

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA



Faculté des hydrocarbures, des énergies renouvelables, des
sciences de la terre et l'univers
Département de forage et mécanique des chantiers pétroliers

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

Option: Forage

Présenté Par:

LABIDI Abdelhalim, SAADI Mohamed Akram, RAHALI Abdesselem

-THEME-

L'impact de l'industrie pétrolière sur la qualité des eaux souterraines dans le champ de Hassi Messaoud

Soutenu le: 15 / 06 / 2019

Devant le jury:

Président:	GHARBI Abderazak	M.A.A	Univ. Ouargla
Rapporteur:	MECIBAH Ilyes	M.C.B	Univ. Ouargla
Examineur:	MAMANOU Abdelatif	M.C.B	Univ. Ouargla



Remerciement

C'est avec humilité et gratitude qu'on reconnaît ce qu'on doit :

On commence par remercier et rendre grâce à Dieu, notre créateur pour nous avoir donné le courage, la volonté, la patience et la force pour terminer ce travail.

*Tous nos remerciements vont en particulier à notre encadreur **Dr.MECIBAH Ihyes** pour avoir accepté de nous encadrer pour notre projet de fin d'études, ainsi que pour son soutien, ses remarques pertinentes et son encouragement, et pour les efforts qu'il n'a cessé de ménager pour nous aider et nous orienter, jusqu'à la finalisation de ce modeste travail.*

*Nous tenons à remercier **M.BENHMIDA Slimane**, un responsable de l'ANRH Ouargla, pour nous avoir accueillis dans leurs service et pour leurs précieux conseils, ainsi que toute l'aide qu'ils nous ont apporté sur le plan scientifique.*

Nous remercions aussi les membres de jury qui nous ont fait l'honneur d'accepter le jugement de notre travail.

Nous remercions nos parents, et toutes personnes qui nous ont aidés de près ou de loin à la finalisation de ce modeste travail, nous tenons à leur exprimer notre vive gratitude et respects.

En fin nos remerciements à tous les enseignants qui ont contribués à notre formation à l'université de KASDI Merbah Ouargla.




Merci

 **Dédicace** 


Je dédie ce modeste travail


 *A mes très chers parents*

 *A mes frères Nabil, Noureddine, Aiman et Abdelaziz, que
je les souhaite une belle vie plein de réussite et de bonheur*

 *A mes chères sœurs*

 *Ainsi une spéciale dédicace à ma chère fiancée*

 *A tous mes professeurs qui ont toujours été présents et qui
n'ont ménagé aucun effort pour me bénéficier avec leur aide*

 *Comme je le dédie également à tous mes amis et mes collègues
et à tous qui est proche de mon cœur*

ABD ESSELEM 

 **Dédicace** 

Je dédie ce modeste travail:

 ***A ma très chère Mère***

*Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent
le bon chemin dans leur vie et leurs études.*

 ***A mon très cher Père***


*Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour notre
éducation et notre formation.*


 ***A mes chers frères Mohamed Tahar, Mourad et Abd Essalam***
Je leur souhaite une belle vie de réussite et de bonheur.

 ***A mes chères sœurs***

Avec mon souhait d'une vie pleine de joie et de succès.

 ***A tous les membres de ma famille.***

 ***À ceux qui m'ont toujours encouragé à réussir mes études et
qui m'ont soutenu dans tous les moments de ma vie.***

 ***A tous mes amis qui ont toujours été présents et qui n'ont
ménagé aucun effort pour me bénéficier avec leur aide et leurs
suggestions.***

Abdelhalim 

 **Dédicace** 

Je dédie ce modeste travail

 ***A ma très chère Mère***

*Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent
le bon chemin dans leur vie et leurs études.*

 ***A mon très cher Père***

*Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon
éducation et ma formation.*

 *A ceux qui m'ont toujours encouragé pour que je réussisse dans
mes études*


*A ceux qui m'ont soutenu dans les moments les plus difficiles de ma
vie*

A ceux que j'aime et je respecte infiniment

Le jour est venu pour leur dire Merci...

 *Ainsi qu'à mon cher frère Anis, Et mes chères sœurs Amina et
Dikra*

A toute la famille

 *A tous mes amis qui ont toujours été présents et qui n'ont ménagé
aucun effort pour me bénéficier avec leur aide et leurs suggestio*

Akram 

Liste des figures

Fig.1.1. Situation géographique du champ de HMD	04
Fig.1.2. Coupe géostrutturale transversale régionale du Sahara (WEC, 2007)	07
Fig.1.3. Coupe stratigraphique du champ de Hassi Messaoud	14
Fig.1.4. Histogramme de répartition mensuelle des pluies de Hassi Messaoud(2002/2014)	15
Fig.1.5. Histogramme des températures moyennes mensuelles de Hassi Messaoud	16
Fig.1.6. Histogramme moyenne mensuelles de Hassi Messaoud (2002/2014)	16
Fig.1.7. Diagramme d'Emberger de Hassi Messaoud (2002/2014)	17
Fig.1.8. Histogramme d'évaporation mensuelle de Hassi Messaoud (2000/2012)	18
Fig.2.1. Carte d'extension de Système Aquifère du Sahara Septentrional	23
Fig.2.2. Carte géologique du Sahara (OSS 2003)	25
Fig.2.3. Coupe hydrogéologique des aquifères du Sahara septentrionale (UNESCO 1972)	29
Fig.2.4. Carte piézométrique de référence du Complexe Terminal	32
Fig.2.5. Carte piézométrique du Complexes Terminal du champ de Hassi Messaoud	34
Fig.2.6. Carte piézométrique de référence du Continental Intercalaire	36
Fig.3.1. dureté de l'eau idéale	43
Fig.3.2. concentration des cations des puits analysés dans la zone de HMD	49
Fig.3.3. concentration des anions des puits analysés dans la zone de HMD	50
Fig.3.4. Diagramme de Piper des puits analysés dans la zone de HMD	51
Fig.3.5. Diagramme de Piper des résultats des faciès chimiques des puits analysés dans la zone de HMD	52
Fig.3.6. Diagramme de Schoeller-Berkaloff des résultats des faciès chimiques des puits analysés dans la zone de HMD	53
Fig.4.1. Les pollutions par l'urbanisme	55
Fig.4.2. Les pollutions produites par l'industrie	56
Fig.4.3. Concentration des métaux lourds des bourbiers de forage dans le champ de HMD (Sonatrach 2015)	62
Fig.4.4. La teneur des métaux lourds retrouvées lors de la campagne d'analyses	66

Liste des tableaux

Tableau.1.1. Précipitations moyenne mensuelles de Hassi Messaoud (2002/2014)	15
Tableau.1.2. Température moyenne mensuelle de Hassi Messaoud (2002/2014)	16
Tableau.1.3. Insolation moyenne mensuelles de Hassi Messaoud (2002/2014)	16
Tableau.1.4. Evaporation moyenne mensuelle de Hassi Messaoud, période:(2000-2012)	18
Tableau.1.5. Bilan hydrologique de Thorntwaite de Hassi Messaoud (2002/2014)	19
Tableau.3.1. Le pH dans l'eau de quelques puits dans le champ de HMD	40
Tableau.3.2. Minéralisation de l'eau de quelques puits dans le champ de HMD	41
Tableau.3.3. Résidu Sec de l'eau de quelques puits dans le champ de HMD	42
Tableau.3.4. dureté de l'eau de quelques puits dans le champ de HMD	44
Tableau.3.5. Normes algériennes pour l'eau minérale naturelle et l'eau de source	46
Tableau.3.6. Les puits analysés dans la zone de HMD	47
Tableau.3.7. Les résultats des cations des puits analysés dans la zone de HMD	48
Tableau.3.8. Les résultats des anions des puits analysés dans la zone de HMD	50
Tableau.3.9. Les faciès chimiques des puits analysés dans la zone de HMD	52
Tableau.4.1. Types, caractéristiques, compositions et domaines d'utilisation des boues à l'eau	57
Tableau.4.2. Les principales caractéristiques des huiles couramment utilisées	59
Tableau.4.3. Types, caractéristiques, compositions et domaines d'utilisation des boues à l'huile	59
Tableau.4.4. Les produits fluidifiant	60
Tableau.4.5. Les résultats d'analyses des métaux lourds des bourbiers de forage dans le champ de HMD (Sonatrach 2015 - 2018)	62
Tableau.4.6. Synthèse sur les éléments traces retrouvées lors de la campagne d'analyses	66

Liste des abréviations

SASS: Système Aquifère du Sahara Septentrional
ANRH: Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
HMD: Hassi Messaoud
AEP: Alimentation en Eau Potable
API: *American Petroleum Institute*
PNB: Produit National Brut
OMS: Organisation Mondiale de la Santé
TAG: Trias Argilo Gréseux
ETR: Evapotranspiration Réelle
ETP: Evapotranspiration Potentielle
RFU: Réserve Facilement Utilisable
PNB: produit National Brut
OSS: *Observatoire du Sahara et du Sahel*
MES: Matières En Suspension
HAP: Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
HAM: Hydrocarbures Aromatiques Monocycliques
DBO: Demande Biologique en Oxygène
DCO: Demande Chimique en Oxygène
WBM: Water Base Mud (boue à base d'eau)
OBM: Oil Base Mud (boue à base d'huile)
FCL: Lignosulfonate de Fer et de Chrome
LC: Ligites Chromées
CI: Continental Intercalaire
CT: Complexe Terminal
pH: Potential d'Hydrogène
EC: Conductivité Electrique
Eh: Potentiel redox (disponibilité en électrons)
Da: Déficit Agricole
EX: Excédent ou water Surplus
TH: Titre Hydrométrique (ou Dureté de l'eau)
OD: Oxygène Dissous
P: Précipitations
I: Infiltration
R: Ruissellement

SOMMAIRE

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale 01

Chapitre 01 : Etude géologique du champ de HASSI Messaoud

1. Situation géographique	04
2. Cadre géomorphologique	04
3. Représentation du gisement de Hassi Messaoud	05
4. Contexte géologique	06
4.1. Cadre géologique régionale	06
4.2. Tectonique du Hassi Messaoud	07
4.3. Stratigraphie du Hassi Messaoud	08
5. Contexte climatologique	15
5.1. Précipitations	15
5.2. Température	15
5.3. Insolation	16
5.4. Diagramme d'Emberger	17
5.5. Evaporation	17
5.6. Le Bilan hydrique de Hassi Messaoud	18
6. Contexte socio-économique	19
7. Conclusion	21

Chapitre 02 : Etude Hydrogéologique du champ de HASSI Messaoud

1. Présentation de système aquifère du Sahara Septentrional	23
1.1. Introduction	23
1.2. Description des principales formations du Sahara septentrional	23
1.2.1. Le Continental intercalaire	24
1.2.2. Le Complexe terminal	27
2. Présentation des aquifères de la région de Hassi Messaoud	29

2.1. Aquifère du Complexe Terminal (CT)	29
2.1.1. Lithologie	30
2.1.2. Alimentation de la nappe du Complexe Terminal	30
2.1.3. Ecoulement et exutoire	31
2.1.4. Carte piézométrique de référence de complexe Terminal	31
2.1.5. Carte piézométrique de la nappe de Mio-pliocène de Hassi Messaoud	33
2.2. Aquifère du Continental Intercalaire (CI)	35
3. Conclusion	37

Chapitre 03 : Etude hydrochimiques des eaux souterraines

1. Introduction	39
2. Etude des paramètres physico-chimiques	39
2.1. Les paramètres physiques	39
2.1.1. Température	39
2.1.2. Le potentiel d'hydrogène (pH)	39
2.1.3. Conductivité électrique (EC)	40
2.1.4. Potentiel redox (Eh)	40
2.1.5. Matières en suspension (MES)	41
2.1.6. Minéralisation	41
2.1.6. Le résidu sec	42
2.2. Les paramètres chimiques	42
2.2.1. Hydrocarbures	42
2.2.2. Eléments en solution	43
2.2.3. Dureté de l'eau (ou titre hydrométrique)	43
2.2.4. Oxygène dissous (OD) et % de saturation en oxygène	44
2.2.5. Métaux lourds	44
3. Les normes Algérienne d'eau potable	45
4. Présentation et discussion des résultats obtenues de la zone de HMD	47
4.1. Les résultats	47
4.1.1. Etude des cations	47
4.1.2. Etude des anions	49
4.1.3. Faciès chimiques	51
5. Conclusion	53

Chapitre 04 : La pollution des eaux souterraines

1. Généralités sur la pollution des eaux	55
1.1. La pollution ponctuelle	55
1.1.1. La pollution urbaine	55
1.1.2. La Pollution industrielle	56
1.2. La pollution diffuse	56
1.2.1. La pollution agricole	56
1.2.2. La pollution atmosphérique	57
1.3. La pollution des eaux souterraines par l'industrie pétrolière	57
1.3.1. Boue à l'eau	57

1.3.2. La boue à base d'huile (OBM)	58
1.3.3. Principaux produits pour les fluides de forage	60
1.3.4. Le devenir des rejets des fluides de forage	61
1.3.5. La contamination du sol et sous sol	63
1.3.6. Opération de production sur puits	63
2. Matériels et méthodes	63
3. Résultats et discussions	65
4. Conclusion	67
Conclusion générale et recommandations	69
Annexe	
Bibliographie	



Introduction

Introduction générale

L'eau constitue un élément essentiel dans la vie et l'activité humaine. C'est une composante majeure des mondes minéral et organique. Elle est aussi un élément universel, condition de vie, de développement durable et constitue un facteur de cohésion et de stabilité sociale. Actuellement, l'eau est à l'origine d'importants enjeux stratégiques et risque de devenir dans un proche avenir une source de conflits et de guerre.

L'eau souterraine est également l'une de nos plus importantes sources d'eau pour l'alimentation en eau potable. Malheureusement, les eaux souterraines sont sensibles aux polluants. La contamination des eaux souterraines se produit lorsque des produits fabriqués par l'homme, tels que l'essence, le pétrole, les sels de voirie et les produits chimiques, pénètrent dans les eaux souterraines et la rendent dangereuse et impropre à la consommation humaine.

Depuis plus d'une cinquantaine d'années, l'Algérie a commencé à exploiter cette réserve d'eau souterraine : les prélèvements sont passés de 600 Hm³/an en 1970 à 2500 Hm³/an entre 1995 et 2000. Le volume d'eau exploité pour l'activité pétrolière est estimé à 80.3 Hm³ en 2004, dont 63 Hm³ proviennent du Continental Intercalaire, et 17.3 Hm³ du Complexe Terminal.

La région de Hassi Massoud a récemment réalisé une augmentation des activités pétrolières qui ont évolué et ont atteint un stade de développement important dans les domaines de la recherche et la production d'hydrocarbures, cette développement à augmenter et à générer la pollution des ressources des eaux souterraines qui se trouve dans cette région, ce qui peut être nuisible à la nature et la qualité de vie.

L'objectif de notre étude est de déterminer l'impact de ce développement sur la qualité des eaux souterraines à cette région. Pour atteindre notre objectif, nous avons développé les chapitres suivants :

Le premier chapitre- Contexte général : est consacré à la description du champ de Hassi Messaoud (situation géographique, étude socio-économique, climatique et géologique...).

Le deuxième chapitre- Cadre hydrogéologique: une place plus importante est dévolue cependant aux caractéristiques des terrains constitutifs et une étude piézométrique des aquifères de Hassi Messaoud.

Le troisième chapitre- Etude hydrochimique : comprend pour sa part un commentaire succinct des principaux paramètres physico-chimiques de différents aquifères par apport à la norme algérienne et la norme de l’OMS, ainsi que son aptitude à l’irrigation.

Le quatrième chapitre– Pollution minérale: est la principale partie dans ce travail qui est surtout consacrée pour déterminer les sources de pollution des eaux souterraines dans le champ de Hassi Messaoud. Afin d’arriver à localiser les régions de fortes concentrations des polluants naturels et/ou anthropiques et l'origine de la pollution.

Nous terminons le travail par une conclusion générale.

CHAPITRE 01

Etude géologique du champ de Hassi Messaoud

1. Situation géographique

Le champ de Hassi Messaoud occupe la partie centrale de la province triasique, et se situe à environ 850 km au Sud-Est d'Alger, à 280 km au Sud-Est du gisement de gaz-condensat de Hassi R'mel et à 350 km à l'Ouest de la frontière Tunisienne. Ce champ s'étend du $5^{\circ} 40'$ au $6^{\circ} 20'$ de longitude Est et du $31^{\circ} 30'$ au $32^{\circ} 00'$ de latitude Nord. Par sa superficie et ses réserves, il est le plus grand gisement de pétrole dans le monde qui s'étend sur près de 2200 km² de superficie. Le réservoir se situe dans le Cambro-ordovicien entre 3300 et 3500m de profondeur.[8]

2. Cadre géomorphologique

Sur le plan géomorphologique il est limité:

- Au Nord par la structure Djamaa-Touggourt.
- Au Sud ce prolonge le môle d'Amguid El Biod.
- A l'Est par les hauts fonds de Dahar, Rhoude El Baguel et la dépression de Berkine.
- A l'Ouest par la dépression d'Oued M'ya.[14]

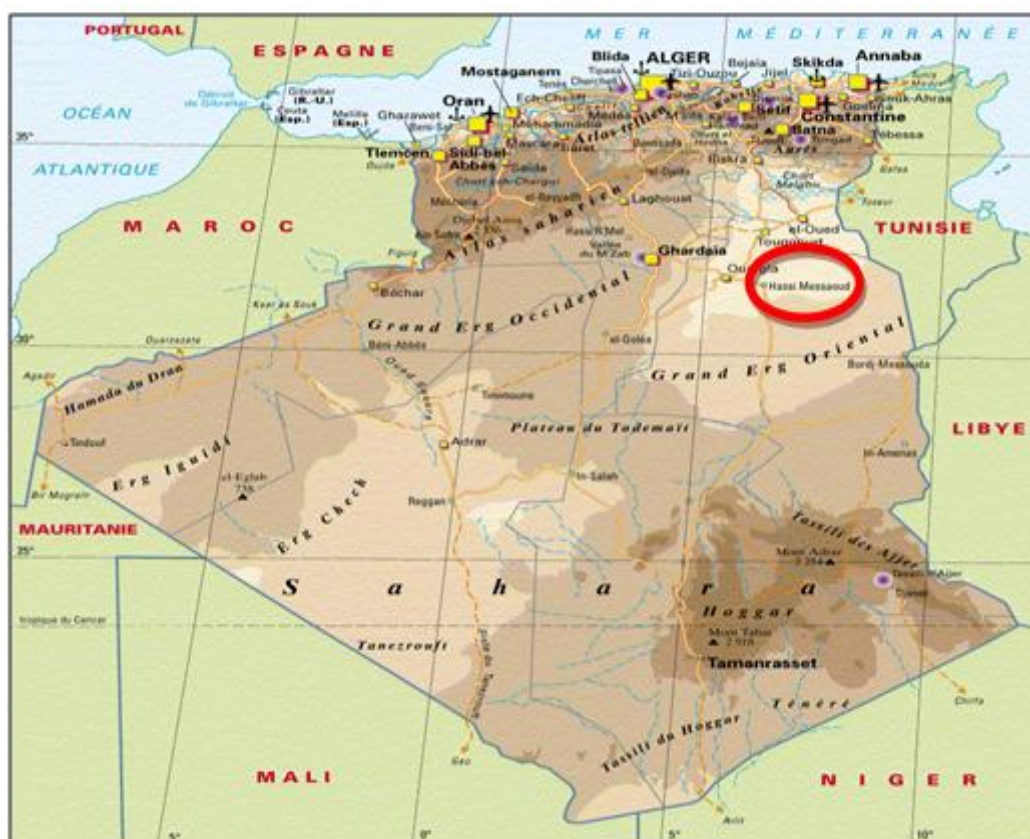


Fig.1.1. Situation géographique du champ de HMD (WEC 2007).

La région de Hassi Messaoud appartient au Sahara algérien oriental, cette partie est occupée par le Grand Erg Oriental qui est une vaste étendue de dunes de sables de couleur beige clair, dépassant 200 m d'altitude. Ces grandes accumulations sableuses occupent presque la moitié du territoire de la région.[3]

La région de Hassi Messaoud fait partie du sous-bassin saharien, sur le plan géomorphologique on distingue :

- La Hamada Mio-Pliocène : C'est une formation continentale détritique, qui forme des plateaux dont l'altitude varie de 150 à 180 m.
- Les formations sableuses : correspondant aux cordons d'erg et des dunes.
- Les étendus : correspondant aux anciens lits d'Oueds.

Les deux grands oueds qui traversent la région de Hassi Messaoud sont l'oued Mya et l'oued Igharghar. Du fait de l'aridité du climat, le réseau hydrographique saharien s'est dégradé au fil du temps depuis le Quaternaire récent.

Dans notre secteur d'étude, il a complètement disparu. L'oued Mya issu du plateau du Tademaït qui était des plus grands fleuves du Sahara au Quaternaire, il rejoignait l'oued Igharghar au Nord de la région pour former l'Oued Righ, dont le lit asséché est comblé par des dépôts éoliens.

L'altitude moyenne de la région est de 170 m pour les plateaux de la Hamada, 140 à 150 m pour les fonds des oueds, avec de rares cuvettes pouvant atteindre 130 m. Dans l'ensemble on relève que les altitudes décroissent vers l'Est.[3]

3. Représentation du gisement de Hassi Messaoud

Le réservoir de Hassi Messaoud se situe dans le Cambrio-Ordovicien vers **3300 m**, il est de forme anticlinale. La roche couverte est constituée par le complexe argilo-gréseux et salifère du trias. La structure développée suivant une direction générale nord et sud est. Ce sont des sédiments cambrien saturés en huile, constitués essentiellement de grès hétérogènes fin à très grossier argenté. Le réservoir est constitué de **4 zones** superposées ayant des différences physique et pétrographiques fondamentales.[8]

❖ Réservoir R3

Elle est constituée par un grès moyen, grossier micro-conglomératique ciment argileux illitique (**25 à 35%**). La granulométrie moyenne comprenant des galets de taille de 1cm. On note **2 %** de silice , porosité **P=11%**, perméabilité **K< 0,1m D**.

❖ Réservoir R2

Le minéral argileux de ciment prédominant est l'illite. Il présente le moins de variation d'épaisseur, autour de **80m**. Le R2 est considéré comme une zone de transition entre le Ra siliceux et le R3 argileux **P= 10%** , **K= 205 mD**.

❖ Réservoir Ra

Elle est le principale réservoir productif sur l'ensemble de champ. Elle est caractérisée par des grès anisométrique moyens à microconglomératiques.

Le ciment est composé de kaolinites et d'illite en faible quantité et de micas. La silice secondaire varie d'un puits à l'autre et d'un secteur à un autre. son épaisseur varie, suivant l'érosion, de **90** à **156m**. Ses caractéristiques moyennes sont : **K=15 mD** ; **P=8%** ; les puits fissurés dépassent quelques Darcy.

❖ Réservoir Ri

Elle est caractérisée par un grès quartzites isométrique à passés, et présence de siltes, et présence de tigillites et avec aussi la présence de fissures et brèche avec un ciment illitique. Ses caractéristique pétro-physique sont : **K= 1mD** ; **P= 7%** .

4. Contexte géologique

4.1. Cadre géologique régionale

En Sahara algérien, les travaux de G. Busson (1963, 1967 et 1970) et de J. Fabre (1976) constituent les références de base pour une bonne compréhension de la géologie du Sahara algérien. Toutefois, un complément d'information est recherché dans les différentes cartes géologiques qu'ont couvrant cette région (SASS 2002). Des études récentes sont réalisés par SONATRACH et ENAGEO, ces auteurs ont travaillé et publiés des articles et des ouvrages sur la géologie du bassin sédimentaire du Sahara septentrional, surtout dans le cadre de la géologie pétrolière.[3]

Notre région d'étude fait partie de la plate forme saharienne constituée d'un bouclier précambrien, n'émergeant des sédiments qu'ils surmontent que dans le Sahara Central (Massif du Hoggar) et le Sahara Occidental (Massif des Eglab) (UNESCO, 1972).

