, TROUT M.L. et PICKETT (1974). *Preliminary report on the origin and chemical evolution of lead and zinc-rich brines in central Mississippi*. *Econ. Geol.*, 69 : 1879-1882.
- [19] : MASHADANI A. AL & CAUSTOU H.. *Les eaux des champs pétroliers d'Irak*. Prod elf-aquitaine ; Pau novembre 1985-ISSN : 0396-2687. Code BCREDP.
- [20] : MAKHLOUFI N. et AMARA F. *Etude de la possibilité d'améliorer la santé et la sécurité liée à l'activité de forage*. Mémoire de fin d'étude, promotion 2010.
- [21] : *Etude d'impact environnemental et social des activités de forage de l'AL-2 Gassi Chergui, Algérie*
- [22] : CHERIFI Mohamed. *Drilling waste management for environmental protection in Hassi Messaoud field*.
- [23] : BOUDOUAYA Fatima Zohra. *Evaluation de la performance du projet gestion intégrée des rejets de forage : « Système Waste Management »*. Thèse professionnelle, 2013.
- [24] : MI SWACO ALGERIA. *Rapport « Zero Discharge »*. Département HSE