À la base de l'édifice sédimentaire il y a des terrains paléozoïques marins contenant des niveaux aquifères salés et des gisements d'hydrocarbure au-dessus, et en discordance on rencontre des formations d'âge Secondaire et Tertiaire qui peut dépasser 3000 m d'épaisseur dans le centre du bassin (régions d'Ouargla, Touggourt, El Oued ainsi que sur la bordure des Aurès Ziban). Le Quaternaire représenté essentiellement par des sables dunaires, atteint parfois plusieurs dizaines de mètres

d'épaisseur. L'existence de sable éoliens dans les dunes provient essentiellement de l'érosion du Hoggar.

4.2. Tectonique du Hassi Messaoud

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 sont perpendiculaires de direction Nord-Ouest – Sud-Est, ceci fait ressortir le caractère tectonique en Horst et Graben.

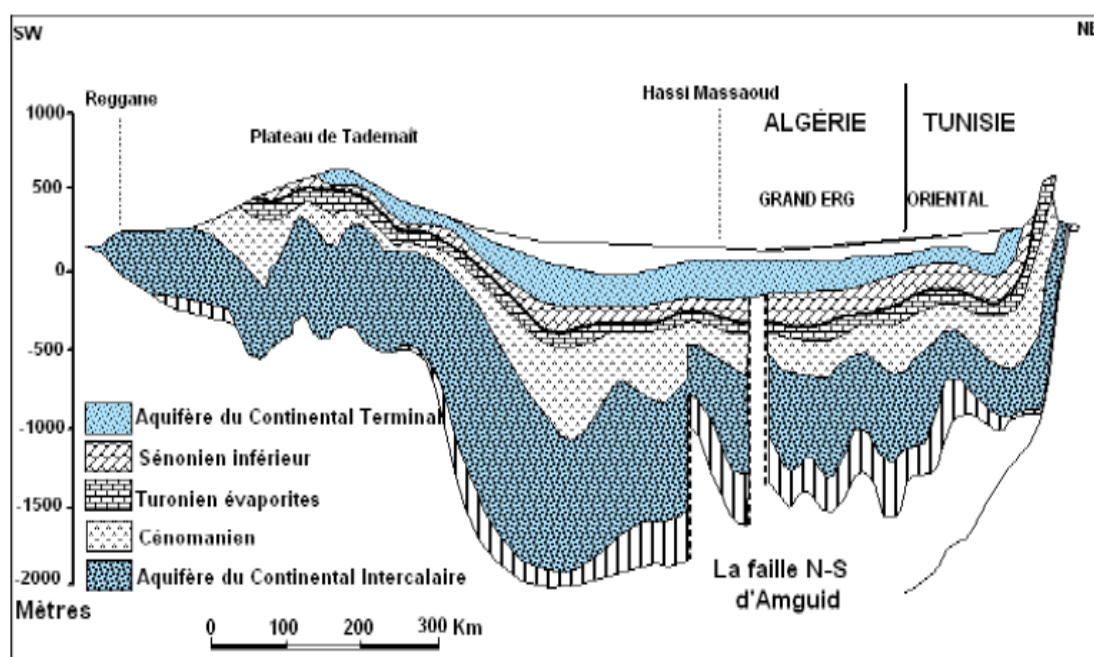


Fig.1.2. Coupe géostructurale transversale régionale du Sahara (WEC, 2007).

- Les cassures sans rejets qui ont eu un grand effet sur la fracturation du réservoir. Le dôme de Hassi Messaoud est le résultat d'une histoire paléotectonique assez compliquée, c'est le prolongement de la dorsale d'Amguid El Biod qui a plus de 800 km de long. Sa structure fait partie d'un ensemble de structures formant la province triasique Nord orientale.[8]

Cette structuration montre une fermeture de 300 m entre les bordures et la topographie du gisement, elle est compressive à raccourcissement Nord-Sud, elle a subi un faible réajustement épirogénique. Cette dernière à un allongement général Nord-Est – Sud-Ouest.[3]

4.3. Stratigraphie du Hassi Messaoud

La série stratigraphique du champ de Hassi Messaoud est représentée de haut en bas par les formations suivantes (e = épaisseur moyenne) :

1. CÉNOZOÏQUE

1.1. MIOPLIOCENE (e = 240 m)

Présent sur toute la superficie du champ, il est constitué par:

- **Sable blanc** avec fines passées d'argile brun rouge, tendre à pâteuse,
- **Calcaire blanc, crayeux**, tendre avec passées d'argile versicolore,
- **Marne gris brun**, fortement sableuse.

Les terrains, formant un recouvrement continental essentiellement sableux, se sont mis en place par l'intermédiaire de chenaux (grande disparité de leur granulométrie horizontale et verticale). Ils sont non consolidés et leur porosité est très importante ce qui entraîne des pertes partielles ou totales et des risques d'éboulement lors du forage. Ils reposent à leur base sur l'Éocène par une surface d'abrasion.

1.2 ÉOCENE (e = 120m)

Constitué de :

- **argile brune rouge**, fortement sableuse,
- **marne et fines passées d'anhydrite blanche**,
- **calcaire dolomitique crayeux**, avec parfois des rognons de silex.

Ces deux couches renferment un complexe aquifère à la limite de sa potabilité.

2. MÉSOZOÏQUE

2.1 CRETACE

a. Sénonien

Constitué de deux niveaux :

➤ **Carbonaté** (e = 107 m)

Il est constitué de calcaires blancs à blanc beige, microcristallins et durs, de dolomies grises à gris clair, parfois cristallines et dures et d'anhydrites blanches, pulvérulentes et parfois massives.

➤ **Lagunaire**

Niveau représenté par deux unités à faciès lagunaire:

La première **Anhydritique**, d'une épaisseur moyenne de 219 m, est composée d'anhydrite blanche, cristalline, de dolomie moyennement dure, de marne et de calcaire argilo dolomitique.

La deuxième **Salifère**, d'une épaisseur moyenne de 140 m, est constituée de sel massif blanc transparents à translucides à traces d'anhydrite.

b. Turonien (e = 70 à 120 m)

Ce sont des formations carbonatées, constituées de calcaire, craie, dolomie et quelques niveaux argileux.

Il contient un aquifère représenté par des eaux à odeur sulfurée, utilisé pour l'injection. Ces eaux sont produites par pompage et utilisées pour le maintien de pression par injection d'eau. Leur salinité est de 210 g/l et leur densité est de 1,13.

c. Cénomanién (e = 145 m)

Constitué par des bancs d'anhydrites blanches, transparentes, microcristalline et dures, de marnes argileuses grises à gris verdâtre et carbonatées par endroits, de dolomies grises à gris brun, crypto cristallines et dures, puis d'un banc de calcaire blanc, tendre, microcristallin.

d. Albien (e = 350 m)

Il est représenté par des grès et sables fins avec intercalations d'argile silteuse.

Il renferme un aquifère d'eau douce utilisée pour l'injection et les besoins généraux.

e. Aptien (e = 25 m)

Représenté par des calcaires blancs à gris blanc, parfois beiges, microcristallins et durs et de dolomies blanches à beiges, cristallines et dures à moyennement dures. Les deux bancs encadrent un niveau argileux.

f. Barrémien (e = 280 m)

Représenté par des grès blancs à beiges, parfois gris blanc, fins à moyens, localement grossiers, friables et silico-argileux, de dolomies grises, cristallines et dures et d'argiles versicolores, silteuses, tendres à indurées et légèrement carbonatées.

g. Néocomien (e = 180 m)

Représenté par des argiles grises à gris vert, localement brun rouge, silteuses et légèrement dolomitiques et de grès blancs, translucides, friables, très fins à fins, sub-arrondis et silico-argileux.

2.2. JURASSIQUE

a. Malm (e = 225 m)

Constitué d'anhydrites blanches, beiges, pulvérulentes, rarement microcristalline et dures, d'argiles rouge brique à grises, tendres à indurées et silteuses, de calcaires gris blanc à gris, cristallins et moyennement durs, de dolomies grises à gris blanc,

microcristallines et dures.

Il contient un aquifère d'eau potable de salinité de 30 g/l.

b. Dogger

Représenté par deux niveaux :

➤ **Argileux**

Argiles brunes rouges, grises à gris-vert, silteuses et tendres à indurées et de calcaires blancs à gris blancs, tendres et crayeux. (e = 105 m).

➤ **Lagunaire**

Anhydrites blanches, pulvérulentes, massives et dures à moyennement dures, de calcaires gris à gris blanc, argileux et tendres à moyennement durs, d'argiles gris clair à gris foncé, parfois brun rouge, tendres et indurées, de silts blancs à gris clair, tendres et de marnes gris vert à grises, tendres, (e = 210 m).

c. Lias

D'une épaisseur de 300 m, il est représenté par cinq niveaux :

➤ **LD1**

Argiles gris clair à gris vert, parfois brun rouge, tendres, indurées et légèrement carbonatées, de calcaires dolomitiques gris à gris blanc, argileux, tendres à moyennement durs, de dolomies grises, parfois beiges, tendres à moyennement dures et d'anhydrites blanches, pulvérulentes et cristallines (e = 65 m).

➤ **LS1**

Sels blancs à rosâtres, transparents à translucides, massifs et durs, d'anhydrites massives, blanches, pulvérulentes, tendres à dures, d'argiles brun rouge, parfois grises, tendres et légèrement carbonatées et de calcaires dolomitiques gris beige, microcristallins et tendres (e = 90 m).

➤ **LD2**

Argiles brunes rouges, rarement grises, tendres et pâteuses et de dolomies grises, parfois beiges, tendres à moyennement dures renfermant des eaux chlorurées calciques (e = 55 m).

➤ **LS2**

Sels massifs blancs et rosâtres, transparents à translucides et d'argiles brun rouge, tendres, indurées et légèrement carbonatées (e = 60 m).

➤ **LD3**

Argiles gris clair, tendres à indurées et légèrement carbonatées et de calcaires dolomitiques gris à gris blanc, microcristallins, argileux et durs (e = 30m).

2.3. Trias

Représenté par quatre niveaux :

a. Salifère

Subdivisé en trois horizons :

➤ **TS1**

D'une épaisseur de 46m, ce niveau est représenté par des sels massifs, des passées d'anhydrite, et des intercalations d'argile dolomitique.

➤ **TS2**

Sels blancs, rosâtres, massifs et transparents, argiles grises à gris foncé ou brun rouge, silteuses, tendres à indurées et anhydrites blanches à gris beige, massives et pulvérulentes (e = 189 m).

➤ **TS3**

Sels blancs à rosâtres, transparents à translucides, massifs et argiles brune rouge, rarement grises, silteuses, pâteuses et indurées (e = 202 m).

Les horizons TS2 et TS3 sont le siège de manifestations d'argiles fluantes.

b. Argileux

Argiles plus ou moins silteuses, dolomitiques et anhydritiques avec des intercalations de bancs de sel au sommet (e = 113 m).

c. Gréseux

Grès gris clair à gris, rarement blancs, très fins à fins, friables et argileux, argiles brun rouge, rarement grises, silteuses, tendres à indurées et quelques traces de glauconie. Il se subdivise en plusieurs unités qui se différencient par leurs lithologies et leur réponses diagraphiques (e = 35 m).

d. Éruptif

Andésites blanches, vertes, localement altérées, multicolores et dures, grès gris blanc, isométriques, siliceux à silico-argileux et parfois quartziques ainsi que des argiles brun rouge à gris sombre, indurées et silteuses (0 < e < 92 m).

Les terrains du Trias argilo gréseux (TAG) sont le siège des zones à pertes plus ou moins virulentes selon la position où l'on se trouve sur le champ.

Le Trias repose en discordance directement sur le Cambrien au centre de la structure et sur l'Ordovicien au niveau des zones périphériques.

3. Paléozoïque

3.1. Ordovicien

Dans sa représentation la plus complète il est constitué de quatre termes :

a. Les quartzites d'Hamra

Se sont des quartzites localement grossières, présentant parfois des intercalations argileuses (e = 12 à 75 m).

b. Les grès d'El Atchane

Se sont des grès fin à ciment argileux, bitumineux (e = 25 m).

c. Les argiles d'El Gassi

Elle est constituée des argiles schisteuses, carbonatées, vertes et noires, glauconieuses ou carbonatées présentant une faune (graptolites) indiquant un milieu de dépôts marins. Cette formation est surtout rencontrée sur les zones périphériques du champ (e= 50 m).

d. Zone des Alternances :

C'est une zone d'argiles indurées, alternant avec des bancs quartzitiques isométriques et de grès moyens à fins (e = 20 m).

La série Ordovicienne n'est présente que sur la partie sub-méridionale de la structure, du fait de l'érosion. Au centre de la structure, zone la plus exposée à l'érosion, le Trias repose directement sur le Cambrien.

3.2 Le Cambrien

Essentiellement constitué de grès hétérogènes, fins à très grossiers, entrecoupés de passées de siltstones argilo micacés. On y distingue trois litho zones R1 (Ri+Ra), R2 et R3.

a. Litho zone Ri

Cette zone correspond au réservoir isométrique. Il a été recoupé essentiellement à la périphérie du champ, là où la série est complète ; ce sont des grès quartzites isométriques moyens à fins à ciment argileux, avec de nombreuses passées silteuses. Il repose sur le Ra supérieur par une surface d'abrasion. (e = 50 m)

b. Litho zone Ra

Elle représente le réservoir principal. Dans sa partie supérieure et moyenne (e = 20 à 60 m), il est formé de grès quartzites, anisométriques, moyens à grossiers, à ciment

silico-argileux (kaolinite) localement constitué de quartzites franches. Dans la partie inférieure s'intercalent, de manière irrégulière, des passées centimétriques de siltstones argileux. (e = 100 à 120 m)

c. Litho zone R2

Elle est constituée de grès quartzites et quartzites gréseuses, moyens à grossiers, anisométriques, avec parfois des niveaux micro conglomératiques, à ciment argileux assez abondant (illite). On note des intercalations millimétriques de silt. (e = 100 m)

d. Litho zone R3

Elle repose sur l'Infracambrien, et parfois directement sur le socle granitique, c'est une série de comblement d'une épaisseur moyenne de 300 m, elle se compose de grès grossiers à microconglomérats feldspathique, les grains sont mal classés, le ciment est de nature argileuse avec parfois des zones à grès ferrugineux, et des intercalations d'argiles silteuses. Le "R3" ne présente aucun intérêt pétrolier.

3.3. L'infracambrien

Unité lithologique la plus ancienne reconnue au Nord de la structure par le forage Omg47 à une profondeur de 4092 m. Il est composé de grès argileux de couleur rouge (e = 45 m).

4. Le Socle

Rencontré aux environs de la profondeur de 4000m, il est constitué essentiellement de granite porphyroïde de couleur rose à deux micas.

Ere/Sy	ETAGES	LITHO	Ep (m)	DESCRIPTION		
CZ	NEO MIO PLOCENE		240	Sable, Calcaire, Marne Sableux		
			218	Sable, Calcaire a Silex		
ME	SENONIEN CARBONATE		91	Calcaire, Dolomie, Anhydrite		
			ANHYDRITIQUE		210	Anhydrite, Marne, Dolomie
					SALIFERE	140
	TURONIEN		99	Calcaire tendre crayeux		
	CENOMANIEN		148	Anhydrite, Marne et Dolomie		
	ALBIEN		350	Grés, Argile silteuse		
	APTIEN		25	Dolomie et Calcaire		
	BARREMIEN		277	Argile, Sable, Grés		
	NEOCOMIEN		185	Argiles, Grés, Dolomie,		
	JU	MALM		230	Argile, Marne, et Dolomie, Grés	
		DOG G	ARGILEUX		107	Argile, Marne, Dolomie
			LAGUNAIRE		223	Anhydrite, Dolomie, calcaire et Marne
		LI A S	LD1		66	Dolomie, Anhydrite et Argile
LS1				90	Alternance Sel, Anhydrite et Argile	
LD2				55	Anhydrite et Dolomie Cristalline	
LS2				60	Alternance de Sel et Argile	
LD3				35	Alternance de Dolomie et de Marne	
TRI A S		TS1		46	Alternance de Sel d'Anhydrite et de Dolomie	
		TS2		190	Sel massif à intercalation d'Anhydrite et Argile	
	TS3		200	Sel massif et trace d'Argile		
	ARGILEUX		113	Argile Rouge Dolomitique ou Silteuses		
	GRESEUX		0	Grés, Argile		
	ERUPTIF		0 à 92	Andésite		
PA	ORDOVI CIEN	Quartzites d'El Hamra		75	Grès très fins	
		Grès d'El Atchane		25	Grès fins glauconieux	
		Argiles d'El Gassi		50	Argile verte ou noire	
	CAM BRIEN	Zone des Alternances		18	Alternances grès et argiles	
		R Isométriques		42	Grés Isométriques, Silts	
		R Anisométriques		125	Grés Anisométriques, Silts	
		R 2		100	Grés Grossiers, Argile	
		R 3		370	Grés Grossiers, Argiles	
		Infra Cambrien		45	Grés Argileux rouge	
		SOCLE			Granite porphyroïde rose	

Fig.1.3. Coupe stratigraphique du champ de Hassi Messaoud

5. Contexte climatologique

Le climat de Hassi Messaoud est de type saharien, caractérisé par un été chaud et sec, un hiver plutôt doux, une faible pluviométrie et une forte évaporation. Les paramètres climatiques utilisés pour cette étude proviennent essentiellement de la station pluviométrique située à l'Aéroport de Hassi Messaoud, s'étalant sur une durée d'observation, de 2002 à 2014.[3]

5.1. Précipitations

Selon les données de tableau (Tab.1.1), nous avons établi la courbe de variation moyenne mensuelle interannuelle des précipitations (Fig.1.4). L'histogramme, donne un aperçu sur les variations mensuelles et pluriannuelles des précipitations dans la région d'étude. On constate que le mois de janvier est le plus arrosé avec 7.2 mm, et le mois de juillet est le moins arrosé avec 0.05 mm. La moyenne interannuelle de précipitation est d'ordre de 34.65 mm.[4]

Tableau.1.1. Précipitations moyenne mensuelles de Hassi Messaoud (2002/2014).[3]

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Total
Précipitation	4.1	4.5	4.4	2.6	7.2	1.2	4.9	2.4	2.5	0.3	0.05	0.5	34.65

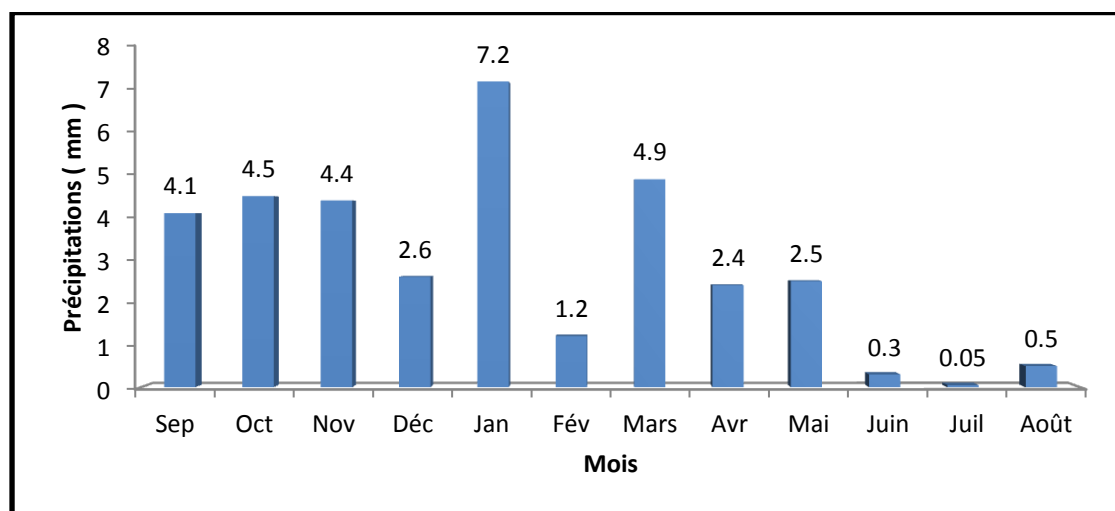


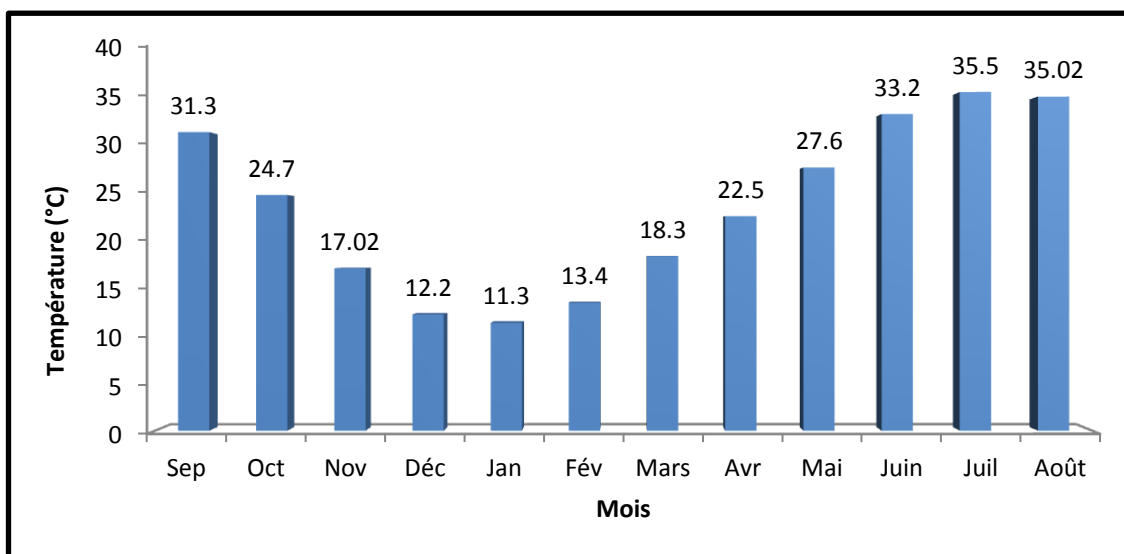
Fig.1.4. Histogramme de répartition mensuelle des pluies de Hassi Messaoud (2002/2014).

5.2. Température

Durant la période allant de 2002 à 2014, la moyenne annuelle des températures est 23.5°C. Les variations moyennes mensuelles des températures (Fig.1.5 et Tab.1.2) montrent qu'elle est maximale au mois de juillet avec une valeur d'ordre de 35.5°C et minimale au mois de janvier avec une valeur d'ordre de 11.3°C.[4]

Tableau.1.2. Température moyenne mensuelle de Hassi Messaoud (2002/2014).[3]

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Moyenne
Temp (°C)	31.3	24.7	17.02	12.2	11.3	13.4	18.3	22.5	27.6	33.2	35.5	35.02	23.50

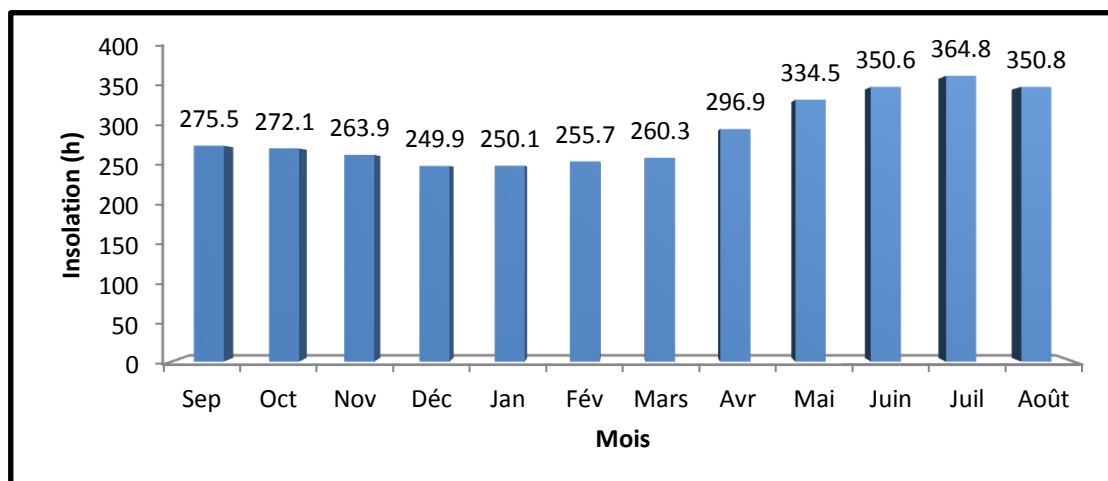
**Fig.1.5.** Histogramme des températures moyennes mensuelles de Hassi Messaoud (2002/2014).

5.3. Insolation

Hassi Messaoud reçoit une quantité de lumière solaire relativement très forte. Le maximum est atteint au mois de juillet avec une durée de 364.84 heures d'insolation et le minimum au mois de décembre avec une durée de 249.9 heures.[4]

Tableau.1.3. Insolation moyenne mensuelles de Hassi Messaoud (2002/2014).[3]

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Moyenne
Insol (h)	275.5	272.1	263.9	249.9	250.1	255.7	260.3	296.9	334.5	350.6	364.8	350.8	293.73

**Fig.1.6.** Histogramme moyenne mensuelles de Hassi Messaoud (2002/2014).

5.4. Diagramme d'Emberger

Pour déterminer les types de climat de la zone méditerranéenne, L. Emberger (1955) a proposé la détermination d'un quotient pluviométrique Q (Fig.1.7). Ce quotient dépend de la précipitation moyenne annuelle et les moyennes des températures minima et maxima, respectivement des mois les plus froids et les plus chauds.

$$Q = \frac{3.43 P}{(M - m)}$$

Q : facteur des précipitations d'Emberger.

P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud (°C).

m : moyenne des minima du mois le plus froid (°C).

Le calcul de facteur d'Emberger dans la zone d'étude donne $Q= 4.6 \text{ mm}/^{\circ}\text{C}$.

Selon la position sur le Diagramme d'Emberger (fig.1.7) la zone d'étude est caractérisée par un climat hyper-aride avec un hiver tempéré.[1]

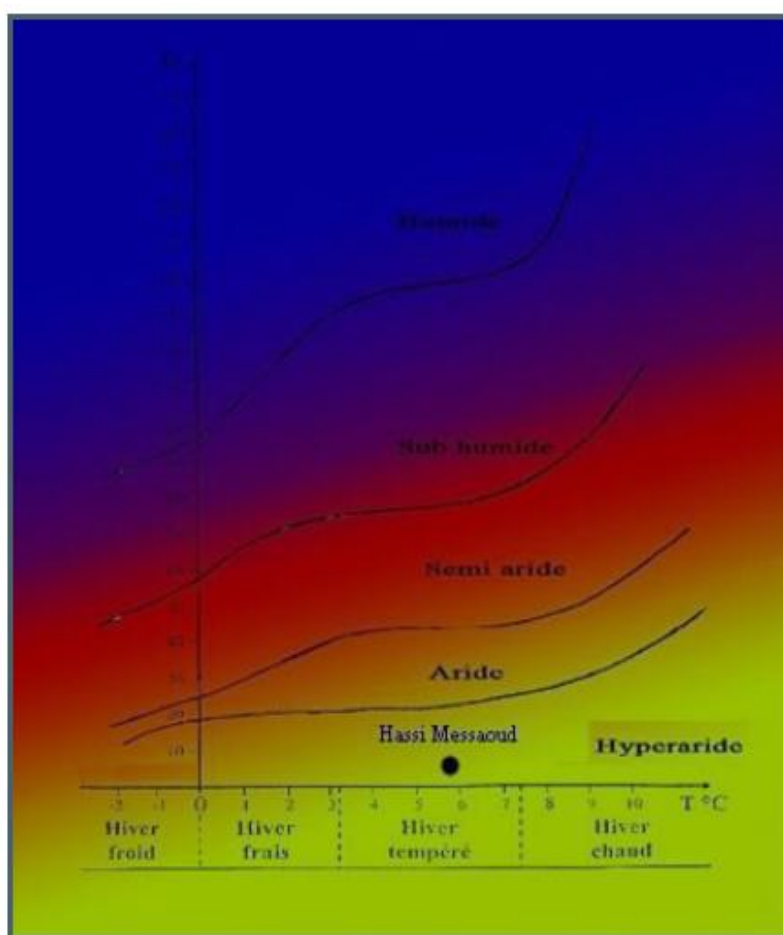


Fig.1.7. Diagramme d'Emberger de Hassi Messaoud (2002/2014).

5.5. Evaporation

L'évaporation fournie par la station de Hassi Messaoud Aéroport. Le tableau incluant l'évaporation moyenne annuelle au cours de la période 2000-2012, nous retenons que la

valeur moyenne annuelle de l'évaporation est de 3061.56 mm, le maximum de l'évaporation est enregistré en juillet avec 440.5 mm. La saison sèche a elle seule représente environ 417.07 mm d'où ce déficit chronique en alimentation des aquifères en eaux de pluie.[4]

Tableau.1.4. Evaporation moyenne mensuelle de Hassi Messaoud, période :(2000-2012).[3]

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Total
Evap	311.6	225.2	136.8	98.5	96.7	132.8	200	264.4	344.4	401.4	440.5	409.3	3061.56

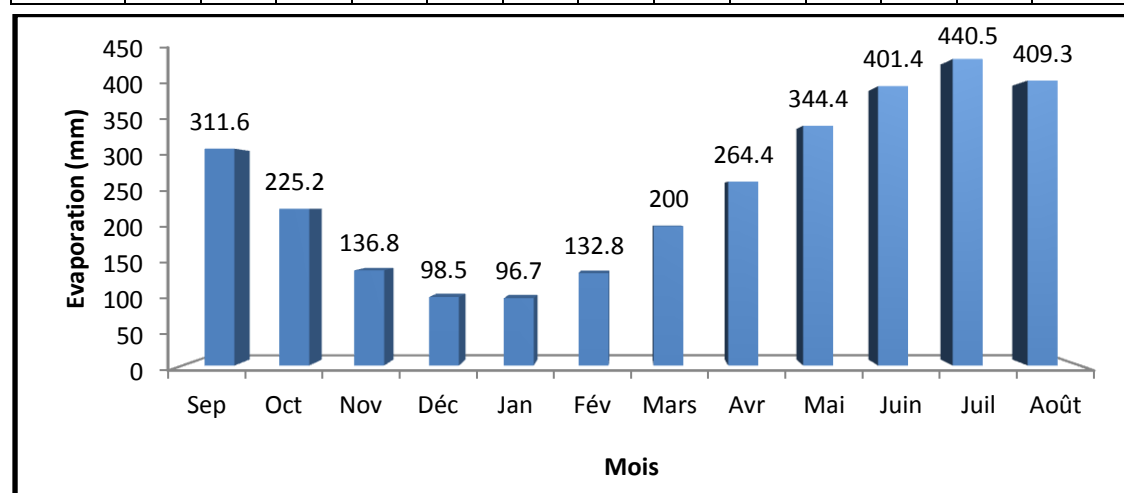


Fig.1.8. Histogramme d'évaporation mensuelle de Hassi Messaoud (2000/2012).

5.6. Le Bilan hydrique de Hassi Messaoud

Le but du bilan hydrique est d'évaluer la répartition de la précipitation entre les différentes composantes de ce bilan, à savoir l'infiltration et l'évaporation. Les paramètres de ce bilan hydrique sont, soit des paramètres mesurés dans la station de mesures (pluie, température, insolation, vitesse de vent, humidité), soit des paramètres calculés empiriquement : l'évapotranspiration réelle (ETR) et l'évapotranspiration potentielle (ETP), l'infiltration (I), Ruissellement(R).

La méthode de Thornthwaite ; est basée sur la notion de réserve d'eau facilement utilisable (RFU). On admet que la hauteur d'eau stockée dans le sol reprise par l'évapotranspiration est de 50 mm (Gaude, 1976).Le bilan hydrique de Thornthwaite est un bilan établi à l'échelle mensuelle, sur la base des données des précipitations (P) et de l'évapotranspiration potentielle (ETP), afin de déterminer les variations des paramètres suivants :

- **ETR:** Évapotranspiration réelle (mm).
- **RFU:** Réserve facilement utilisable (mm).

- **Da:** Déficit agricole (mm).
- **EX:** Excédent ou water surplus (mm).

Le principe de calcul du bilan hydrologique de Thornthwaite est le suivant :

➤ Si $P \geq ETP$, on pose l'ETP = ETR, la quantité d'eau qui reste (P-ETR) alimentera la RFU jusqu'à la remplir à 50mm. Si elle dépasse cette valeur, il y aura un excès qui part soit sous forme d'infiltration efficace vers la nappe, soit sous forme de ruissellement.

➤ Si $P < ETP$: on évapore toute la pluie et on prend à la RFU (jusqu'à la vider) l'eau nécessaire pour satisfaire l'ETR soit : $ETR = P + \min(RFU, ETP - P)$.

➤ Si la RFU est nulle, il va se produire un déficit agricole $Da = ETP - ETR$, ce dernier paramètre représente alors le besoin des cultures à l'irrigation.

Le bilan hydrique de Hassi Messaoud (Tab.1.5), dans la période ;(2002/2014) suivant la méthode de Thorntwaite est déficitaire, la quantité d'eau précipitée sera vite évaporée parce que évapotranspiration potentiel (ETP) est plus importante que les précipitations, sauf au mois de janvier, le réserve facilement utilisable est nulle pendant les deuze mois de l'année. Le déficit agricole est présent pendant toute l'année, elle atteindra son maximum au mois de juillet 257.23 mm. Le bilan hydrique de la région de Hassi Messaoud montre que la recharge par la pluie efficace est négligeable.[3]

Tableau.1.5. Bilan hydrologique de Thorntwaite de Hassi Messaoud (2002/2014).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Total
P	4.1	4.5	4.4	2.6	7.2	1.2	4.9	2.4	2.5	0.3	0.05	0.5	34.65
ETPc	161.5	83.1	28.48	11.3	9.65	14.62	39.72	70.16	130.8	211.5	257.3	244.4	1265.5
ETR	4.1	4.5	4.4	2.6	7.2	1.2	4.9	2.4	2.5	0.3	0.05	0.5	34.65
P-ETP	-157	-78.6	-24.08	-8.7	-2.45	-13.4	-34.8	-67.8	-128	-211	-257	-243	-----
RFU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EX	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DA	157.4	78.6	24.08	8.7	2.45	13.42	34.82	67.76	128.3	211.2	257.2	243.9	1227.9

6. Contexte socio-économique

La commune de Hassi Messouad compte une population de 53 000 habitants, c'est indiscutablement la commune la plus riche du pays, grâce aux activités du secteur pétrolier. L'économie de la ville est largement tournée vers l'exploitation de son

gisement de pétrole. En effet avec 0.15 % de la population nationale, elle contribue à hauteur de 10% dans le produit National Brut (PNB).

Il est à noter que Hassi Messouad a connu une remarquable croissance démographique depuis le début des années 1990, s'expliquant par l'essor du développement industriel, plus spécialement dans le secteur pétrolier.

C'est vers la fin du 19^{ème} siècle qu'ont commencé les premiers travaux d'exploration des hydrocarbures en Algérie, dans le bassin de Cheliff, sur la base d'indices de surface. Les premiers puits sont peu profonds et certains indices d'huiles ont même été exploités par simple creusement de galeries. Ce n'est qu'en 1948 que la première découverte commerciale a été faite à Oued Guétérini (Wilaya de Bouira), à 150 km au Sud d'Alger. La deuxième découverte significative a été enregistrée en 1953 dans la région d'In Salah à l'extrême Sud du Sahara avec un débit de gaz sec à partir d'un forage implanté sur une structure de surface.

Une autre structure de surface fut forée plus tard en 1956 à Edjeleh (situé au Sud d'In Amenas) qui a produit de l'huile. Au cours de la même année, fut réalisée la plus importante découverte d'huile en Algérie, à Hassi Messouad sur une structure décelée par la sismique réflexion.

La mise en évidence de la structure de Hassi Messouad, qui se présente comme étant un vaste dôme structural, le premier puits MD-1 fut implanté pas loin du puits chamelier de Hassi Messouad. Ce forage a atteint les grès du Cambrien à 3 338 m comme étant le réservoir d'huile. Le deuxième puits OM-1 fut réalisé peu de temps après à 7 km au Nord Nord-Ouest du puits MD-1. Il confirmait l'existence d'huile dans les grès du Cambrien. La mise en production avait commencé en 1958 avec 20 puits d'exploitation. Le nombre des forages sont augmenter sans cesse, on compte plus de 1 700 puits jusqu'à ce jour.

Durant plusieurs années d'exploitation du champ de Hassi Messouad, on a pu constater que l'ensemble de puits se comportait de manière indépendante les uns par rapport aux autres, d'où la définition de zone, dont les pressions moyennes évoluent de manières différentes.

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).[3]

7. Conclusion

Le champ de HMD est considéré de part ses dimensions et ses réserves, comme l'un des plus grands gisements au monde. Il s'étend sur une superficie d'environ 4200 Km². Il se présente sous forme d'un large anticlinal, très complexe sur les plans lithologique et structural, et présente une hétérogénéité du réservoir cambrien tant vertical que latéral, ce qui rend l'accès aux hydrocarbures difficile, affectant les opérations de forage et la productivité des puits notamment les puits horizontaux. Il est caractérisé par sa grande capacité du réservoir et sa production élevée, et contribue à plus de 50 % de la production algérienne, néanmoins il présente une grande complexité géologique, et une hétérogénéité des réservoirs entraînant une variabilité de la production sur l'étendue du champ.

CHAPITRE 02

Etude Hydrogéologique du champ de Hassi Messaoud

1. Présentation de système aquifère du Sahara Septentrional

1.1. Introduction

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional « SASS » (OSS, 2003) s'étend sur une vaste zone dont les limites sont situées en Algérie (Fig.2.1), Tunisie et Libye. Ce bassin renferme une série de couches aquifères qui ont été regroupées en deux réservoirs appelés le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT). Le domaine du SASS couvre une superficie d'environ 1.000.000 de km² et s'étend du Nord au Sud, depuis l'Atlas saharien jusqu'aux affleurements du Tidikelt et du rebord méridional du Tinrhert, et d'Ouest en Est depuis la vallée du Guir-Saoura jusqu'au Graben de Hun en Libye.

Ce bassin se subdivise en trois sous-entités : les deux sousbassins du Grand Erg Occidental et du Grand Erg Oriental qui sont des cuvettes à écoulement endoréique aboutissant dans des dépressions fermées «chotts et sebkhas», et le plateau de la Hamada El Hamra. Il sera procédé, ici, à la description des principales formations géologiques du Sahara septentrional, à la schématisation du multicouche saharien et à l'estimation des réserves.[6]

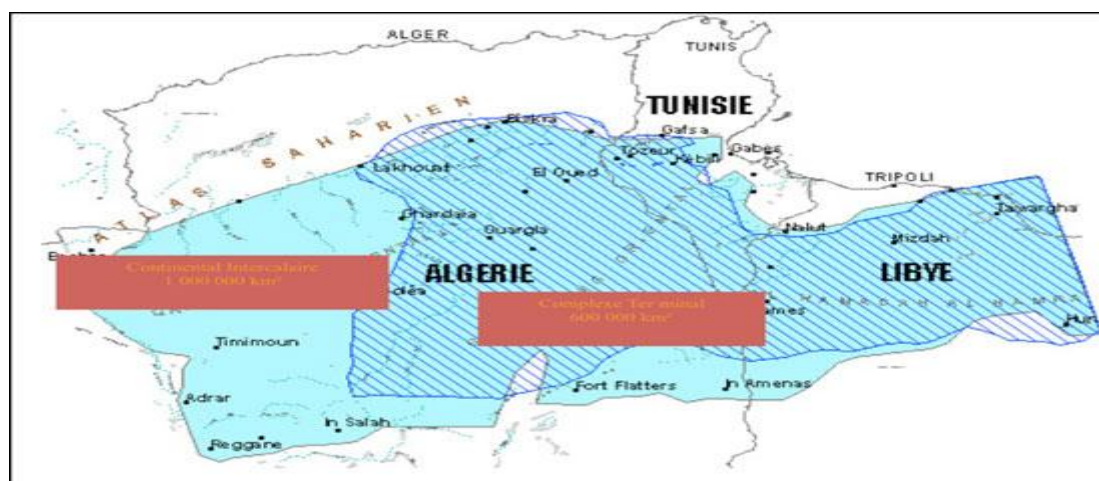


Fig.2.1. Carte d'extension de Système Aquifère du Sahara Septentrional

1.2. Description des principales formations du Sahara septentrional

Les rapports OSS présentent bien les nappes du CI et du CT et contiennent une bonne synthèse géologique tirée de différentes études. Nous rappelons ci dessous les définitions des nappes du CI et du CT et résumons cette synthèse géologique tout en rappelant les sources.[3]

Le terme « Continental Intercalaire » désigne un épisode continental localisé entre deux cycles sédimentaires marins à la base, le cycle du Paléozoïque qui achève

l'orogénèse hercynienne et au sommet, le cycle du Crétacé supérieur, résultat de la transgression cénomanienne.

Le Complexe Terminal est, quant à lui, un ensemble assez peu homogène incluant des formations carbonatées du Crétacé supérieur et des épisodes détritiques du Tertiaire, principalement du Miocène (BUSSON, 1970 ; FABRE, 1976).[3]

1.2.1. Le Continental intercalaire

Directement surmontées par les argiles et carbonates du Cénomaniens, les formations du Continental Intercalaire (CI) s'étendent jusqu'en bordure de la plate-forme, en une auréole continue d'El Goléa jusqu'à la limite sud de la Hamada El Hamra. Au Nord-Ouest du bassin, le CI affleure tout au long de l'Atlas saharien et au Nord-Est au pied de la falaise du Dahar et du Jebel Nefusa. Plus au Sud, le CI repose directement sur les formations marines du Paléozoïque, lequel forme en affleurement une ceinture continue allant de la frontière marocaine, à la limite NW du bassin, jusqu'à la ville de Hun à l'extrême S-E de la région.

L'examen de la carte des affleurements géologiques permet donc de définir le Continental Intercalaire comme l'ensemble continental compris entre les plissements hercyniens, qui ont chassé la mer de la plate-forme saharienne, et l'invasion marine du Crétacé supérieur. Cet ensemble comprend majoritairement les formations continentales grés-argileuses du Crétacé inférieur, auxquelles l'étude des coupes de forages a permis d'associer des sédiments marins ou lagunaires, post-paléozoïques et anté-cénomaniens intercalés au sein du CI.

Cette définition du Continental Intercalaire, qui constitue la formation aquifère la plus étendue de la région, détermine les limites attribuées à la zone d'étude du Système Aquifère du Sahara Septentrional. Ces limites, fondées à la fois sur l'étude des affleurements géologiques et sur l'étude des sondages, sont :

- Au Nord-Ouest, le versant Sud de l'Atlas saharien, marqué en affleurement par le contact Albien-Cénomaniens
- A l'Ouest-Sud-Ouest, la limite des affleurements paléozoïques de l'Ougarta, marqués par le cours des oueds Zousfana et Saoura.
- Au Sud, la limite des affleurements du CI sur le Paléozoïque, allant en continuité d'Adrar à Hun, décrivant les limites septentrionales des Tassilis et du Jebel Hassawna.
- Au Nord, l'accident sud Atlasique au Nord des Chotts, relayé vers le golfe de Gabès par la faille d'ELHamma – Médenine.

- Au Nord-Est, les affleurements du Continental Intercalaire au pied de la falaise du Dahar et du Jebel Nefussa.
- A l'Est, les formations aquifères du Crétacé inférieur se prolongent bien au-delà du graben de Hun.[3, 14]

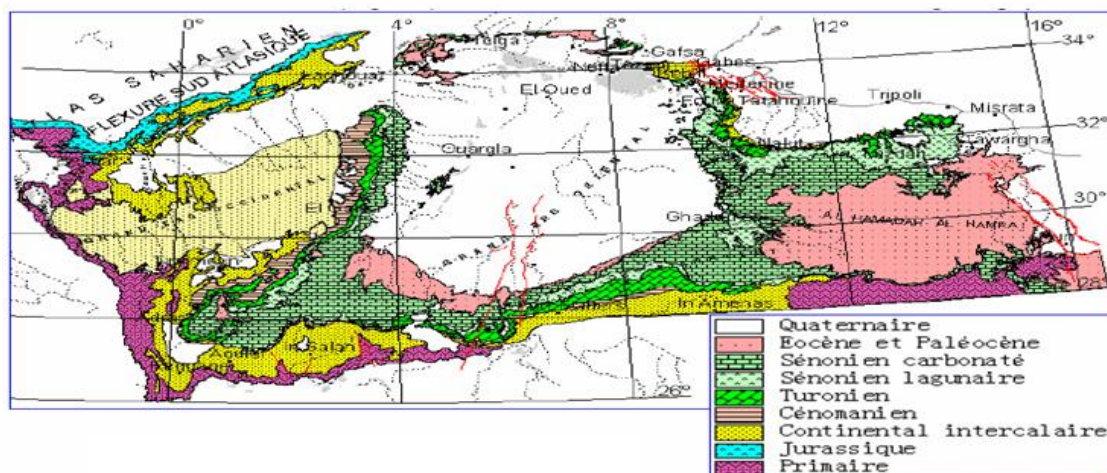


Fig.2.2. Carte géologique du Sahara (OSS 2003)

Mais à l'Est du méridien 16° et en passant au bassin de Syrte, les eaux du CI deviennent saumâtres : c'est ce passage qui a été adopté comme limite de la zone d'étude de la nappe d'eau douce du CI (OSS, 2003).

En Algérie, les travaux de BUSSON (1970) et de FABRE (1976) constituent les références de base utilisées dans cette synthèse géologique du Sahara algérien.

✓ Le Trias

BUSSON (1970) souligne la grande variabilité de faciès et d'épaisseurs du Trias. Il est divisé en grandes unités lithologiques distinctes qui peuvent être : salifères, argileuses, argiligréseuses ou carbonatées.

L'épaisseur de ces différentes formations varie principalement là où s'intercalent des bancs salifères. L'épaisseur du Trias argilo-gréseux inférieur augmente vers le Nord-Ouest (150-180m). Elle diminue dans les zones de hauts-fonds (Hassi Messaoud, G. El Baguel).

Le Trias salifère présente une grande épaisseur (de 700 m au N-E de Ghadamès, il atteint 1300 m à Hassi Messaoud).

✓ Le Jurassique

Le Jurassique inférieur et moyen (Lias-Dogger) comprend principalement des couches évaporitiques constituées essentiellement de sel, d'anhydrite et d'argiles auxquelles se superposent des couches franchement marines et qui se présentent sous forme de

calcaires et argiles avec des bancs d'anhydrite. La transgression jurassique couvre tout le bassin du Grand Erg Oriental, et les dépôts y sont épais.

Le Jurassique est caractérisé par une permanence relative du régime marin avec des sédiments de milieux confinés. Dans la partie occidentale du bassin, le régime marin accuse une certaine régression à l'image de ce qui se passe plus à l'Ouest et vers le Sud. Le passage du Jurassique au Crétacé inférieur se caractérise par des apports terrigènes ayant pour origine les reliefs nourriciers situés au Sud du bassin saharien (Hoggar), (BUSSON, 1970).[14]

✓ **Le Crétacé inférieur**

L'étude des données de sondages (BUSSON, 1967, 1970 et 1971) a permis de préciser la succession des paléogéographies au cours du Crétacé inférieur (FABRE, 1976). Il est constitué par des couches terrigènes fluvio-délaïques qui sont en contraste lithologique et sédimentaire avec les formations marines du Jurassique supérieur. Le Crétacé inférieur comprend, en partant des formations les plus anciennes :

➤ **Le Néocomien**

Comprenant dans le Bas-Sahara des argiles vertes et rouges avec de l'anhydrite en bancs massifs plus fréquents à la base. Elles sont surmontées par une alternance de dolomies et d'argiles.

➤ **Le Barrémien**

Est caractérisé par un épandage généralisé des formations détritiques du Crétacé inférieur jusque dans le Bas-Sahara. Ces formations se présentent sous forme de grès fins ou grossiers et d'argiles provenant apparemment du Sud (Hoggar). Les intercalations carbonatées sont peu nombreux et cantonnées au Nord-Est du Sahara algérien.

➤ **L'Aptien**

Est un bon repère lithologique dans les sondages. Il est représenté dans la grande partie du Bas-Sahara, par 20 à 30 m en moyenne, de dolomies alternant avec des lits d'anhydrite, d'argiles et de lignite (sédimentation lagunaire).

➤ **L'Albien**

Est caractérisé par un remarquable retour de la sédimentation terrigène. Cet étage regroupe la masse des sables et argiles comprise entre la barre aptienne et l'horizon argileux sous-jacent attribué au Cénomaniens. On remarque que le changement du régime sédimentaire et l'arrivée en masse de sédiments détritiques s'est produit entre le

Néocomien et le Barrémien (FABRE, 1976) et au cours de l'Albien.

✓ **Le Cénomanién**

Est formé par une alternance de bancs de dolomie, de calcaire dolomitique, d'argiles et d'évaporites (anhydrite ou sel). Son faciès varie : au Sud d'Ouargla, les argiles et les évaporites dominent, au Nord, au contraire, les bancs de calcaire et de dolomie sont majoritaires.

De plus, l'épaisseur augmente du Sud vers le Nord (de 50 m dans le Tademaït à 350 m dans le Bas-Sahara). La présence de nombreux bancs d'évaporites et d'argiles rendent le Cénomanién imperméable (BEL et CUCHE, 1969). Le Cénomanién inférieur à moyen est argileux dans le Tinrhert et le Bas Sahara. Le Cénomanién supérieur y est calcaire (BUSSON, 1970).

1.2.2. Le Complexe terminal

Il est noté dans l'étude OSS (2003) que classiquement, et selon la définition de KILIAN (1931), le terme « Continental terminal » désignait les formations continentales, sableuses et argileuses du Moi pliocène. Mais d'après BEL et DEMARGNE (1966) : « La nappe du Continental Terminal contenue dans les sables du Moi pliocène est plus ou moins en relation avec les nappes de l'Eocène, du Sénonien et du Turonien, de sorte qu'à l'échelle de l'ensemble du Sahara, on peut considérer que ces différents niveaux forment une seule et même nappe, la nappe du Continental Terminal, par opposition au Continental Intercalaire ».13]

C'est avec le projet ERESS que l'on verra apparaître la notion de « Complexe Terminal », appellation publiée pour la première fois par BEL et CUCHE (1969): ce terme de « nappe du Complexe Terminal » qui groupe sous une même dénomination plusieurs aquifères situés dans des formations géologiques différentes, a été retenu car ces nappes font bien partie d'un même ensemble hydraulique. Les intercommunications entre Sénonien, Eocène et Moi pliocène sont évidentes sur l'ensemble du Bassin, à l'exception de la région des chotts où l'Eocène moyen et supérieur imperméable vient s'intercaler. La nappe turonienne est plus individualisée par suite de la couverture imperméable du Sénonien lagunaire. Cependant, ses niveaux concordent avec ceux du Sénonien ou du Miopliocène sur la bordure du bassin. Le Complexe terminal affleure aux endroits suivants :

- au Nord, dans le sillon des chotts algéro-tunisiens
- à l'Est, le long du flanc oriental du Dahar et du J. Nafusa,

- au Sud, sur les plateaux de Tinrhert et de Tademaït,
- à l'Ouest, sur la dorsale du M'zab.[3]

En procédant pays par pays comme il a été réalisé pour le CI, une coupe-type, de bas en haut, simplifiée du Complexe Terminal (CT) est proposée ci-après :

En Algérie ; le complexe terminal est représenté par les formations géologiques suivant :

✓ **Le Turonien**

Il se présente sous trois faciès différents, du Sud au Nord :

- au Sud du parallèle d'El Goléa, il est calcaro-marneux.
- entre El Goléa et Djamaâ, il est essentiellement calcaire.

Au Nord de Djamaâ, il est à nouveau calcaro-marneux. Son épaisseur moyenne varie entre 50 et 100 m. Elle augmente cependant dans la région des chotts où elle dépasse 300 m.

✓ **Le Sénonien**

Il s'individualise en deux faciès :

- Le Sénonien inférieur à sédimentation lagunaire caractérisé par des formations argileuses et salifères à anhydrite et sel gemme ; il est très peu perméable (BUSSON, 1970).
- Le Sénonien supérieur ou Sénonien carbonaté : formation carbonatée perméable.

✓ **L'Eocène**

En Algérie, On distingue dans l'Eocène deux ensembles différents du point de vue lithologique. A la base, l'Eocène carbonaté est formé essentiellement par des dolomies et des calcaires dolomitiques avec quelques intercalations de marnes, d'argiles et même d'anhydrite et de marnes. La puissance de cette formation varie entre 100 et 500 m.

L'épaisseur maximum se situant dans la zone du Bas-Sahara. Au sommet, l'Eocène évaporitique est formé par une alternance de calcaire, d'anhydrite et de marnes. Son épaisseur atteint une centaine de mètres sous les Chotts (BEL et CUCHE, 1969). L'Eocène constitue le dernier épisode marin du Sahara algérien (BUSSON, 1970).

✓ **Le Mioplio-Quaternaire**

Dans la partie algérienne du système, le Tertiaire continental du Sahara peut être relativement épais (150 m). Il se présente sous forme d'un faciès sableux et argileux avec du gypse. Dans le Bas-Sahara, la sédimentation lacustre se présente sous forme

de séries sableuses et argileuses connues sous le nom du Continental terminal (Mio-Pliocène) dont l'épaisseur peut atteindre, dans la région des Chotts algérotunisiens, quelques centaines de mètres. On y identifie, dans la région d'Oued Rhir, deux niveaux aquifères au sein des sables qui sont séparés par une couche argileuse au milieu (première et deuxième nappe d'Oued Rhir).

L'ensemble est surmonté par le Plio- Quaternaire argilo-sableux et gypseux qui résulte de la sédimentation en milieu lacustre durant la phase d'assèchement des lagunes des chotts (BUSSON, 1970)

2. Présentation des aquifères de la région de Hassi Messaoud

Les aquifères de Hassi Messaoud fait partie de système aquifère du Sahara septentrional (SASS), ce dernier est composé d'une superposition de deux principales couches aquifères; la formation du Continental Intercalaire, CI, la plus profonde et celle du Complexe Terminal, CT (Fig.2.3).

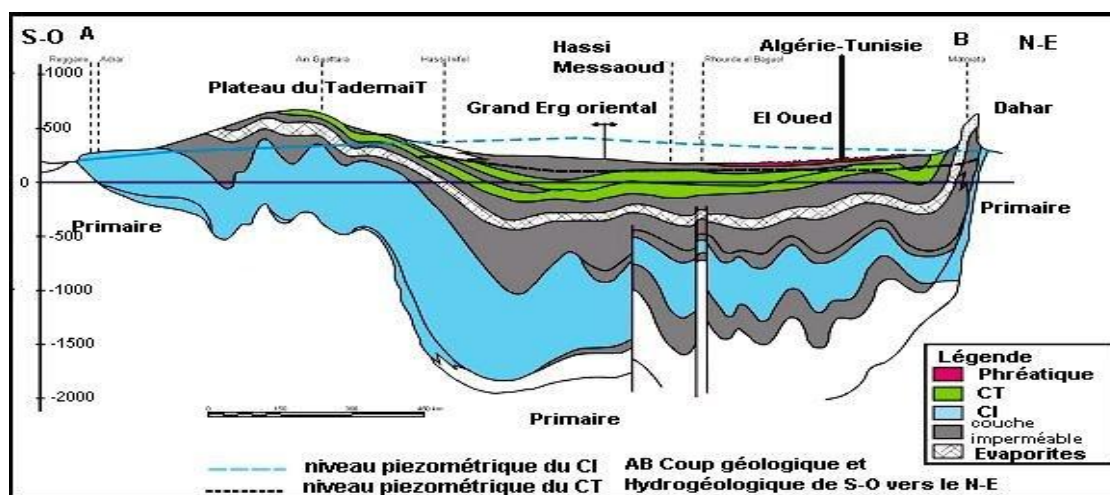


Fig.2.3. Coupe hydrogéologique des aquifères du Sahara septentrionale (UNESCO 1972).

2.1. Aquifère du Complexe Terminal (CT)

L'aquifère du complexe terminal est moins étendu que le Continental Intercalaire. Il couvre la majeure partie du bassin oriental du Sahara septentrional, sur environ 350 000 km². Sa profondeur oscille entre 100 et plus de 500 m et son épaisseur, en moyenne de 220 m sont désignées sous le nom du Complexe Terminal (C.T). Ces formations sont les plus récentes, déposées au bas Sahara. Il se compose de deux ensembles aquifères principaux, d'âge et de lithologies différentes, l'un continental au sommet, l'autre marin à la base.[3]

2.1.1. Lithologie

Au sommet, le Continental Terminal, constitué par les sables de taille variable, intercalés de lentilles argileuses parfois évaporitiques d'âge Mio-Pliocène, couvrant en discordance, pratiquement la totalité de l'Erg oriental depuis la dorsale du M'Zab à l'Ouest jusqu'au Dahar tunisien à l'Est. L'épaisseur de l'aquifère des sables du Mio-Pliocène est de 200 à 230 m en moyenne. Elle est minimale dans la région de Hassi Messaoud augmente vers le Sud 400 m, et le Nord où elle peut atteindre 600 m.

Les formations marines sont essentiellement carbonatées, déposées au cours de la transgression marine du Sénonien-Eocène, s'étendent sur l'ensemble du bassin oriental. L'Eocène inférieur ne couvre que la zone située au Nord d'une ligne Djemaa-Tozeur. Les calcaires et les dolomies du Turonien sont reliés hydrauliquement aux formations carbonatées précédentes par l'aquifère des sables du Mio-Pliocène. L'épaisseur moyenne du réservoir carbonaté est de 100 à 200 m, augmentent vers le Nord où elle atteint 500 m sous le Chott Melghir et 600 m dans la fosse atlasique. Le substratum du complexe aquifère est, d'une manière générale, constitué par la formation lagunaire du Sénonien. La couverture est formée par les argiles plus ou moins sableuses du sommet du Mio-Pliocène et les marnes évaporites de l'Eocène moyen pour l'aquifère Eocène. L'aquifère de Complexe Terminal, dans la région de Hassi Messaoud, regroupe trois formations :

- La nappe de Mio-Pliocène : qui est essentiellement constituée de sable avec une présence de calcaire et des argiles, d'une épaisseur moyenne de 230 m.
- La nappe du Sénono-Eocène carbonaté est formée de calcaire dolomitique d'épaisseur moyenne de 220 m.
- La nappe du Turonien carbonaté dolomitique d'épaisseur moyenne de 90 m, elle est séparée des deux nappes sous-jacentes par la formation du Sénonien lagunaire qui constitue un écran imperméable entre elle ;

Les deux premières nappes semblent être en continuité hydraulique. La nappe du Complexe terminal est en charge au nord de la région et libre dans la partie sud. Sa porosité dépend de la lithologie. Elle est estimée à 30% dans les sables du Mio-pliocène et à 20% dans les calcaires du Sénono-Eocène supérieur.

2.1.2. Alimentation de la nappe du Complexe Terminal

L'alimentation de cette nappe reste très faible comparée aux réserves d'eau constituées depuis les époques pluviales du Quaternaire jusqu'à l'Holocène, l'alimentation actuelle se fait par :

- Infiltration d'une partie du ruissellement sur les bordures Nord (Atlas Saharien, région de Laghouat, Chebek du M'Zab) ;
- Infiltration sur les sables du Grand Erg Oriental, qui repose par endroit directement sur les formations perméables du Mio-Pliocène, une alimentation provenant du Sud Ouest à partir du plateau du Tademaït (sans toute fois oublier de signaler qu'il a existé une alimentation aux confins du Tinherthe qui a fonctionné durant le Quaternaire et qui n'existe plus aujourd'hui) ;
- En provenance de l'aquifère du Continental Intercalaire à travers les failles d'Amguid l'Abiod (relation de drainance par le Continental Intercalaire).

L'apport annuel en eaux de pluie est inférieur à 50 mm/an, seules les pluies torrentielles participent à l'alimentation de la nappe de Mio-Pliocène par infiltration dans les sables (quaternaires).

Dans les périodes d'averses où les précipitations sont supérieures à l'évapotranspiration, il peut exister une possibilité d'alimentation directe de la nappe de Mio-Pliocène. D'autre part, la valeur du niveau statique de la nappe de Mio-Pliocène de 10 à 48 m, il peut exister une possibilité d'exhaure par l'évaporation dans les zones où le niveau statique est à faible profondeur.

2.1.3. Ecoulement et exutoire

D'après les études (UNESCO, 1972) montrent que dans le bassin Saharien oriental, on observe un écoulement dirigé Sud –Nord convergeant vers les principaux exutoires qui sont :

- Chotte Melghir et chotte Mérouane en Algérie ;
- Evaporation dans les vallées des anciens oueds (Oued Righ) ;
- Forage d'eau.

2.1.4. Carte piézométrique de référence de complexe Terminal

La réalisation des cartes piézométriques du Complexe Terminal est le résultat de contributions successives, entreprises depuis quelques années. En effet, depuis la publication par Cornet (1964) de la première carte piézométrique couvrant l'ensemble du « Complexe Terminal » du Sahara, suivie de contributions significatives, où on peut citer notamment Bel et Cuche (1969) et le Projet ERESS (1972).

L'ensemble de ces travaux a permis de dresser une carte piézométrique initiale en 2003 peu influencée par le pompage, à l'échelle du bassin du Sahara Septentrional (Fig.1.2). Cette piézométrie a concerné les formations calcaires sénoniennes et éocènes

ainsi que les sables du Pontien (O. Rhir et Djérid). Elle permet d'avoir la continuité de l'écoulement souterrain en passant d'une zone à l'autre (OSS, 2003). L'examen de cette carte piézométrique met en évidence les zones d'alimentation, à savoir : L'Atlas Saharien au Nord-Ouest, le Dahar à l'Est, le Tinrhert au Sud et les monts du M'Zab.

L'existence d'une alimentation permanente actuelle, équivalente à $750 \text{ Hm}^3/\text{an}$ (M. Baba Sy, 2005) du réservoir est vraisemblable dans plusieurs régions :

- Sur les bordures relativement arrosées du bassin, par infiltration directe sur les affleurements calcaires (Sénonien, Eocène inférieur et Turonien), ou au travers des nappes d'inféro-flux des oueds : bordure sud-atlasique, M'Zab et Dahar;
- Dans les deux grands Ergs (Occidental et Oriental), par infiltration de pluies exceptionnelles au travers des formations dunaires perméables.

L'écoulement de cette nappe se produit :

- A partir de la dorsale du M'Zab, où l'ensemble de l'écoulement converge vers la zone des Chotts où l'altitude moyenne est de -24 m (c'est-à-dire qu'il se renverse et s'effectue du Ouest vers l'Est);
- Dans le sens Ouest-Est, où les eaux en provenance de l'Atlas Saharien, se convergent vers la zone des Chotts.
- Dans le sens Sud-Nord, du plateau du Tinrhert vers la zone des Chotts et le Golfe de Syrte en Lybie.[3]

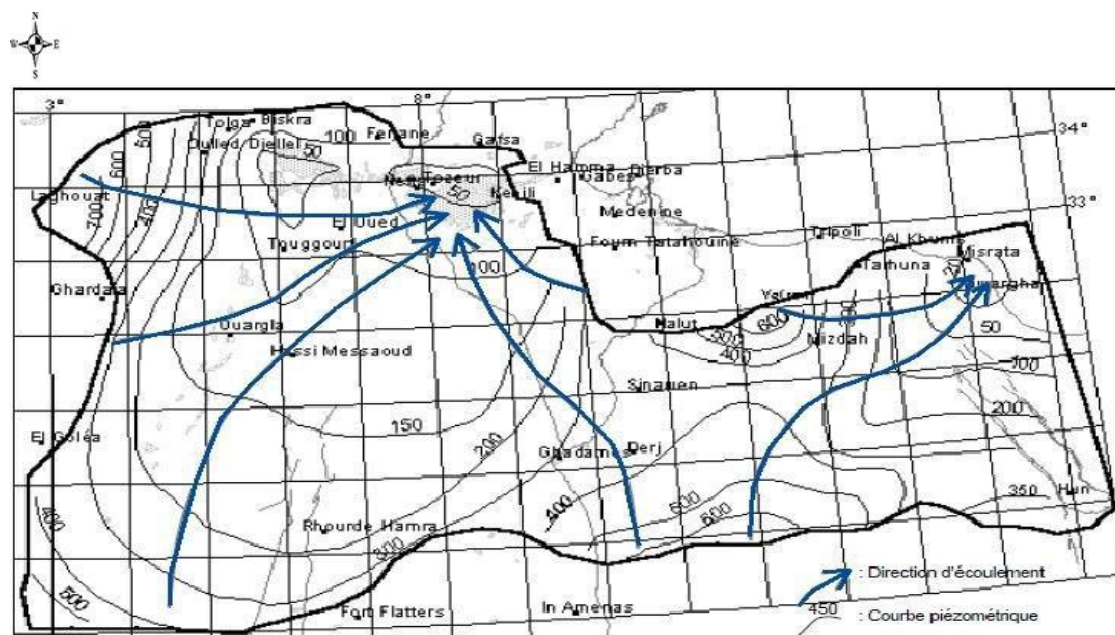


Fig.2.4. Carte piézométrique de référence du Complexe Terminal (OSS 2003).

2.1.5. Carte piézométrique de la nappe de Mio-pliocène de Hassi Messaoud

La carte piézométrique de la nappe Mio-Pliocène a été réalisée par le logiciel Surfer 10. Cette carte fait ressortir quelques aspects piézométriques (Fig.2.4):

- Le niveau piézométrique de notre région d'étude varie entre 105 à 140 m.
- L'écoulement régional des eaux souterraines s'effectue du Sud-ouest au Nord-est, ce qui concorde parfaitement avec ce qui a été mis en évidence dans les travaux antérieurs, particulièrement la piézométrie établie par le SASS
- On remarque également l'existence d'un écoulement local sous forme de dépressions piézométriques où les iso pièzes sont serrées au Sud-ouest et moins serrés au Sud-est. Cela peut s'expliquer par un épisode de pompage d'eau plus ou moins intense, surtout au niveau du forage HGA-102, pompé à 120 m³/h. A ce propos, nous avons calculé les gradients hydrauliques de la piézométrie réalisée, représentatifs de 3 zones distinctes.

Il est à noter que les gradients sont très faibles à Hassi Messaoud et dans le Sahara d'une manière générale comparativement à ceux calculés dans les aquifères du Nord, et cela en raison des faibles pentes qui caractérisent la plate-forme saharienne mais aussi de la surface relativement importante des aquifères sahariens. On distingue :

➤ Zone à gradient élevé, située au Sud-Ouest et centrée autour des puits HGA-102 et MDH-160.

Elle correspond à un gradient de l'ordre de 10^{-3}

➤ Zone à gradient moyen, située au Sud-est et centrée autour du puits HTF-105, le gradient est de l'ordre de $5 \cdot 10^{-4}$

➤ Zone à faible gradient, partout ailleurs, les courbes sont plus ou moins espacées, le gradient est de l'ordre $1,81 \cdot 10^{-4}$

Par ailleurs, la carte met en évidence une ligne de partage des eaux souterraines, dans la partie sudde direction SE–NW.

➤ Un axe de drainage qui se manifeste, au Nord de direction Sud-Nord.

➤ Nous avons des forages à débits exceptionnellement élevés tels que HGA-102 avec en moyenne 120m³/s et d'autres forages dont les débits sont plus faibles et variant de 20 à 70 m³ tels que HTF-105 et MDH-160.

Ces débits sont général très importants en raison du grand potentiel hydraulique prouvé par les études hydrogéologiques antérieures. (Fig.2.5).[3]

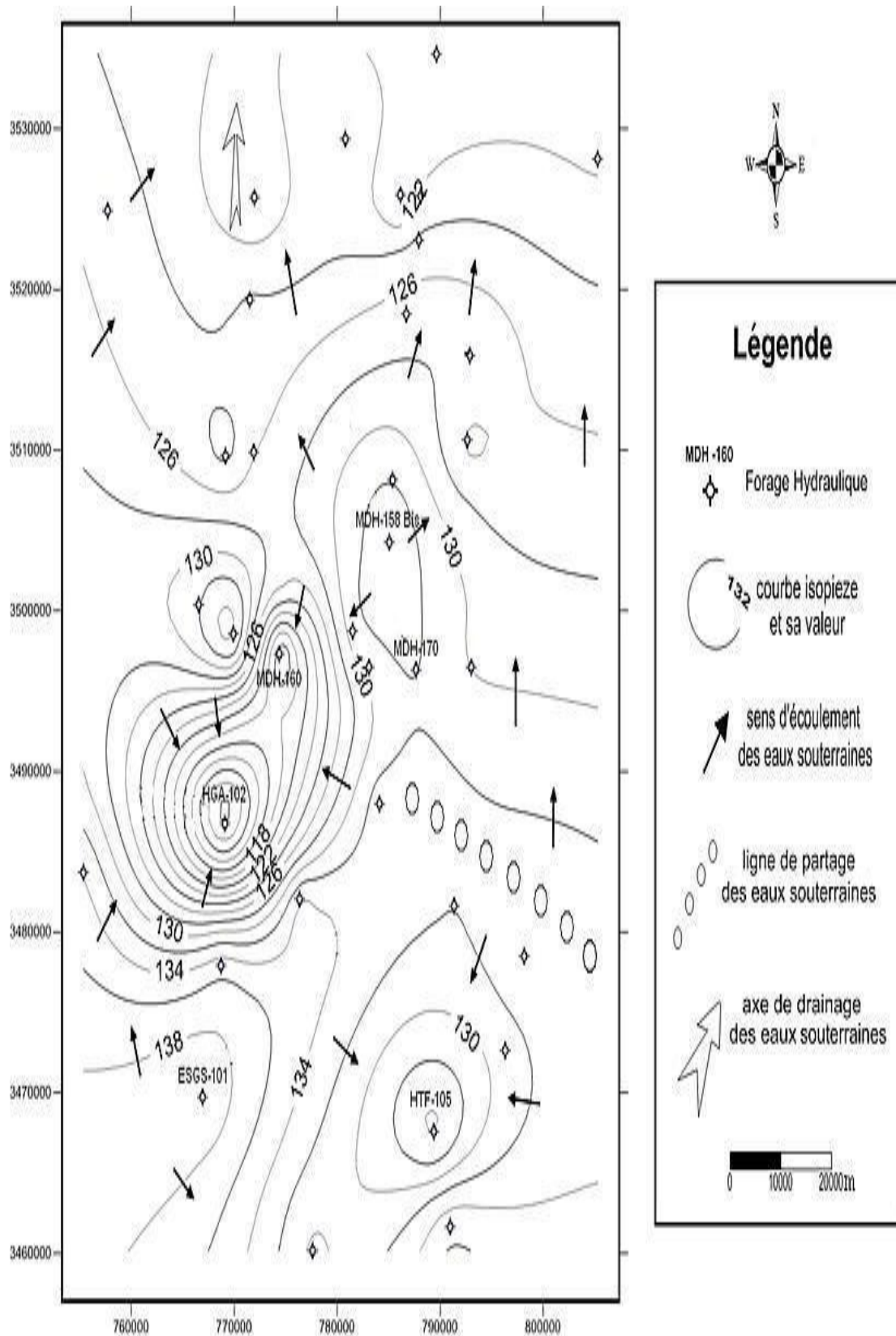


Fig.2.5. Carte piézométrique du Complexes Terminal du champ de Hassi Messaoud (OSS 2003).

2.2. Aquifère du Continental Intercalaire (CI)

Les études de CORNET (1964), ERESS (1972b), PALLAS (1978b), GEOMATH (1994), ont ainsi été mises à contribution pour l'élaboration de la carte piézométrique du Continental intercalaire (fig.2.6). Cette carte définit les écoulements de la nappe du Continental Intercalaire à l'état « naturel », peu ou pas influencé par les pompages. L'examen de cette carte met en évidence les zones d'alimentation, indiquées par les directions d'écoulement. Il s'agit :

- ✓ Du piémont sud atlasique au Nord et Nord-Ouest;
- ✓ Du Tinrhert au Sud;
- ✓ Du Dahar à l'Est.

L'essentiel de ces réserves aquifères correspond à de l'eau infiltrée au cours des périodes pluvieuses du Quaternaire. Toutefois, une recharge actuelle, estimée globalement à 400 Hm³/an, s'effectue :

- De façon directe par infiltration des ruissellements qui se produisent sur les zones périphériques d'affleurements, notamment aux piedmonts de l'Atlas Saharien (au Nord-Ouest), dans le massif du Dahar (Tunisie), éventuellement sur les rebords ouest (Touat et Gourara) et au Sud du plateau du Tademaït (Tidikelt), ainsi que sur le rebord sud du plateau du Tinrhert et sa prolongation en Libye;
- De façon indirecte dans le Grand Erg Occidental à travers les sables dunaires et du Complexe Terminal, dans la région où il n'existe pas de séparation imperméable entre les deux réservoirs, ainsi que par apport latéral ou drainante en provenance du puissant aquifère paléozoïque dans la partie libyenne du réservoir.

L'écoulement de cette nappe se produit :

- Dans le sens Nord-Sud (concernant le sous-bassin du Grand Erg Occidental), c'est-à-dire, du piedmont de l'Atlas Saharien vers les zones d'affleurement (et d'exutoire) des rebords du plateau de Tademaït à l'Ouest;
- Dans le sens Sud-Nord (concernant le sous-bassin du Grand Erg Oriental), c'est-à-dire, du rebord sud du plateau du Tinrhert vers les golfes de Syrte et de Gabès;
- Dans le sens Ouest-Est, où les eaux en provenance de l'Atlas Saharien, se convergent vers l'exutoire tunisien (golfe de Gabès). C'est la dorsale du M'Zab (l'axe N-S) qui sépare l'écoulement dans les sous-bassins occidental et oriental en ces deux directions distinctes précitées (N-S et S-N).

Les zones exutoires, suggérées par les points d'aboutissement des lignes de courant dessinées sur la carte piézométrique sont :

- Les rebords occidentaux et méridionaux du Tademaït qui constituent une zone d'exutoire naturel importante, probablement jalonnée anciennement par des sources, dont les foggaras ont pris la relève. L'eau non captée s'évapore dans un chapelet de sebkhas qui occupent le fond des dépressions du Gourara, du Touat et du Tidikelt.
- Les remontées verticales à la faveur de la faille d'El Hamma dans la zone du Chott Fedjaj.
- L'exutoire libyen du Golfe de Syrte, qui se manifeste en surface par les sources d'Aïn Tawargha (A.Bellaoueur, 2008).[3, 14]

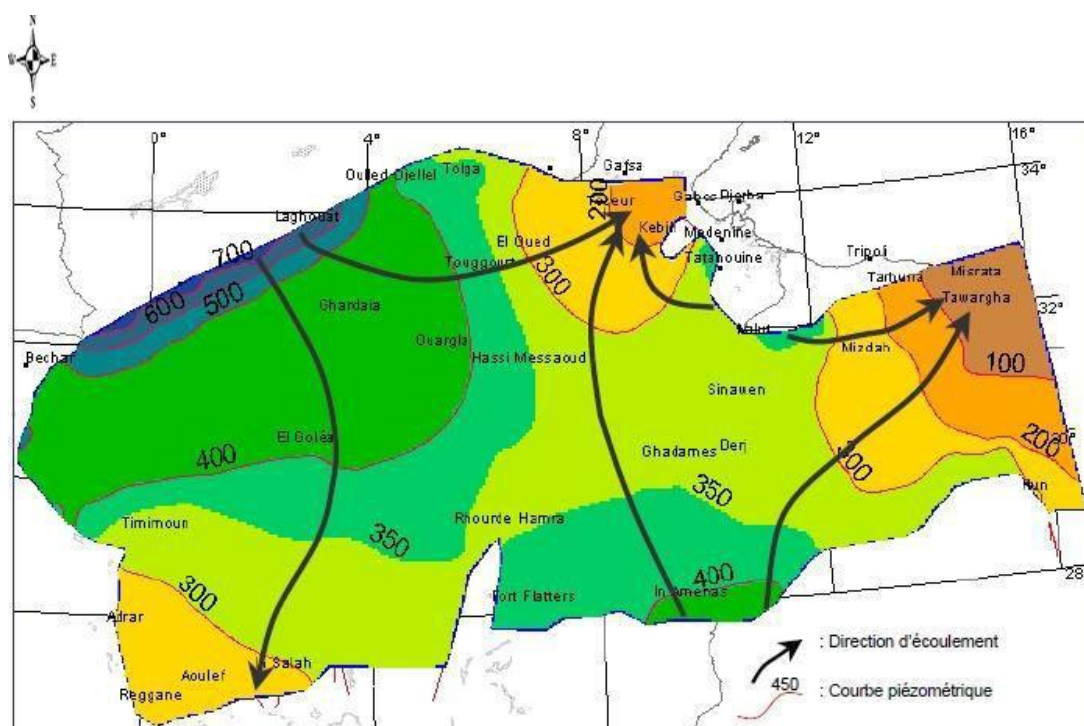


Fig.2.6. Carte piézométrique de référence du Continental Intercalaire (OSS 2003).

Le continental Intercalaire est représenté à Hassi Messaoud par une série détritique essentiellement constituée de sable et de grès à quelques passées calcaires.

Les forages captant essentiellement la formation de l'albien qui se trouvent à une profondeur d'environ 1000m, ils sont fortement artésiens et présentent des pressions en tête qui peuvent atteindre 18 à 20 bar ce qui se traduit par jaillissement d'eau qui peut dépasser 200m. La surface piézométrique de la nappe se situe entre les cotes 340m et 380m, l'écoulement général se faisant toujours vers le Sud –Est.

3. Conclusion

L'étude hydrogéologique de la région de Hassi Messaoud a montré l'existence de deux aquifères ; l'aquifère du Complexe Terminal et l'aquifère de continental Intercalaire.

L'aquifère du Complexe Terminal, présenté dans la région par la nappe de Mio-pliocène la plus exploitée, elle est libre avec un écoulement du Sud-Ouest vers le Nord-Est. Cette dernière présente des niveaux piézométriques qui varient entre 105 et 140 m avec un niveau statique allant de 25 à 32 m. La nappe est exploitée pour répondre aux besoins croissants en industrie pétrolière.

L'aquifère de continental Intercalaire constitue de sable et de grès à quelque passées calcaires.

Les forages captant essentiellement la formation de l'albien qui se trouvent à une profondeur d'environ 1000m, ils sont fortement artésiens et présentent des pressions en tête qui peuvent atteindre 18 à 20 bar ce qui se traduit par jaillissement d'eau qui peut dépasser 200m. La surface piézométrique de la nappe se situe entre les cotes 340m et 380m, l'écoulement général se faisant toujours vers le Sud –Est.

CHAPITRE 03

Etude hydrochimiques des eaux souterraines

1. Introduction

L'étude de la chimie des eaux souterraines apporte à l'hydrogéologie une somme considérable de renseignements utiles à la compréhension des phénomènes se produisant dans les systèmes aquifères. C'est-à-dire dans les échanges possibles entre l'eau et la roche, sachant que la minéralisation des eaux souterraines peut provenir de l'acquisition des éléments chimiques par la dissolution et l'altération des minéraux du réservoir.

L'étude de la chimie des eaux souterraines, elle permet aussi de suivre l'évolution spatiale des différents éléments dissous et d'estimer leur origine, d'estimer la profondeur de circulation des eaux, et d'apprécier la qualité des eaux vis-à-vis de la potabilité et à l'irrigation.

2. Etude des paramètres physico-chimiques

L'appréciation de la qualité des eaux de surface se base sur la mesure de paramètres physico-chimiques et chimiques ainsi que sur la présence ou l'absence d'organismes et de micro-organismes aquatiques, indicateurs d'une plus ou moins bonne qualité de l'eau.

2.1. Les paramètres physiques

2.1.1. Température

La température de l'eau joue un rôle important par exemple en ce qui concerne la solubilité des sels et des gaz dont, entre autres, l'oxygène nécessaire à l'équilibre de la vie aquatique. Par ailleurs, la température accroît les vitesses des réactions chimiques et biochimiques d'un facteur 2 à 3 pour une augmentation de température de 10 degrés Celsius (°C). L'activité métabolique des organismes aquatiques est donc également accélérée lorsque la température de l'eau s'accroît.[6]

La valeur de ce paramètre est influencée par la température ambiante mais également par d'éventuels rejets d'eaux résiduaires chaudes. Des changements brusques de température de plus de 3° C s'avèrent souvent néfastes.

2.1.2. Le potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH est une mesure de l'acidité de l'eau c'est -à-dire de la concentration en ions d'hydrogène (H⁺). L'échelle des pH s'étend en pratique de 0 (très acide) à 14 (très alcalin) ; la valeur médiane 7 correspond à une solution neutre à 25°C. Le pH d'une eau naturelle peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Des pH faibles (eaux acides) augmentent notamment le risque de

présence de métaux sous une forme ionique plus toxique. Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac, toxique pour les poissons.[3]

Tableau.3.1. Le pH dans l'eau de quelques puits dans le champ de HMD

Puits	Longitude	Latitude	Altitude	pH
F06 Zone industrielle D10F4	6°2'57"	31°42'47"	163	7.66
F12 Prés B. ENTP D10F18	6°2'54"	31°43'17"	167	7.65
F20 Partie C 1850 logts D10F48	6°3'44"	31°42'38"	154	7.71
F13 Prés base ENAFOR D10F12	6°2'57"	31°42'47"	164	7.77
F15	6°3'58"	31°42'3"	137	7.78
F16 Cplexe hydraulique D10F27	6°3'26"	31°41'55"	168	7.82
F21	6°3'23"	31°41'10"	170	7.72
F17 cité 136 logts D10F42	6°4'21"	31°41'5"	156	7.67
H.Khouildet D10F45	6°11'19"	31°42'16"	142	7.65

2.1.3. Conductivité électrique (EC)

La conductivité électrique (EC) est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. La plupart des sels minéraux en solution sont des bons conducteurs. Par contre, les composés organiques sont des mauvais conducteurs. La conductivité électrique standard s'exprime généralement en millisiemens par mètre (mS/ m) à 20 °C. La conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

L'estimation de la quantité totale de matières dissoutes peut être obtenue par la multiplication de la valeur de la conductivité par un facteur empirique dépendant de la nature des sels dissous et de la température de l'eau. La connaissance du contenu en sels dissous est importante dans la mesure où chaque organisme aquatique a des exigences propres en ce qui concerne ce paramètre. Les espèces aquatiques ne supportent généralement pas des variations importantes en sels dissous qui peuvent être observées par exemple en cas de déversements d'eaux usées.[11]

2.1.4. Potentiel redox (Eh)

Dans les systèmes aqueux, le potentiel redox (ou disponibilité en électrons) affecte les états d'oxydation des éléments (H, C, N, O, S, Fe...). Dans une eau bien oxygénée, les conditions d'oxydation dominent. Quand les concentrations d'oxygène diminuent, le milieu devient plus réducteur ce qui se traduit par une réduction du potentiel redox. Dans les eaux naturelles, des comparaisons relatives de l'évolution du potentiel redox

peuvent être utiles pour suivre les degrés de changement du système aquatique. Le potentiel redox se mesure en mV.[11]

2.1.5. Matières en suspension (MES)

Les matières en suspension comprennent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau. Elles incluent les argiles, les sables, les limons, les matières organiques et minérales de faible dimension, le plancton et autres micro-organismes de l'eau.

La quantité de matières en suspension varie notamment selon les saisons et le régime d'écoulement des eaux. Ces matières affectent la transparence de l'eau et diminuent la pénétration de la lumière et, par suite, la photosynthèse. Par ailleurs, les matières en suspension peuvent accumuler des quantités élevées de matières toxiques (métaux, pesticides, huiles minérales, hydrocarbures aromatiques polycycliques...). Les matières en suspensions sont exprimées en mg/l.[9]

2.1.6. Minéralisation

En hydrologie, la minéralisation est un indicateur de la dureté de l'eau. En géologie, la minéralisation est notamment la formation d'un minéral à partir d'autres minéraux, ou le déplacement (très lent) d'une substance minérale (par exemple du cuivre) dans une roche.

Suivants la réglementation Française, la minéralisation totale pour les eaux de boissonne doit pas excéder 2g/l, les norms américanes recommandent, comme chiffre limite, une minéralisation totale de 500mg/l, cependant les eaux du champ de HMD dépassent les 1400mg/l et peuvent atteindre plus de 4000mg/l dans la région sud-est, oust et nord-ouest à l'exception de la ville de Hassi Messaoud où il peut atteindre les valeurs les plus basses, soit une valeur inférieure à 1800mg/l.[6]

Tableau.3.2. Minéralisation de l'eau de quelques puits dans le champ de HMD.

Puits	Longitude	Latitude	Altitude	Minéralisation
F06 Zone industrielle D10F4	6°2'57"	31°42'47"	163	1138.5
F12 Prés B. ENTP D10F18	6°2'54"	31°43'17"	167	1221.99
F20 Partie C 1850 logts D10F48	6°3'44"	31°42'38"	154	2944.92
F13 Prés base ENAFOR D10F12	6°2'57"	31°42'47"	164	1077.78
F15	6°3'58"	31°42'3"	137	2595.78
F16 Cplexe hydraulique D10F27	6°3'26"	31°41'55"	168	1464.87
F21	6°3'23"	31°41'10"	170	1631.85
F17 cité 136 logts D10F42	6°4'21"	31°41'5"	156	1647.03
H.Khouildet D10F45	6°11'19"	31°42'16"	142	1943.04

2.1.6. Le résidu sec

C'est la totalité des sels dissous dans l'eau, et en suspension (organiques et minérales) obtenus par pesées (évaporation à 110°C exprimée en mg/l). Sa valeur minimale est égale à 448mg/l, tandis que sa valeur maximale est égale à 4940mg/l.[6]

Différents auteurs se sont attachés à déterminer les limites de potabilité des eaux. Schoeller distingue une potabilité absolue indépendante des régions, du climat et ne dépend que de la physiologie humaine, la potabilité relative dépend de la composition chimique de cette eau et par comparaison avec les meilleures eaux de la région, il classe les eaux suivant le tableau ci-dessous:

Potabilité	Bonne	Passable	Médiocre	Mauvaise
Extrait sec (mg/l)	0 – 500	500 - 1000	1000 - 2000	2000 - 4000

Tableau.3.3. Résidu Sec de l'eau de quelques puits dans le champ de HMD.

Puits	Longitude	Latitude	Altitude	RésiduSec
F06 Zone industrielle D10F4	6°2'57"	31°42'47"	163	1464
F12 Prés B. ENT P D10F18	6°2'54"	31°43'17"	167	1384
F20 Partie C 1850 logts D10F48	6°3'44"	31°42'38"	154	3436
F13 Prés base ENAFOR D10F12	6°2'57"	31°42'47"	164	1220
F15	6°3'58"	31°42'3"	137	3274
F16 Cplexe hydraulique D10F27	6°3'26"	31°41'55"	168	1868
F21	6°3'23"	31°41'10"	170	2018
F17 cité 136 logts D10F42	6°4'21"	31°41'5"	156	1890
H.Khouildet D10F45	6°11'19"	31°42'16"	142	2312

2.2. Les paramètres chimiques

2.2.1. Hydrocarbures

Ce terme fait la plupart du temps référence aux huiles minérales qui comportent des substances telles que les alcanes, les alcènes, etc. Outre leur toxicité, ces substances peuvent limiter l'apport d'oxygène dans les eaux de surface lorsqu'elles sont présentes en concentrations élevées. Ces polluants incluent également les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ainsi que les hydrocarbures aromatiques monocycliques (HAM). Les HAP sont des combinaisons organiques résultant de l'assemblage de plusieurs noyaux benzéniques. Ces composés sont relativement stables et peu solubles dans l'eau. Ils s'absorbent fortement aux sols et aux matières en

suspension et sont, en outre, très solubles dans les graisses ce qui favorise leur bioaccumulation dans les tissus humains et animaux. Plusieurs HAP sont classés comme agents cancérigènes possibles par l'OMS. Les HAM incluent des polluants comme le benzène, le toluène, l'éthylbenzène et le xylène dont les impacts sur la santé peuvent être très importants (diminution de la réponse immunitaire, effet neurotoxique, irritation des voies respiratoires...).[9]

2.2.2. Eléments en solution

Les chlorures (Cl^-) et les sulfates (SO_4^{2-}) font généralement l'objet d'un suivi particulier. Une forte teneur en chlorures peut indiquer une pollution par des eaux usées domestiques (sels régénérants utilisés dans les lave-vaisselle) ou par certaines eaux usées industrielles. Les pics de concentration en chlorures s'observent le plus souvent en période de gel (sels de déneigement). Les eaux usées de nombreuses industries peuvent également contenir des sulfates. C'est surtout l'augmentation brusque et importante des teneurs en chlorures et sulfates qui se révèle néfastes.

D'autres ions tels que le calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}), potassium (K^+), fluor (F^-) peuvent être également mesurés. Les éléments en solution sont exprimés en mg/l.[11]

2.2.3. Dureté de l'eau (ou titre hydrométrique)

La dureté d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques, excepté celles des métaux alcalins (Na^+ , K^+) et H^+ . Elle est souvent due aux ions Ca^{2+} et Mg^{2+} . La présence de ces deux cations dans l'eau tend souvent à réduire la toxicité des métaux. La dureté se mesure en mg de CaCO_3 par litre.[6]



Fig.3.1. dureté de l'eau idéale

Tableau.3.4. dureté de l'eau de quelques puits dans le champ de HMD

Puits	Longitude	Latitude	Altitude	TH
F06 Zone industrielle D10F4	6°2'57"	31°42'47"	163	83.1
F12 Prés B. ENTP D10F18	6°2'54"	31°43'17"	167	90.3
F20 Partie C 1850 logts D10F48	6°3'44"	31°42'38"	154	202.6
F13 Prés base ENAFOR D10F12	6°2'57"	31°42'47"	164	81.6
F15	6°3'58"	31°42'3"	137	140.2
F16 Cplexe hydraulique D10F27	6°3'26"	31°41'55"	168	102.5
F21	6°3'23"	31°41'10"	170	84.5
F17 cité 136 logts D10F42	6°4'21"	31°41'5"	156	108.3
H.Khouildet D10F45	6°11'19"	31°42'16"	142	110.9

2.2.4. Oxygène dissous (OD) et % de saturation en oxygène

Les concentrations en oxygène dissous constituent, avec les valeurs de pH, l'un des plus importants paramètres de qualité des eaux pour la vie aquatique.

L'oxygène dissous dans les eaux provient essentiellement de l'atmosphère et de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques. La concentration en oxygène dissous varie de manière journalière et saisonnière car elle dépend de nombreux facteurs tels que la pression partielle en oxygène de l'atmosphère, la température de l'eau, la salinité, la pénétration de la lumière, l'agitation de l'eau et la disponibilité en nutriments. Cette concentration en oxygène dissous est également fonction de la vitesse d'appauvrissement du milieu en oxygène par l'activité des organismes aquatiques et les processus d'oxydation et de décomposition de la matière organique présente dans l'eau.[11]

2.2.5. Métaux lourds

Le suivi des concentrations en métaux lourds (densité > 5 g/ cm³) est particulièrement important vu leur toxicité et leur capacité de bioaccumulation le long des chaînes alimentaires. Contrairement aux polluants organiques, les métaux ne peuvent pas être dégradés biologiquement ou chimiquement.

Les concentrations en cuivre, nickel, chrome, plomb, zinc, cadmium, arsenic sont régulièrement mesurées. Les métaux lourds caractérisent certains types de pollution, comme par exemple :

- la présence de cuivre et de nickel signe des rejets provenant d'industries de traitement de surface des métaux ;
- le chrome dénonce la présence d'une tannerie ;

- le plomb est lié à des pollutions diffuses;
- le zinc est évacué par des industries qui pratiquent la galvanisation ou la préparation d'alliages tels que le laiton et le bronze, il est également libéré lors du contact entre les eaux de ruissellement et les matériaux galvanisés (toitures métalliques, gouttières) ;
- le cadmium peut notamment être rejeté par des usines de galvanoplastie et des industries chimiques de textiles et de teintures.

Les métaux lourds se dissolvent très bien dans une eau acide (pH faible). Dans des eaux neutres ou basiques, ils précipitent et s'accumulent principalement dans la phase solide (boues). L'analyse de ces boues permet ainsi d'obtenir une vue de l'ensemble des déversements en métaux lourds qui ont eu lieu, tant en nature qu'en quantité.

3. Les normes Algérienne d'eau potable

Pour être consommée, l'eau doit répondre à des critères de qualité très stricte fixée par les responsables de la santé. Les normes définissant une eau potable sont variables suivant la législation en vigueur et selon le degré de développement des pays, c'est pour cette raison que les normes des pays développés (les Etats unis, Canada, l'Union Européen etc.) sont plus sévère en comparaison avec les pays en voie de développement (Algérie, Egypte, Tunisie etc.), où les moyens techniques de traitement des eaux sont moins disponibles. L'OMS fixe des normes moins sévères que celles des pays développés. Il existe ainsi près de 63 critères pour une eau propre à la consommation : ces critères, décidés selon le principe de précaution maximale qui permet de protéger les personnes dont la santé est la plus fragile, portent sur plusieurs paramètres fixés avec l'aide de l'U.E. En Algérie, l'article 10 du 26 juillet 2000 fixe la norme algérienne pour l'eau potable.[3]

Art.10. l'état assure une surveillance des différentes composantes de l'environnement. L'état doit définir les valeurs limites, les seuils d'alerte, et les objectifs de qualité, notamment pour l'air, l'eau, le sol et le sous-sol, ainsi que les objectifs de surveillance de ces milieux récepteurs et les mesures qui doivent être précisées par voie réglementaire. Sur cette base, l'Algérie a établi des normes de potabilité pour l'eau de boisson définies par l'arrêté du 26 juillet 2000 (JO n°51/00) relatif aux spécifications des eaux de boisson préemballées et aux modalités de leur présentation émanant du ministère du commerce. Ces normes ont été adoptées par des différentes directions de l'hydraulique et qui concernent 41 paramètres de qualité classés en 4 catégories: les

paramètres organoleptiques, les paramètres physico-chimiques, les substances indésirables et les substances toxiques.

Tableau.3.5. Normes algériennes pour l'eau minérale naturelle et l'eau de source.

Paramètres	Teneur	Unité
Paramètres organoleptiques		
Couleur	25	mg/l
Odeur	Doit être accessible	Taux de dilution
Turbidité	1 - 2	NTU
Saveur	Doit être accessible	Taux de dilution
Paramètres physico-chimiques		
Température	25	°C
pH	6.5 - 8.5	-
Conductivité électrique	2800	µS/cm
Résidu sec (110°C)	2000	mg/l
Calcium	75 - 200	mg/l
Magnésium	150	mg/l
Sodium	200	mg/l
Potassium	20	mg/l
Chlorures	200 - 500	mg/l
Sulfates	200 - 400	mg/l
Carbonates-bicarbonates	-	-
Substances indésirables		
Aluminium	0.2	mg/l
Nitrates	50	mg/l
Nitrites	0.1	mg/l
Ammonium	0.05 - 0.5	mg/l
Phosphates	0.5	mg/l
MO (permanganate)	3.5	mg/l
Bore	0.3	mg/l
Fer	0.3	mg/l
Cuivre	0.05 - 1.5	mg/l
Zinc	1 - 5	mg/l
Manganèse	0.5	mg/l
Baryum	0.7	mg/l
Phénols	-	-
Fluorures	0.8 - 2	mg/l
Argent	-	-
COT	-	-
Azote Kjeldahl	2	mg/l
Substances toxiques		
Arsenic	0.05	mg/l
Cadmium	0.01	mg/l
Cyanure	0.05	mg/l
Mercuré	0.001	mg/l
Plomb	0.05	mg/l
Chrome	0.05	mg/l
Nickel	0.02	mg/l
Antimoine	0.005	mg/l
Sélénium	0.01	mg/l

4. Présentation et discussion des résultats obtenues de la zone de HMD

D'après l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques de la wilaya de Ouargla (ANRH), on a les résultats obtenues des analyses effectuée sur un nombre des puits des eaux souterrains dans la zone de Hassi Messaoud qui a été fait en 2016. Les eaux de ces puits sont d'origine de la nappe de complexe terminale (CT).

L'objectif de l'étude est de déterminer l'impact des activités pétrolière (l'extraction et la production des hydrocarbures) sur la qualité de ressources hydrauliques souterraines dans la zone de HMD. Le tableau ci-dessous montre les puits analysés dans la zone étudiée:

Tableau.3.6. Les puits analysés dans la zone de HMD.

Désignation	Lieu dit	Année réel	Longitude	Latitude	Altitude	Prof totale	Date Analyse Chimique
F06 Zone industrielle D10F4	HMD	1978	6°2'57"	31°42'47"	163	365	2016
F12 Prés B. ENTP D10F18	HMD	1987	6°2'54"	31°43'17"	167	360	2016
F20 Partie C 1850 logts D10F48	HMD	1997	6°3'44"	31°42'38"	154	350	2016
F13 Prés base ENAFOR D10F12	HMD	1988	6°2'57"	31°42'47"	164	360	2016
F15	HMD	1988	6°3'58"	31°42'3"	137	100	2016
F16 Cplexe hydraulique D10F27	HMD	1993	6°3'26"	31°41'55"	168	360	2016
F11 cité 272 logtss D10F11	HMD	1987	6°4'7"	31°41'1"	161	350	2016
F21	HMD	1997	6°3'23"	31°41'10"	170	360	2016
F17 cité 136 logts D10F42	HMD	1996	6°4'21"	31°41'5"	156	360	2016
H.Khouildet D10F45	HMD	1997	6°11'19"	31°42'16"	142	340	2016

4.1. Les résultats

4.1.1. Etude des cations

- Calcium (Ca^{2+})

Il provient de la dissolution des roches carbonatées due à la présence de gaz carbonique dans l'eau qui s'est infiltré à travers les formations du Néogène e du Sénonien carbonaté.

Le calcium peut aussi provenir du lessivage des terrains anhydritiques (CaSO_4) du Sénonien carbonaté. Les valeurs mesurées varient entre 133.3mg/l et 316.7mg/l.

- **Magnésium (Mg^{2+})**

Il peut être apporté par la dissolution des formations du Sénonien carbonaté; soit par la dissolution des dolomies dans les terrains anhydritiques (MgSO_4), ou par les formations dolomitiques libérant le magnésium par l'attaque des eaux en présence de gaz carbonique.

D'après les résultats des analyses de nombre des puits dans le champ de HMD, la valeur minimale est de 84.51mg/l, par contre, la valeur maximale est de 366.3mg/l.

- **Sodium (Na^+)**

Le sodium est toujours présent dans l'eau, il provient du lessivage des formations géologiques riches en NaCl et de la dissolution des formations argileuses et marneuses du champ de Hassi Messaoud. Les analyses révèlent que la valeur minimale est de 162.5mg/l, tandis que la valeur maximale est de 755mg/l.

- **Potassium (K^+)**

Le potassium est beaucoup moins abondant que le sodium, où la valeur minimale est de 11.5mg/l, et la valeur maximale est de 35.5mg/l.

Tableau.3.7. Les résultats des cations des puits analysés dans la zone de HMD.

Désignation	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+
F06 Zone industrielle D10F4	193.3	84.51	12	182.5
F12 Prés B. ENTP D10F18	203.3	111.4	13	200
F20 Partie C 1850 logts D10F48	200	366.3	35	755
F13 Prés base ENAFOR D10F12	183.3	107.5	11.5	162.5
F15	316.7	148.47	35.5	610
F16 Cplexe hydraulique D10F27	233.3	107.5	16	287.5
F11 cité 272 logtss D10F11	133.3	94.72	13.8	305
F21	155	87.06	16	315
F17 cité 136 logts D10F42	241.7	116.5	16	287.5
H.Khouildet D10F45	266.7	107.5	14.8	405

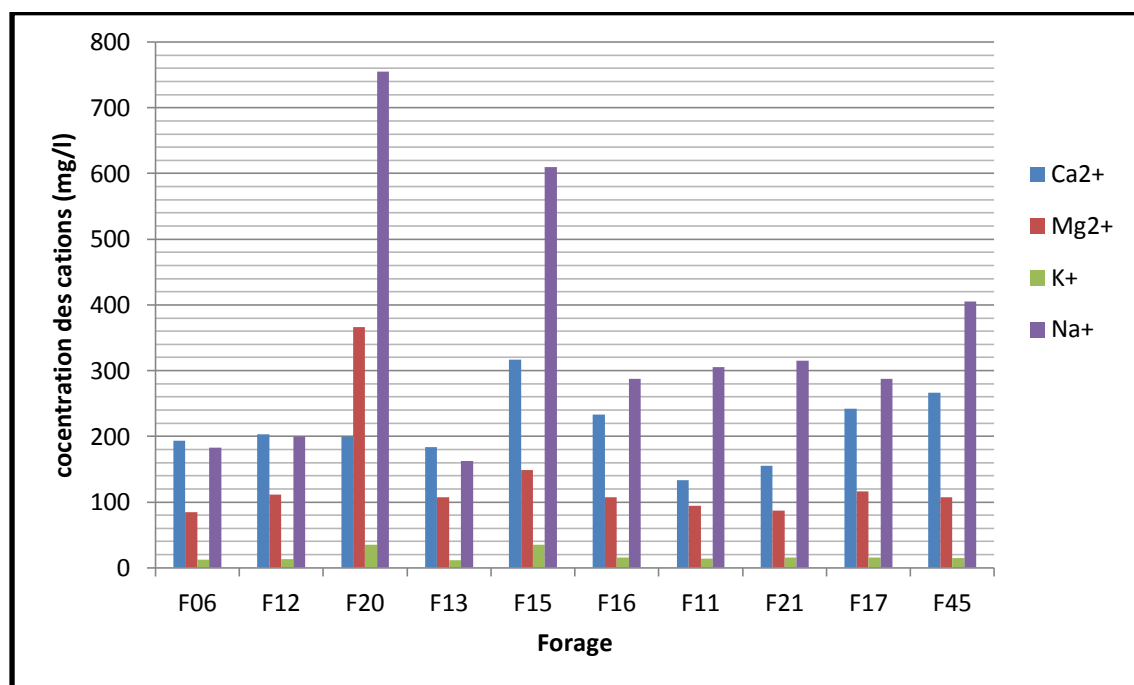


Fig.3.2. Concentration des cations des puits analysés dans la zone de HMD.

4.1.2. Etude des anions

• Chlorure (Cl⁻)

Les chlorures rencontrés en grande quantité dans les eaux souterrains, proviennent de la dissolution et lessivage des terrains salifères. La teneur en chlorure est très variable, et toutes les eaux de notre champ d'étude ont des teneurs très élevées par rapport aux normes européennes (< 250mg/l).

Les analyses révèlent que la valeur minimale est de l'ordre de 245mg/l, tandis que la valeur maximale est de l'ordre de 987.5mg/l.

• Sulfates (SO₄⁻)

Les sulfates sont toujours présents dans les eaux naturelles, leur présence dans les eaux souterraines provient soit de la dissolution du gypse qui est un sulfate de calcium (CaSO₄) hydraté faiblement soluble, soit du lessivage des terrains argileux et marneux. La teneur admissible des sulfates fixée par l'OMS est de 250mg/l.

Les résultats des analyses chimiques obtenues montrent que la concentration des sulfates dans le champ de HMD est très variable, elle est comprise entre 600mg/l et 1812.5mg/l.

• Nitrates (NO₃⁻)

Les nitrates sont des composés d'azote et d'oxygène, la plupart des eaux naturelles contiennent normalement des nitrates à des doses faibles de quelques milligrammes par litre.

Les niveaux naturels en nitrate dans les eaux souterraines sont en général, très faibles (typiquement moins de 10 mg/l), mais des nombreuses eaux souterraines ont une concentration élevée en nitrate du fait de l'enrichissement des sols.

D'après les résultats des analyses des puits dans le champ de HMD, la valeur minimale est de 11.5mg/l, par contre, la valeur maximale est de 49.5mg/l.

Tableau.3.8. Les résultats des anions des puits analysés dans la zone de HMD.

Désignation	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	NO ₃ ⁻
F06 Zone industrielle D10F4	290	625	14
F12 Prés B. ENTP D10F18	300	625	14
F20 Partie C 1850 logts D10F48	893.75	1812.5	49.5
F13 Prés base ENAFOR D10F12	245	600	14
F15	987.5	1150	45.5
F16 Cplexe hydraulique D10F27	490	700	11.5
F11 cité 272 logtss D10F11	450	750	9.5
F21	545	625	13.3
F17 cité 136 logts D10F42	525	875	12.5
H.Khouildet D10F45	662.5	825	11.5

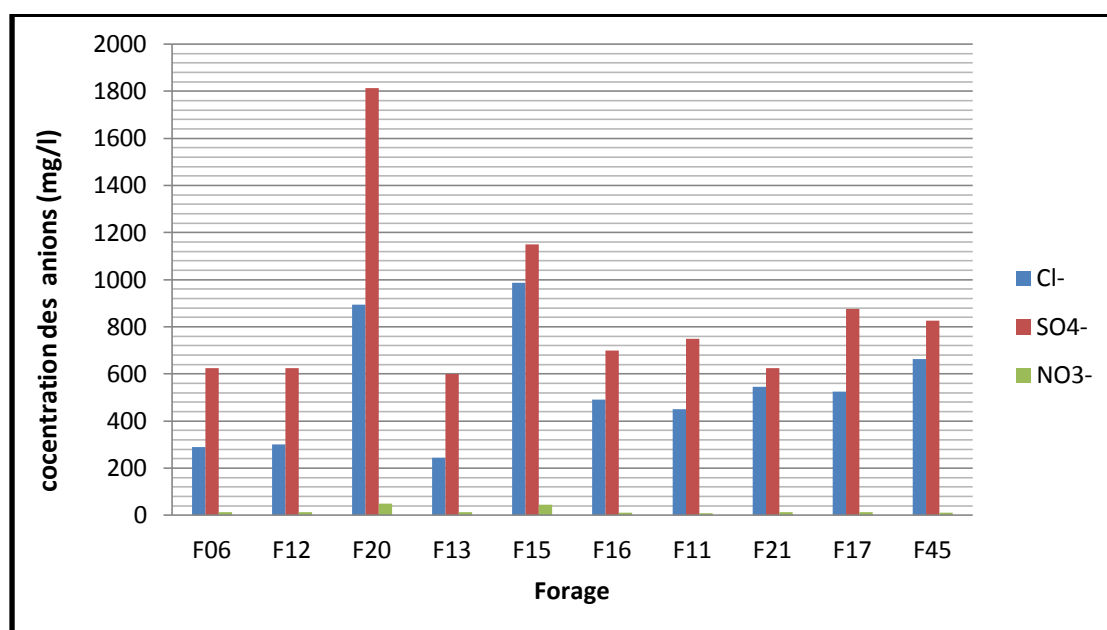


Fig.3.3. Concentration des anions des puits analysés dans la zone de HMD.

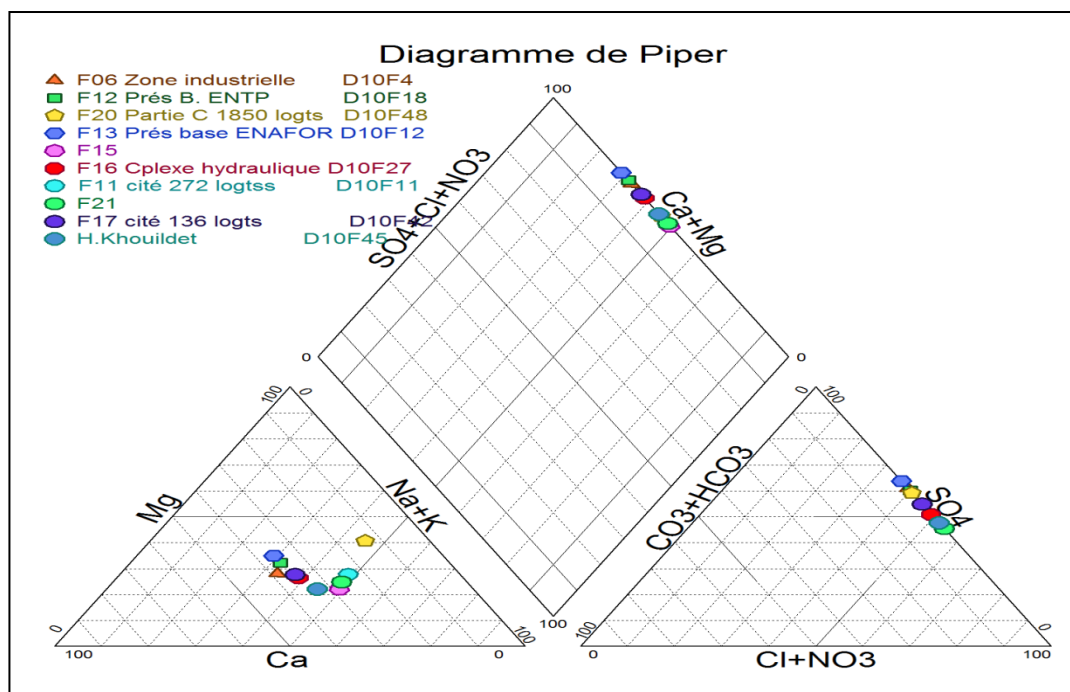


Fig.3.4. Diagramme de Piper des puits analysés dans la zone de HMD.

Le diagramme de Piper utilise les éléments majeurs pour représenter les différents faciès des eaux souterraines. Il permet également de voir l'évolution d'une eau, passant d'un faciès à un autre, grâce à des analyses espacées dans le temps ou des analyses d'échantillons pris à des endroits différents. Le diagramme de Piper est très utile pour représenter toutes autres sortes de groupes d'analyses. Le diagramme de Piper est composé de deux triangles et un losange. Les deux triangles sont d'abord remplis puis le losange. Les valeurs utilisées sont exprimées en $\% \cdot \text{m} \cdot \text{éq} \cdot \text{l}^{-1}$.

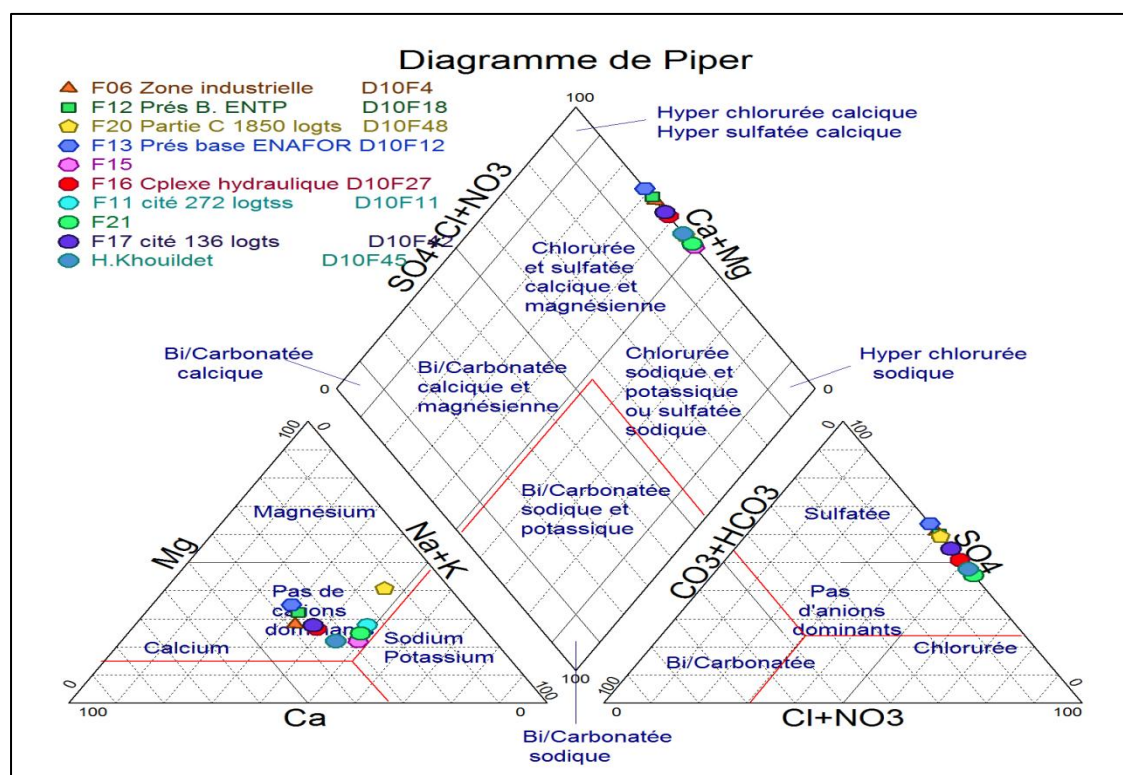
Les anions et les cations sont représentés dans deux diagrammes ternaires distincts. Les sommets du diagramme ternaire des anions sont le sulfate, le chlorure et le carbonate plus l'hydrogénocarbonate. Les sommets du diagramme ternaire des cations sont le magnésium, le calcium et sodium plus le potassium. Les deux diagrammes ternaires sont projetés dans un losange. Le losange est une matrice de passage du graphique des anions (sulfate + chlorure/total des anions) et des cations (sodium + potassium/total des cations).

4.1.3. Faciès chimiques

Les faciès chimiques sont couramment utilisés en hydrogéologie pour la description de la composition des eaux naturelles. Les résultats des faciès chimiques des puits analysés dans la zone de HMD sont présentés dans le tableau ci-dessous:

Tableau.3.9. Les faciès chimiques des puits analysés dans la zone de HMD.

Désignation	Lieu dit	Longitude	Latitude	Altitude	Faciès Chimique
F06 Zone industrielle D10F4	HMD	6°2'57"	31°42'47"	163	Chlorurée-Sulfate
F12 Prés B. ENTP D10F18	HMD	6°2'54"	31°43'17"	167	Chlorurée-Sulfate
F20 Partie C 1850 logts D10F48	HMD	6°3'44"	31°42'38"	154	Sulfatée-Sodique
F13 Prés base ENAFOR D10F12	HMD	6°2'57"	31°42'47"	164	Chlorurée-Magnésienne
F15	HMD	6°3'58"	31°42'3"	137	Chlorurée-Sodique
F16 Cplexe hydraulique D10F27	HMD	6°3'26"	31°41'55"	168	Chlorurée-Sulfate
F11 cité 272 logtss D10F11	HMD	6°4'7"	31°41'1"	161	Sulfatée-Sodique
F21	HMD	6°3'23"	31°41'10"	170	Chlorurée-Sulfate
F17 cité 136 logts D10F42	HMD	6°4'21"	31°41'5"	156	Chlorurée-Sulfate
H.Khouildet D10F45	HMD	6°11'19"	31°42'16"	142	Chlorurée-Sodique

**Fig.3.5.** Diagramme de Piper des résultats des faciès chimiques des puits analysés dans la zone de HMD.

Le diagramme de Schoeller-Berkaloff (Fig.3.6) permet entre autres de reconnaître simplement le faciès d'une eau souterraine, en utilisant les concentrations des éléments majeurs et en les reportant sur un graphique en colonnes à échelles

logarithmiques. on observe une grande concentration des ions de SO_4 dans les différents puits analysés.

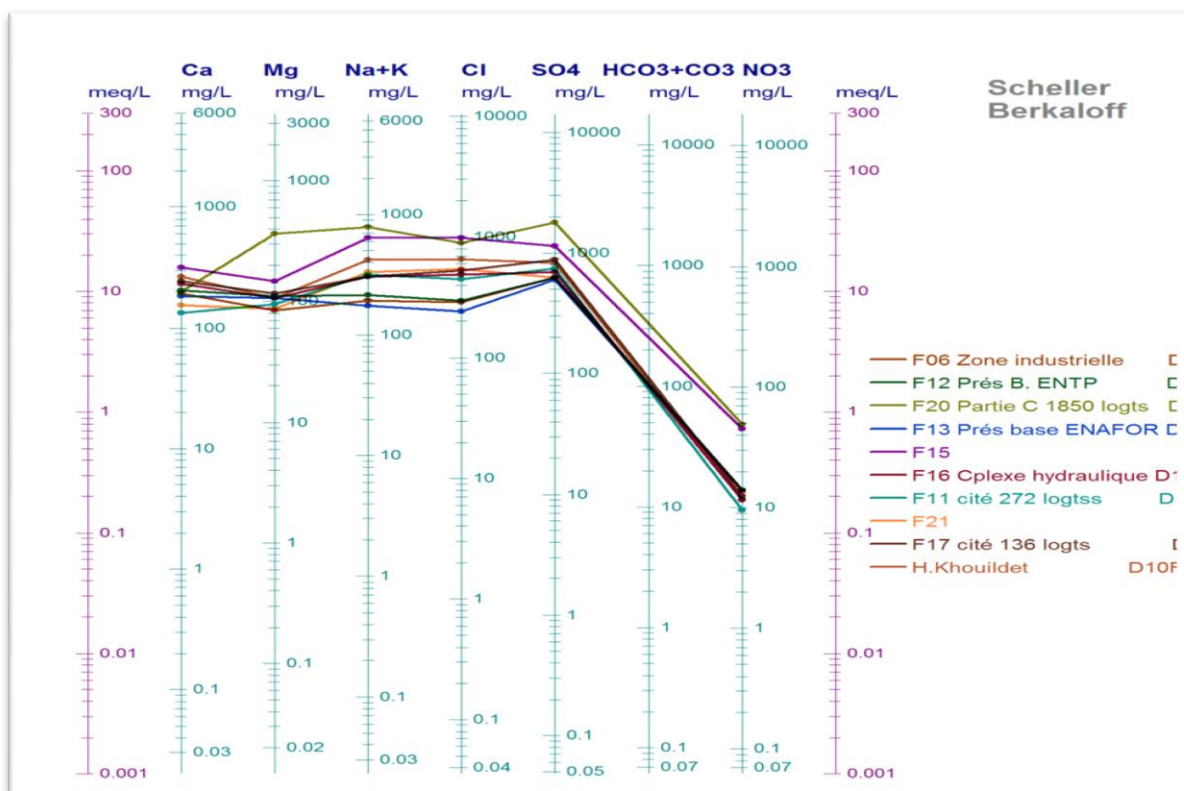


Fig.3.6. Diagramme de Schoeller-Berkaloff des résultats des faciès chimiques des puits analysés dans la zone de HMD.

5. Conclusion

L'étude hydrochimique nous a permis de prendre une vue sur la qualité chimique des eaux souterraines, dans la région de notre étude. La classification des eaux de la nappe des puits analysés (Complexe Terminal) a montré la dominance du faciès Chlorurée-Sulfate et Sulfatée-Sodique pour la nappe du Sénonien. La dominance de ces faciès est liée à la géologie locale de la région. La forte minéralisation de la nappe est en relation avec la situation grave de quelques forages du Complexe Terminal qui présentent des perforations au niveau de tubages, ceux-ci favorisent la communication entre les nappes en particulier avec la nappe superficielle qui est trop minéralisée, et par la pollution de cette nappe par les activités de l'industrie pétrolière dans le champ de Hassi Messaoud.

CHAPITRE 04

La pollution des eaux souterraines

1. Généralités sur la pollution des eaux souterraines

La composition des eaux souterraines est influencée naturellement par le substrat géologique qu'elles parcourent. Mais les activités humaines, elles aussi, marquent leur qualité. Certaines nappes sont peu vulnérables aux pollutions anthropiques car elles sont bien protégées par des couches de couverture épaisses et peu perméables. D'autres subissent ces détériorations de manière dramatique, qui peuvent conduire à l'abandon des ressources. La pollution des eaux superficielles est très perceptible, attire de suite l'attention sur les dangers et les mesures à prendre pour la combattre. Par contre la pollution des eaux souterraines est moins apparente, de telle sorte que la tendance générale est de la négliger. Mais elle est grande dangereuse, car elle atteint les ressources les plus précieuses par leur qualité et la nature de leurs réserves. On distingue deux sources de pollutions à savoir:

1.1. La pollution ponctuelle

Elle est formée de rejets localisés, plus ou moins abondants relativement faciles à identifier. Chronique ou accidentelle, cette pollution est provoquée par des déversements domestiques, urbains, ou industriels peu ou non traités.[5]

1.1.1. La pollution urbaine

Les eaux usées urbaines transportent des corps en suspension et en solution comme les produits ménagers. Les stations d'épuration ne traitent que 65% des eaux usées et ne traitent généralement pas les composés chimiques en solution. Certains composés organiques notamment les phosphates sont à l'origine de déséquilibres des écosystèmes en favorisant par excès le développement de certains végétaux indésirables qui consomment de l'oxygène du milieu jusqu'à priver les animaux qui s'y trouvent.[5]

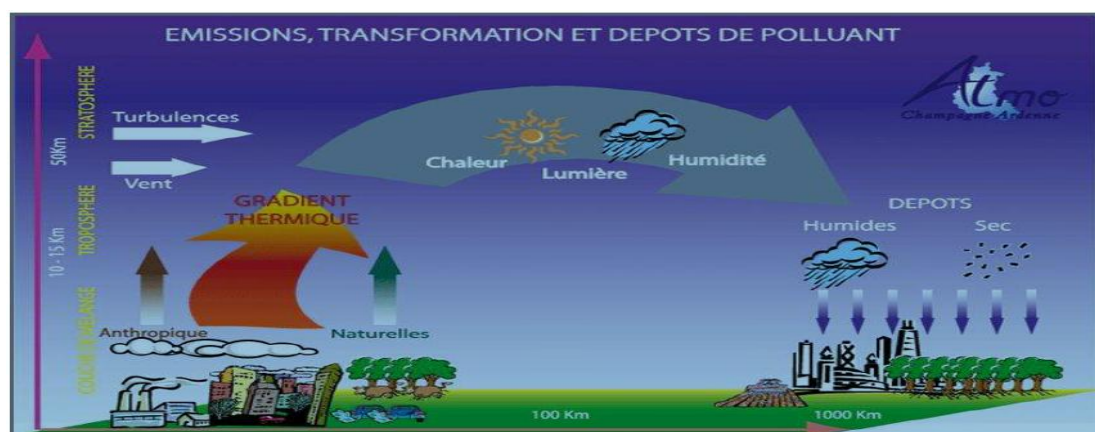


Fig.4.1. Les pollutions par l'urbanisme.

1.1.2. La Pollution industrielle

Une usine doit être équipée d'une station d'épuration (STEP). Un traitement primaire élimine les matières en suspension (ex: résidus de lavage, corps gras, huiles), puis un traitement secondaire élimine les matières en solution (ex: métaux lourds). En réalité, seulement 65% des eaux usées passent en station d'épuration ou le traitement secondaire n'est généralement pas mis en application (bien souvent pour des raisons de coût).[5]

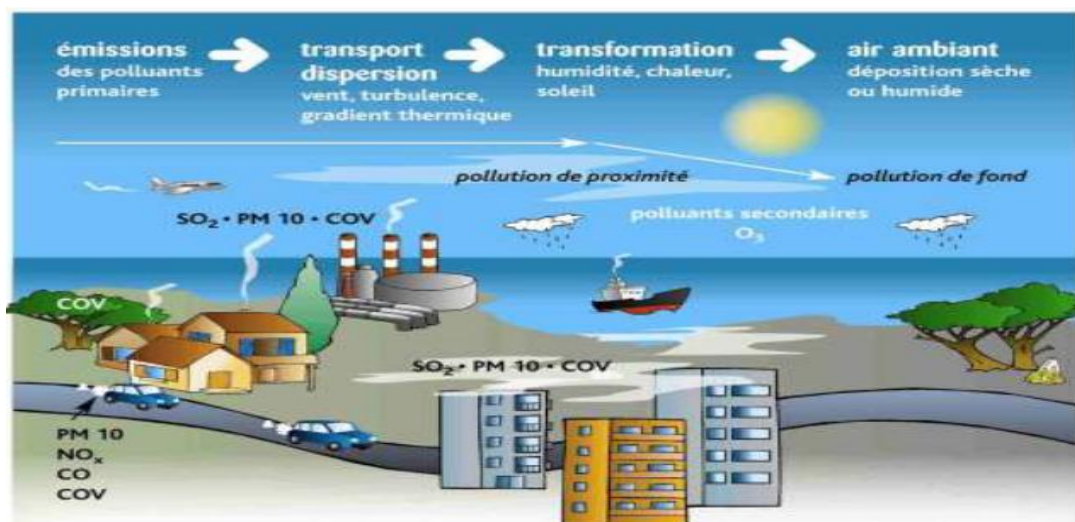


Fig.4.2. Les pollutions produites par l'industrie.

1.2. La pollution diffuse

Elle est due au lessivage et à l'érosion plus ou moins rapide et accusée des sols. Différentes substances sont entraînées vers les nappes et les rivières tel que les hydrocarbures, les métaux lourds, les pesticides. Cette pollution peut s'étendre sur des grandes surfaces. Elle est difficile à identifier et donc difficile à maîtriser.[5]

1.2.1. La pollution agricole

Les engrais apportent aux végétaux cultivés les éléments nécessaires à leur croissance notamment l'azote, le potassium, et le phosphore.

Les dérivés azotés (spécialement les nitrates) et les phosphates provoquent des déséquilibres dans les milieux qui reçoivent les eaux de ruissellement et les eaux d'infiltration issues de l'agriculture en favorisant le développement des algues qui prennent place à toute autre forme de vie à cause de leur sur développement.

Les pesticides sont des produits chimiques destinés à détruire les champignons (fongicides), les mauvaises herbes (herbicides), les vers de terre (hématicides) et les insectes (insecticides) qui parasitent les agricultures. Ces produits sont élaborés pour

être rapidement neutralisés avec une durée de vie courte une fois dissous dans le sol, mais l'utilisation de mauvaise préparation peut avoir des effets d'intoxication significatifs.

L'accumulation de ces produits dans les cours d'eau peut avoir un impact important sur le milieu marin, à l'endroit même où se déverse des fleuves, ou bien par le retour des nappes souterraines qui forment des sources sous-marines ou proches du bord de la mer. Mais dans le champ de HMD la pollution agricole est moins répartie parce que cette région est une zone industrielle.[5]

1.2.2. La pollution atmosphérique

L'atmosphère terrestre s'il contient des polluants peut être une source non négligeable de pollution. En effet en cas d'orage les sols seront contaminés et le ruissellement et l'infiltration des polluants menacent à la fois les eaux superficielles et les eaux souterraines. Cette contamination qui risque d'être durable cause de grande difficulté de traitement.[5]

1.3. La pollution des eaux souterraines par l'industrie pétrolière

C'est la pollution chimique causée par les activités pétrolières, forages, production, raffineries, réservoirs, oléoductes, réservoirs souterrains, industries des produits pétroliers. Mais la menace majeure des eaux souterraines par ces industries pétrolières est les opérations de forage par un double risque de contamination, soit par infiltration des boues rejetées dans les bourbiers, ou par injection et perte de circulation de boue lors de l'opération de forage. A cet effet, il serait nécessaire de donner un aperçu sur ce fluide utilisé lors de cette opération (la boue de forage).

1.3.1. Boues à l'eau

Tableau.4.1. Types, caractéristiques, compositions et domaines d'utilisation des boues à l'eau.[7]

Classe de la boue	Type de la boue	Composition	Caractéristiques de la boue	Cas principaux d'utilisation
Boues à l'eau	Boues naturelles		Densité 1.16-1.2 Viscosité 36-42 Filtrat < 10 ml	Forage de surface ; Forage à faible profondeur < 1500m
	Boues bentonitiques	Bentonite 50-80 kg CMC 0-5 kg Soude 2.4 kg	Densité 1.03-1.05 (faible) Viscosité 40-70 s (trop élevée) Filtrat 12 -25 8.5<PH<9.5	Boues de démarrage Forage à faible profondeur < 1200m

Classe de la boue	Type de la boue	Composition	Caractéristiques de la boue	Cas principaux d'utilisation
Boues à l'eau	Boues bentonitiques traité au mélange tanin-soude 'boue rouge'	Bentonite 40-60 kg Tannin 2-4 kg CMC 1-5 kg Soude 0.5-1 kg	Filtrat 2 -4 cm ³ PH<11	Forage des marnes Formations gypseuses ou d'anhydrite
	Boues bentonitiques traité au mélange FCL-soude	Bentonite 50-60 kg FCL 20-40 kg LC 10-20 kg CMC 0.5 kg Soude 2-4kg	PH>9 Bonne résistance en température 200 °C	Forage à moyenne profondeur < 3000m Forage des marnes
	Boues à la chaux	Bentonite 50-80 kg Chaux 8-15 kg Tanin 3-6 kg Amidon 1-15 kg Soude 3-6 kg	150 °C < T < 160°C	Forage à grande profondeur et à T < 150 °C Forage des couches à fortes pression Forage des marnes Reforage de ciment
	Boues au gypse	Bentonite 50-70 kg Gypse 10-20 kg FCL 12-15 kg CMC 5-10 kg Soude 3-4 kg	PH>9 Bonne résistance en température 200 °C	Formations gypseuses ou d'anhydrite Argiles à haute pouvoir de dispersion Forage à temp.> 150°C Forage des marnes Forage des couches à fortes pression Argiles gonflantes
	Boues salées saturées	Sel 300 kg Attapulgite 50 kg Amidon 20-30 kg	Densité < 1.2 130 °C < T < 140°C corrosive	Forage du sel massif et argile salifère Forage en cas de venue d'eau salée Formations gypseuses ou d'anhydrite
	Boues à eau de mer	Bentonite 75-100 kg Attapulgite 30-80 kg FCL 15-25 kg CMC raffiné 1-5 kg Soude 5-10 kg LC 5-10 kg	Densité 1.1-1.15 9.5<PH<10.5 Bonne résistance en température 200 °C	Offshore Boues de démarrage Formations gypseuses ou d'anhydrite Formations argileuses
	Boues émulsionnées	Boue à l'eau Huile 5-10 kg	Celles de la boue base et : Diminution du filtrat Pouvoir lubrifiant	Ceux de la boue base et : Diminution de risque de coincement

1.3.2. La boue à base d'huile (OBM)

Ce sont des fluides dont la phase continue est de l'huile (pétrole, fuel, huile minéral, gazole ...) et la phase dispersée est de l'eau.

Tableau.4.2. Les principales caractéristiques des huiles couramment utilisées.[2]

	Densité à 15°C	Point éclair	Point d'aniline	% d'aromatique
Diesel	0.840	65°C	68°C	25
EXXON Escaid 110	0.790	79°C	76°C	< 0,5
TOTAL HDF 2000	0.808	105°C	89°C	0,4
CONOCO LVT 200	0.806	93°C	74°C	< 1,0
TOTAL EDC 99	0,811	101 °C	80 °C	- 0 -

- Eau: 2 à 5% permet d'adapter les caractéristiques générales de la boue. Elle est émulsionnée.
- Agents plastifiants: pour contrôler la filtration et la viscosité, on ajoute de produits tels que: asphalte soufflé, Argile organophile, noir fume, agents émulsionnants et stabilisants, agents fluidifiants, alourdissants: CaCO₃, BaSO₄, galena, et agents de neutralisation de l'eau.[10]

❖ Les boues inverses

Tableau.4.3. Types, caractéristiques, compositions et domaines d'utilisation des boues à l'huile.[7]

Classe de la boue	Type de la boue	Caractéristiques de la boue	composition	Cas principaux d'utilisation
Boues à l'huile	Boues conventionnelles	Filtrat faible	Huile 95-98 % Eau 2-5 % agent plastifiant agent émulsifiant agent fluidifiant alourdissant	Forage d'une couche productrice Forage du sel massif Reprise et entretien du puits Argiles gonflantes et à fort pouvoir de dispersion Problèmes de coincement
	Boues à émulsion inverse	Filtrat faible Prix de revient mois élevé	Huile 80 à 30 % Eau 20 à 70 %	Forage d'une couche productrice Problèmes de forage à haute température Problèmes de déviation Grande épaisseur de sels ou d'anhydrite Forage dans des zones trop froides

1.3.3. Principaux produits pour les fluides de forage

Un très grand nombre de produits sont employés dans les fluides de forage. Certains ont un rôle particulier, d'autres ont un rôle multiple.

Les principaux produits employés dans les boues vont être examinés.

❖ Colloïdes argileux

• Les bentonites

Les bentonites sont des argiles sodiques du type montmorillonite qui présentent la propriété de se disperser dans l'eau douce en absorbant de grandes quantités d'eau.

Les bentonites sont employées pour augmenter la viscosité et les gels des boues douces et diminuer leur filtrat. En milieu salé (plus de 35 g/l de NaCl), les bentonites sont inefficaces et ne servent alors que de support colloïdal.[10]

• Les attapulgites

Les attapulgites sont des argiles du type Sépiolite qui présentent la propriété de gonfler et de rester en suspension en milieu salé. Cette propriété est employée pour augmenter la viscosité et les gels des boues salées (> 35 g/l de NaCl).[10]

❖ Les fluidifiants et défloculants

• Les lignosulfonates

Les lignosulfonates sont extraits de la pâte à papier de conifères par traitement de la pulpe à l'aide d'un acide sulfite de métal lourd.

Les lignosulfonates de ferchrome fonctionnent pratiquement, dans toutes les boues à base d'eau. Ces produits possèdent la particularité de se comporter, comme un fluidifiant entre 2 et 8 g/l de concentration, et comme un inhibiteur de gonflement et de dispersion des argiles à des doses plus élevées.[10]

Tableau.4.4. Les produits fluidifiant. [12]

Dénomination	Rôle secondaire	Domaine d'utilisation
Tanin		Boues douces Teneur en Ca ²⁺ <530mg/l Et Teneur en Cl ⁻ <20mg/l
FCL (lignosulfonate de fer et de chrome)	Réduction du filtrat Inhibiteur de gonflement des argiles à concentration plus élevée.	Boues douces salées Boues au FCL ph>9 Température >200 c°
LC (ligites chromées)		

❖ Les additifs minéraux

- La soude caustique (NaOH)
- Le carbonate de soude (Na_2CO_3)
- Le bicarbonate de soude (NaHCO_3)
- Le gypse ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$)
- La chaux éteinte ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)
- Le sel (NaCl)
- Les anti-mousses
- Les agents de décoincement
- Les anticorrosions
- Les anti-bourrants et accélérateurs de vitesse d'avancement

❖ Les alourdissants

- La barytine ou sulfate de baryum (BaSO_4 densité : 4,2)
- Le carbonate de calcium (CaCO_3 densité : 2,7)

❖ Les colmatants

- **Colmatants granulaires**
- Colmatants fibreux
- Colmatants lamellaires
- Colmatants gonflants
- Colmatants à prise

1.3.4. Le devenir des rejets des fluides de forage

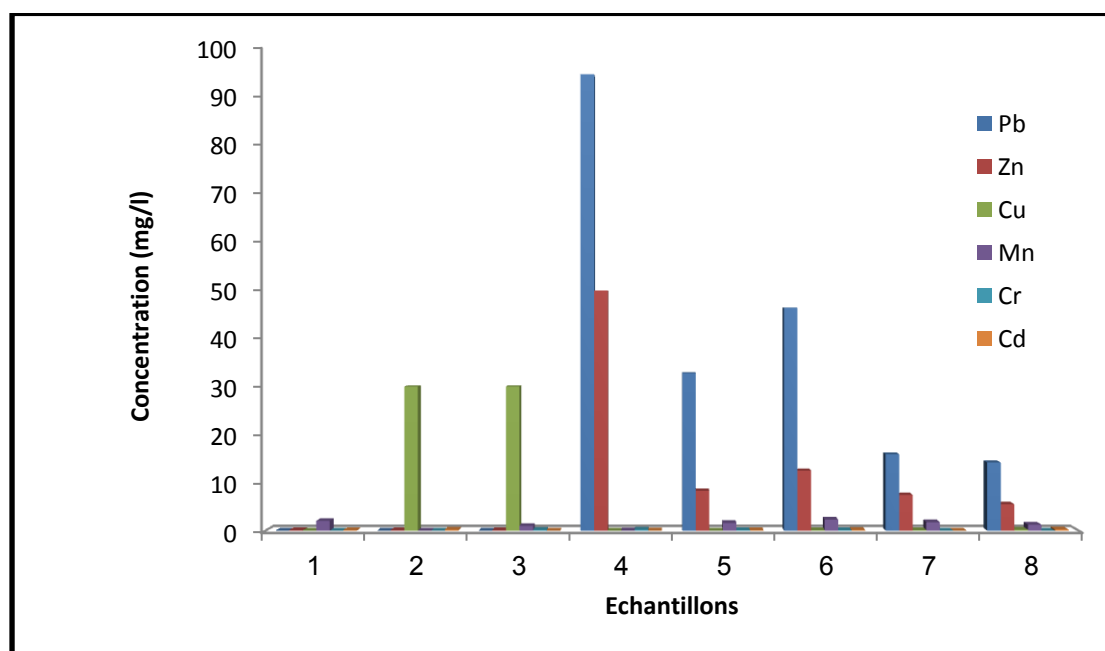
A la sortie du puits, le fluide de forage remonté est chargé de débris et cuttings, une chaîne d'appareillage est installée pour assurer le nettoyage et l'épuration de ce fluide avant d'être réinjecté dans le puits. Dans la plus part des cas, ce traitement est insuffisant pour débarrasser la boue de tous les solides forés.

Le fluide de forage après un certain nombre de cycles perd ses caractéristiques physico-chimiques, dans ce cas il est injecté dans une grande excavation réalisée à cet effet, appelée bourbier.

Après une durée, les produits chimiques qui se trouvent dans la boue usée infiltrent dans le sous sol et arrivent aux aquifères souterrains qui stockent de grandes quantités d'eau, et cela va causer un grand problème, ce qui est la pollution de ces ressources des eaux souterraines.[6]

Tableau.4.5. Les résultats d'analyses des métaux lourds des borbiers de forage dans le champ de HMD (Sonatrach 2015 - 2018).

Echantillons	Métaux lourds: Concentration en (mg/l)					
	Pb	Zn	Cu	Mn	Cr	Cd
1	0.01	0.1	0.01	2.02	00	0.1
2	0.01	0.1	30	0.01	00	0.2
3	0.01	0.11	30	0.97	0.16	00
4	95	50	00	0.03	0.2	0.03
5	32.8	8.3	00	1.6	0.11	0.11
6	46.4	12.5	0.1	2.3	0.1	0.13
7	15.9	7.45	0.11	1.75	00	00
8	14.2	5.5	0.2	1.24	00	0.25

**Fig.4.3.** Concentration des métaux lourds des borbiers de forage dans le champ de HMD (Sonatrach 2015).

1.3.5. La contamination du sol et sous sol

Pendant le forage, la contamination du sol et sous-sol résultant par plusieurs sources, parmi ces dernier on trouve:

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

1.3.6. Opération de production sur puits

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

- Lors des déversements d'hydrocarbures volontaires en surface (dégorgement des puits ou lors d'opérations de snubbing de work oe over, etc... ..).
- Des fuites d'hydrocarbures dues aux détériorations et à la corrosion des tubages et casing
- Des résidus de pertes de fracturation, d'acidification, etc. Pendant les opérations spéciales
- Des rejets de produits de pertes issues de l'opération d'évaluation du réservoir
- Des rejets de produite utilisent pour l'entretien des puits et des installations de production.

2. Matériels et méthodes

Des analyses chimiques effectuées par l'Agence nationale des ressources hydrauliques (A.N.R.H) de Ouargla, la concentration annuelle dans notre étude, représente la moyenne des valeurs enregistrées durant une année. Les données ont porté sur une période de 12 années (2000-2012). On a choisi les forages d'eau exploités où il ya les

ressources mobilisées. Le réseau de suivi comprend 44 sites constitués de forages, piézomètres et puits. Les analyses sont effectuées deux fois par an, en saison sèche (avril-mai) et en saison des pluies (octobre-novembre). Les analyses effectuées portent sur plusieurs éléments en traces.

- **Le Fer (Fe (T)) et Manganèse (Mn²⁺)**

Ces deux éléments chimiques sont souvent rencontrés ensemble dans la nature. La présence de fer dans l'eau peut avoir diverses origines: naturelle par le lessivage des terrains argileux, ou industrielle (métallurgiques, sidérurgiques). Par contre, la présence du manganèse, du point de vue industriel, est lié à la métallurgie, l'industrie électrique et l'industrie chimique. Dans les eaux bien aérées, les concentrations de ces deux éléments sont souvent faibles. En revanche dans les eaux peu aérées (nappe captive), on observe de fortes concentrations. Le manganèse peut apparaître dans l'eau à un potentiel Redox plus élevé que celui du fer.

- **Chrome (Cr (T)) et étain (Sn⁴⁺)**

Dans la nature, le chrome se retrouve dans les roches basiques avec des teneurs plus importantes et sous forme de traces dans les silicates (pyroxène et grenat). Son origine industrielle est liée à la galvanoplastie, tannerie, raffinerie, métallurgie, colorants, textile et peinture. Dans les eaux, le chrome se présente sous deux formes chimiques: la forme hexavalente (Cr VI) et la forme trivalente (Cr III). Le chrome VI représente la forme la plus toxique pour l'homme. L'étain est issu de la cassitérite (SnO₂) à l'état naturel, par contre sur le plan industriel, il est lié à la production d'alliages communs de bronze (étain et cuivre), d'étain à braser (étain et plomb), et de métaux pour caractères d'imprimerie (étain, plomb et antimoine), la chimie industrielle (catalyseurs et base de pigments colorés), la soudure et les produits de la galvanoplastie.

- **Zinc (Zn²⁺)**

Le zinc est un métal très répandu sur le globe. Il entre dans les alliages, la galvanisation des pièces métalliques et dans la fabrication des pigments pour la teinture.

- **Plomb (Pb²⁺)**

Le plomb se présente sous la forme de sulfures (galène), de carbonates (cérusite) et phosphates (pyrophosphite). Dans l'industrie, on le trouve dans la fabrication des accumulateurs acides, de la soudure, des pigments.

- **Aluminium (Al^{3+})**

On trouve couramment l'aluminium sous la forme de silicate d'aluminium ou combiné avec d'autres éléments, tels que le sodium, le potassium, le fer, le calcium et le magnésium. Dans l'industrie, il est utilisé dans le traitement de surface, la métallurgie, l'industrie de l'alumine, les colorants et l'industrie pétrochimique.

- **Cadmium (Cd^{2+})**

Le cadmium est un métal relativement rare dans la nature. Sa stabilité dans l'eau est fonction du pH et du potentiel d'oxydoréduction. Son origine, d'un point de vue industriel, est liée aux matières plastiques, huiles de moteurs, piles et dans les produits de stabilité thermique.

- **Cuivre (Cu^{2+})**

Il est très employé dans les alliages (laiton, bronze, maillechort), l'industrie électrique, le traitement de surface, la galvanoplastie ainsi que dans les traitements agricoles.

- **Nickel (Ni^{2+})**

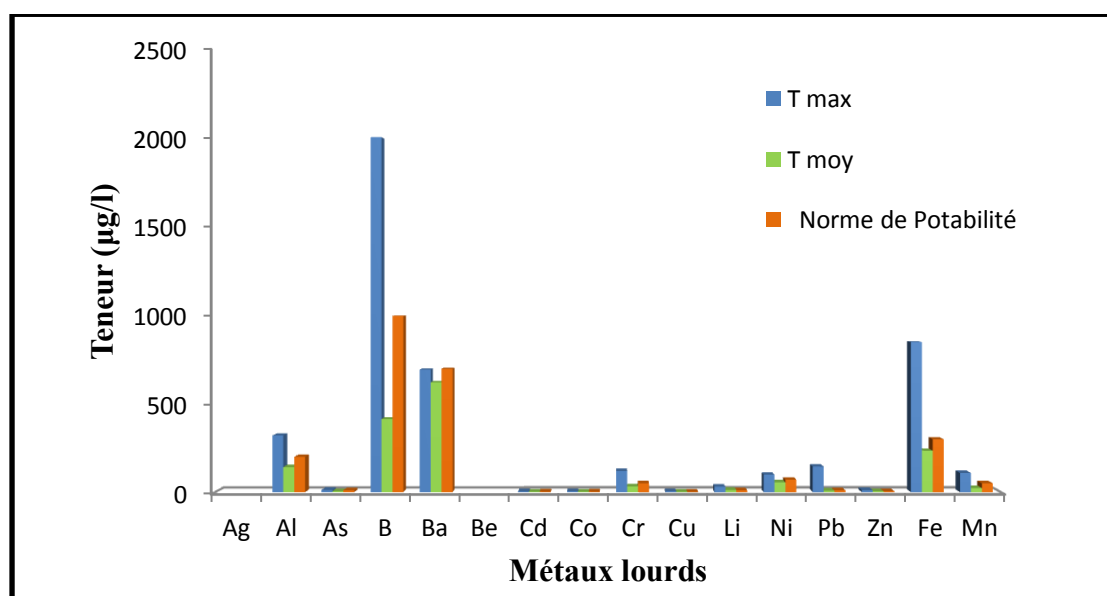
Le nickel présente une large gamme d'utilisations dans le domaine industriel (alliages, revêtement, céramique, verre).

3. Résultats et discussions

L'argent, le Béryllium et n'ont pas été détectés. Ces éléments semblent donc absents du fond géochimique du champ de Hassi Messoud (absents à l'état naturel). Plusieurs éléments tels que le fer et le manganèse ont été détectés. La présence de ces éléments peut être due d'une part à la nature géologique des roches dans lesquelles les eaux souterraines ont circulées et d'autre part au caractère anoxique des eaux souterraines du champ de Hassi Messoud (précipitation du fer et manganèse favorisée dans les milieux réducteurs). Plusieurs explications sont ainsi possibles pour expliquer la présence accrue de ces deux éléments comme Les effluents industriels (les eaux du borbier). Le bore, le cuivre et le strontium sont également détectés de même que le plomb, le cobalt le chrome et le cadmium. De l'arsenic a également été détecté à des teneurs comprises entre 5 et 18 $\mu\text{g/l}$. Des concentrations dans les eaux souterraines de quelques $\mu\text{g/l}$ à plusieurs dizaines de $\mu\text{g/l}$ sont fréquentes. La profondeur est susceptible de jouer un rôle important sur les teneurs en arsenic, de même que les conditions d'oxydoréduction du milieu. L'ensemble de ces données est représenté dans le tableau 4.6.

Tableau.4.6. Synthèse sur les éléments traces retrouvées lors de la campagne d'analyses

Nom	Limite de quantification Laboratoire ($\mu\text{g/l}$)	Nombre d'analyses Supérieures à la limite de quantification	Teneur maximale Mesurée ($\mu\text{g/l}$)	Teneur Moyenne ($\mu\text{g/l}$)	Norme de Potabilité ($\mu\text{g/l}$)
Argent	5	0	-	-	100
Aluminium	10	3	322	142	200
Arsenic	10	4	18	5	10
Bore	10	18	2015	415	1000
Baryum	5	22	695	623	700
Béryllium	5	0	-	-	-
Cadmium	2	14	4	2	3
Cobalt	2	5	5	2	3
Chrome	5	22	120	32	50
Cuivre	2	33	5	2	2
Lithium	10	5	31	12	10
Nickel	5	2	99	55	70
Plomb	2	35	145	8	10
Zinc	5	33	11	5	5
Fer	100	39	852	235	300
Manganèse	5	33	109	23	50

**Fig.4.4.** La teneur des métaux lourds retrouvées lors de la campagne d'analyses.

4. Conclusion

L'utilisation des produits chimiques et toxiques dans la réalisation des puits pétroliers, l'infiltration des eaux issues de l'activité industrielle et l'infiltration de la boue au cours du forage, sont les facteurs de risque de contamination de la nappe. Les analyses physico-chimiques et bactériologiques effectuées sur les eaux du puits témoin et les eaux du bourbier, au cours de la réalisation du forage pétrolier en 1994 montre une contamination de cette nappe.

L'estimation du volume liquide déversé dans la nature pour un puits vertical à Hassi Messaoud est de 24166 m³ en moyenne pour l'année 1998, ceci nous donne une idée sur le volume liquide déversé depuis le premier puits réalisé jusqu'à nos jours, soit plus de 1700 puits. D'autres volumes Liquides viennent s'ajouter aux volumes déversés issus de la réalisation des puits pétroliers, c'est les eaux de l'activité industrielle, telle que les centres satellitaires sud et nord de Hassi Messaoud.



Conclusion

Conclusion générale et recommandations

L'étude de la qualité chimique des eaux montre qu'elles sont dominées par les faciès chimiques Chlorurée-Sulfate et Sulfatée-Sodique, la dominance de ces faciès est liée à la géologie locale de la région. La forte minéralisation de la nappe est en relation avec la situation grave de quelques forages du Complexe Terminal qui présentent des perforations au niveau de tubages, ceux-ci favorisent la communication entre les nappes en particulier avec la nappe superficielle qui est trop minéralisée, et par la pollutions de cette nappe par les activités de l'industries pétrolières dans le champ de Hassi Messaoud. Elles sont non potables en référence aux normes de l'OMS et aux normes algériennes des eaux potables, car elles sont très dures et contaminées par les métaux lourds comme le Cu, Mn, Pb, Fe et Cr. Présentent une minéralisation élevée elles nécessitent un traitement préalable avant l'utilisation.

Afin de préserver notre source d'eau de toute contamination par les produits de l'activité pétrolière, on doit prendre certaines précautions:

- ✚ Utiliser des citernes et des bacs pour séparer les différents types de fluides contaminés (exp: les boues, les fluides du lavage de l'appareil, de fracturation et de complétion).
- ✚ Renforcer les équipements de traitement, de séparation et de contrôle des produits solides (exp. l'hydrocyclone) pour réduire le volume de la boue déchargée aux bourbiers.
- ✚ Eviter l'utilisation des fluides de forage à base huile.
- ✚ Utiliser moins d'éléments toxiques dans la boue de forage (Utiliser les produits à base organique exp: l'amidon).
- ✚ Le tubage doit être conçu pour résister à la corrosion et doit être bien cimenté pour éviter tout contact entre l'eau de l'aquifère et le fluide de forage.
- ✚ Utiliser des fluides de forage à base d'eau qui contiennent surtout de la Bentonite ou de l'argile naturelle pour empêcher les pertes de fluide dans les couches aquifères.

- ✚ Prendre les mesures de précaution appropriées lors d'un forage dans des endroits où la vulnérabilité de la couche aquifère est élevée.
- ✚ La protection de notre environnement: Ceci ne peut être requis sans l'organisation des réunions d'information pour sensibiliser le personnel du chantier.
- ✚ Restauration du site: le site doit être nettoyé à la fin des travaux et remis dans l'état où il a été avant la réalisation du puits. Cette remise à l'état initial doit être constatée et consignée dans un procès verbal.

Le champ de Hassi Messaoud constitue une richesse nationale importante pour l'Algérie, elle doit être protégée pour en tirer le maximum de bénéfice sans nuire à l'environnement. A la fin, ces dispositifs ne peuvent être appliqués sur le terrain que par l'assistance permanente des agents du ministère de l'environnement, sur site.

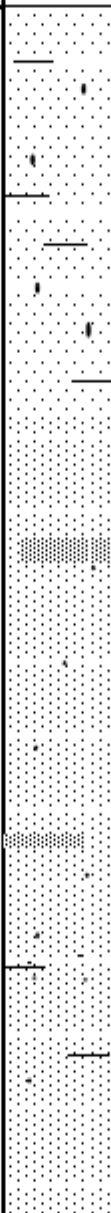
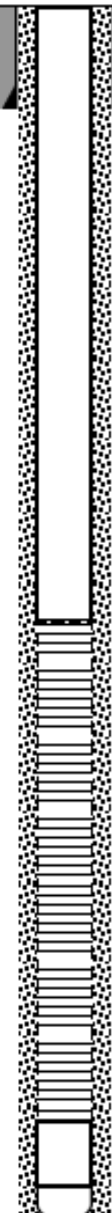
Annexes

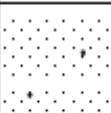



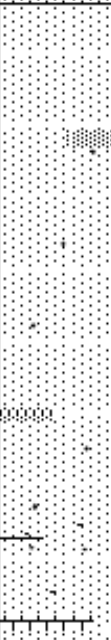
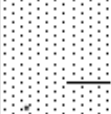


Tab.1: Les données des forages dans le champ de HMD 2017

ORDRE	NOM	AQUIFERE	XDEC	YDEC	DATE	USAGE	Z	PROFD	DEBIT (l/s)	ETAT2017
1	H.MESSAOUD N 3 SODEX	CT	6.055000000	31.693600000	1962	MXTE	166	80.5		Abandonné
2	H. MESSAOUD N 4 SODE	CT	6.055000000	31.693600000	1958	MXTE	166.2	100		Abandonné
3	BASE ENAGEO H.MESSAO	CT	6.044720000	31.742200000	1977	MXTE		121		Abandonné
4	HASSI MESSAOUD MD 235	CT	6.166670000	31.702800000	1975	IRR	141.12	130		Abandonné
5	BASE NORD 103 ENTP	CT	6.049170000	31.714700000	1976	IND		120		Abandonné
6	AÜrodrome H1	CT	6.140000000	31.673100000	1959	MXTE		96		Abandonné
7	CPH1	CT	6.055830000	31.671900000	1960	MXTE		104		Abandonné
8	MDCPH2	CT	6.055830000	31.671900000	1961	MXTE		98		Abandonné
9	Base 24/2 H12 (OMH 12)	CT	6.046670000	31.740300000	1985	MXTE	174	342		Abandonné
10	41 ERGI-1-ANP	CT	6.119440000	31.718900000	2004	IRR	162			Abandonné
11	F4 citÜ 442	CT	6.058330000	31.694400000	1965	AEP	167.55	123.4	23.6	Exploité
12	F.2-E .N. A.FOR (BASE T.A. IRARA)	CT	6.144170000	31.646900000	1978	MXTE	142	120.8	5	Exploité
13	BASE TUBULAIRE 101	CT	6.047500000	31.714200000	1976	MXTE		120	4	Exploité
14	MDH 115	CI	6.086110000	31.653600000	1981	IND	133	1350	4	Exploité
15	PepiniPre D10F14	CT	6.039720000	31.732800000	1987	IRR		102	12	Exploité
16	F18 CitÜ 1666 logts D10F43	CT	6.073330000	31.711400000	1996	AEP		360	31	Exploité
17	Espace Vert H.M D10F44	CT	6.039440000	31.731100000	1996	IRR		361	12	Exploité
18	F20 Partie C 1850 logts D10F48	CT	6.062220000	31.710600000	1997	AEP	154	350	18	Exploité
19	F21 H.M Rond point D10F49	CT	6.056390000	31.686100000	1997	IRR	169	364	30	Exploité
20	MD 432	CI	6.146390000	31.645600000	1990	IND	142	1403	6	Exploité
21	MDH A3	CI	6.150000000	31.650800000	1995	INJ	146.63	1359	31	Exploité
22	MDH A5	CI	6.068060000	31.664200000	1997	IND	162	1411	12	Exploité
23	OMOH A3	CI	6.030830000	31.754400000	1993	INJ	166.2	1406	17	Exploité
24	MDH133	CT	6.120830000	31.689400000	1987	MXTE	173	120	28	Exploité
25	F15	CT	6.066110000	31.700800000	1988	MXTE	137	100	16.6	Exploité
26	BASE 24/2 H11	CT	6.051670000	31.742200000	1985	MXTE	173	350	6.94444	Exploité
27	Base 24/2 H13	CT	6.047500000	31.739700000	1900	MXTE		174	7.5	Exploité
28	Base 24/2 H16	CT	6.048060000	31.743300000	2000	MXTE		166	13.8889	Exploité
29	F14 La Douane D10F13	CT	6.046390000	31.704200000	1988	AEP	155	350	23.6	Exploité
30	BN 102 ENTP (MosquÜe)	CT	6.048610000	31.715300000	1975	IND		120	13	Exploité
31	F2 NAFTOGAZ (IAP 102)	CT	6.053060000	31.719400000	1976	IND	174	130	4	Exploité
32	BT 101 ENTP (B.tubulaire)	CT	6.047500000	31.714200000	1976	IND		120	4	Exploité
33	F17 citÜ 136 logts D10F42	CT	6.072500000	31.684700000	1996	AEP		360	23.6	Exploité
34	F 3 Naftogaz (F101E- Nouv.Base)	CT	6.050280000	31.721900000	2001	IRR	173	123	4	Exploité
35	Forage SiPge GCB	CT	6.078060000	31.706700000	2001	IRR	128	120	13	Exploité
36	MDHA - 7	CI	6.155000000	31.672200000	2000	IRR	165	1371	12	Exploité
37	OMOH - 110	CT	6.039440000	31.740300000	2001	IRR	170	360	14	Exploité
38	G/TFT - 101(SiPge Grpt 24/2-HMD)	CT	6.040280000	31.740800000	2001	IRR	169	350	11	Exploité
39	ENAG - 101E	CT	6.048330000	31.712200000	2001	IRR	168	350	8	Exploité
40	ENAG - 102	CT	6.053060000	31.711900000	2002	IRR	168	250	8	Exploité
41	H-18 Base 24/2	CT	6.045000000	31.734200000	2008	AEP	169	340	17	Exploité
42	F8 bis citÜ 1850 logts	CT	6.066670000	31.698600000	2004	AEP	159	340	32	Exploité
43	F22 - 120 logts	CT	6.075000000	31.688300000	2005	AEP		350	26.3889	Exploité
44	F23 Stade Hmd	CT	6.068060000	31.681900000	2005	AEP	164	125	11	Exploité
45	105 (ChÖt.d'eau)ENTP	CT	6.059440000	31.714400000	1983	IRR	162	250	12.5	Exploité
46	101 (CotÜ GTP)ENTP	CT	6.141390000	31.653600000	1983	IRR	138	120	4.16667	Exploité
47	102 (CotÜ DECO)ENTP	CT	6.145000000	31.655600000	1983	IRR	136	105	4.16667	Exploité
48	F.3-E .N. A.FOR	CT	6.054720000	31.700300000	1978	IRR	165	120	2.22222	Exploité
49	F.4-E .N. A.FOR	CT	6.058330000	31.699200000	1978	IRR	159	120	5	Exploité
50	F.5-E .N. A.FOR	CT	6.049440000	31.706700000	1980	IRR	168	120	5	Exploité
51	F.6-E .N. A.FOR	CT	6.075830000	31.680000000	1987	IRR	138	120	5	Exploité
52	F.7-E .N. A.FOR	CT	6.058610000	31.700600000	1993	IRR	161	120	5	Exploité
53	F 1 Naftogaz	CT	6.051390000	31.720000000	1960	IRR	174	90	4.16667	Exploité
54	F 1 BJSP Base de vie-Irara	CT	6.141940000	31.640300000	1995	IRR	143	160	13.3333	Exploité
55	F 2 BJSP - SiPge Irara	CT	6.138060000	31.643600000	1995	IRR	140	140	11.1111	Exploité
56	F 1 ENSP - Base vie Fergale	CT	6.068060000	31.670800000	1972	IRR	148	120	8.33333	Exploité
57	F 1 GTP Base 5 Juillet	CT	6.055000000	31.709700000	1987	IRR	165	160	11.1111	Exploité
58	F - 2 GTP Base 24/4	CT	6.142220000	31.652200000	1995	IRR	143	175	11.1111	Exploité

59	F 3 GTP LPG	CT	6.070560000	31.676100000	1996	IRR	166	120	8.33333	Exploité
60	H2 Base vie Irrara	CT	6.151110000	31.667800000	1960	IRR	147	150	13.8889	Exploité
61	H3 Base vie Irrara	CT	6.146670000	31.668900000	1960	IRR	148	160	11.1111	Exploité
62	H4 Base vie Irrara	CT	6.160280000	31.669700000	1974	IRR	157	170	8	Exploité
63	Croix du Sud-Sagra	CT	6.142780000	31.651100000	1980	IRR	148	150	8.33333	Exploité
64	F 3 BJSP	CT	6.143330000	31.642500000	1995	MXTE	144	350	8.88889	Exploité
65	F 4 BJSP - SiÙge Irrara	CT	6.137220000	31.644200000	1995	MXTE	140	256	13.3333	Exploité
66	ENSP-D.F.F - Centrale Ó boue	CT	6.053890000	31.743100000	1988	MXTE	155	340	13.8889	Exploité
67	ENSP-D.O.S Base vie	CT	6.056390000	31.749400000	1986	MXTE	155	354	5.55556	Exploité
68	F. 2 Weatherford	CT	6.074440000	31.674700000	1998	MXTE	132	350	11.1111	Exploité
69	MB - 1 Base	CT	6.068060000	31.669200000	1997	MXTE	155	350	2.77778	Exploité
70	106 - Stat.Trait.ENTP	CT	6.062780000	31.718100000	1984	MXTE	174	350	11.1111	Exploité
71	105 B.Ind.ENTP	CT	6.062220000	31.713300000	1984	MXTE	160	350	12.5	Exploité
72	107 - Parking DITR ENTP	CT	6.062220000	31.715300000	1984	MXTE	167	350	12.5	Exploité
73	H-1B.Logi.ENTP	CT	6.082500000	31.650300000	1990	MXTE	133	342	4.44444	Exploité
74	OMOH-107 Div.F. SiPge 24/2	CT	6.047220000	31.736700000	1994	IRR	159	330	13.8889	Exploité
75	OMOH-109 B.24/2	CT	6.043330000	31.736100000	1996	IRR	168	340	8.33333	Exploité
76	QOUBA-101 Ourhoud	CT	6.043890000	31.745600000	1998	IRR	170	340	12.2222	Exploité
77	SH/AAC-101 Anadarko	CT	6.045280000	31.741900000	1999	IRR	175	356	11.1111	Exploité
78	SH/AGIP-101	CT	6.056670000	31.723900000	1998	IRR	175	355	12.5	Exploité
79	OMOH - 104 bis	CT	6.055830000	31.738900000	1994	IND	143	340	15	Exploité
80	41 ERGI-2	CT	6.118610000	31.717200000	2009	IRR	161	346	8.33	Exploité
81	OMKH-106	CT	6.122220000	31.708100000	2007	IND	149	133	9.72222	Exploité
82	H-17	CT	6.056390000	31.732800000	2007	IND	169.5	350	13.8889	Exploité
83	H-5 (Base de vie SH/DP)	CT	6.155830000	31.668600000	2008	IND	152	344	16.6667	Exploité
84	H-6 (Base de vie SH/DP)	CT	6.152220000	31.660800000	2008	IRR	148	343	16.6667	Exploité
85	H-19	CT	6.048330000	31.746100000	2009	IND	171	348	13.8889	Exploité
86	F10 bis AEP	CT	6.067220000	31.688100000	2015	AEP	166	350	30	Exploité
87	Chikh Bouamama	CT	6.070560000	31.692800000	2015	AEP	144	350	30	Exploité
88	Si El Haoues 02	CT	6.058060000	31.706100000	2015	AEP	150	350	30	Exploité
89	Forage Pose 17	CT	6.070560000	31.713300000	2014	AEP	162	350	30	Exploité
90	H7 Base vie Irrara	CT	6.143890000	31.659200000	2010	IRR	148	150	10	Exploité
91	MDH A13	CI	6.148330000	31.638100000	2015	IND	130	1350	12	Exploité
92	P1-CIS GPL1	CT	6.062780000	31.671400000		MXTE	155	350	15	Exploité
93	P2-CIS GPL2	CT	6.048610000	31.675800000	2010	MXTE	161	350	15	Exploité
94	P.TST	CT	6.146670000	31.677800000	2015	IND	165	150	8	Exploité

Les fiches techniques de quelques puits d'eau dans le champ de HMD

SONATRACH		FICHE TECHNIQUE			PUITS D'EAU	
ACTIVITE AMONT DIVISION OPERATIONS DIRECTION ASS. OPERATIONS DEPARTEMENT HYDROGEOLOGIE		Nappe captée : Mio-pliocène			OMHH-103	
Coordonnées : Géographiques UTM X = 06° 08' 32" E 797 185 Y = 31° 54' 28" N 3 534 255 Zs = 148,23 m		Puits d'eau implanté à 150m au Sud Ouest du sondage pétrolier de développement OMH-511 (Champ Hmd)			Date début de forage : 23/09/2009 Date fin de sondage : 06/10/2009 Profondeur finale : 120 m Appareil : Porta drill (FORAQUA)	
Côte (m)	Etage	Coupe	Lithologie	plan d'eau	Complétion	Observations
10	MIO - PLIOCENE		Sable blanc translucide mal classé avec passées d'argile verte	24m		<p>1 - Forage - De 0 à 08 m en 26" et pose d'un tube guide de 18"5/8 cimenté jusqu'en surface - De 10 à 120m en 17"1/2</p> <p>2 - Colonne de captage 9"5/8 - De 120 à 109.3 m : Sabot & tube de decantation. - De 109.3 à 59.15m : Crépines lanternées - De 59.15 à + 0,6 m : Tubes pleins</p> <p>3 - Massif de gravier Mise en place d'un massif de gravier de 16 m3 dans l'espace annulaire 17"1/2 x 9"5/8 du fond jusqu'en surface.</p> <p>4 - Développement du puits Développement du puits s'est effectué à l'air lift pendant 72h jusqu'à obtention d' une eau claire</p>
30						
40						
50						
60			Sable blanc translucide parfois jaune ocre, moyen à grossier avec passées de grès blanc, fin à grossier, carbonaté friable et d'argile,			
100						
110						
120						

SONATRACH		FICHE TECHNIQUE			PUITS D'EAU	
Activité Amont Division Forage Direction Assistance aux Opérations G & G Département Hydrogéologie & Hydraulique		Nappe captée : Mio-pliocène			OMP-106	
Coordonnées : Géographiques UTM X = 06° 09' 45" E 799564 Y = 31° 46' 01" N 3518708 Zs = 135,482 m		Puits d'eau implanté à 200m au Nord Ouest du sondage pétrolier de développement OMP- 742 (Champ Hmd) Ns = 10,5m/sol - Nd = m/sol - Q = 35 m ³ /h			Date début de forage : 16/06/2008 Date fin de sondage : 26/06/2008 Profondeur finale : 120 m Appareil : Drillmec (FORAQUA)	
Côte (m)	Etage	Coupe	Lithologie	plan d'eau	Complétion	Observations
10			Sable blanc translucide, moyen à grossier subanguleux à anguleux	10,5m		1 - Forage - De 0 à 10 m en 26" et pose d'un tube guide de 18"5/8 cimenté jusqu'en surface - De 10 à 120 m en 17"1/2 2 - Colonne de captage 9"5/8 - De 120 à 111 m : Sabot et tube de décantation. - De 111 à 51 : Crépines lanternnées - De 51 à + 0,6 m : Tubes pleins 3 - Massif de gravier Mise en place d'un massif de gravier de 14 m ³ dans l'espace annulaire 17"1/2 x 9"5/8 du fond jusqu'en surface. 4 - Développement du puits Développement du puits s'est effectué à l'air lift pendant 5 h jusqu'à obtention d'une eau claire
27						
34			Argile beige silto-sableuse			
51			Sable translucide, jaunâtre fin à moyen, subarrondi avec rare passée de grès blanc moyen à grossier, parfois argileux à traces de calcaire blanc crayeux			
100						
111			Argile silto-sableuse pâteuse			
120						

SONATRACH		FICHE TECHNIQUE			PUITS D'EAU	
Activité Amont Division Forage Direction Assistance aux Opérations G & G Département Hydrogéologie & Hydraulique		Nappe captée : Mio-pliocène			OMP-107	
Coordonnées : Géographiques UTM X = 06° 08' 57" E Y = 31° 46' 37" N Zs = 166 m		Puits d'eau implanté à 1000m au Sud du sondage pétrolier de développement OMP-651 (Champ Hmd) Ns = 40 m/sol - Nd = m/sol - Q = 35 m ³ /h			Date début de forage : 05/04/2009 Date fin de sondage : 10/04/2009 Profondeur finale : 131 m Appareil : DrillMec (FORAQUA)	
Côte (m)	Etage	Coupe	Lithologie	plan d'eau	Complétion	Observations
10	MIO - P L I O C È N E		Sable blanc translucide, moyen à grossier subanguleux à anguleux	40m		1 - Forage - De 0 à 10 m en 26" et pose d'un tube guide de 18"5/8 cimenté jusqu'en surface - De 10 à 131 m en 17"1/2 2 - Colonne de captage 9"5/8 - De 131 à 1121 m : Sabot et tube de décantation. - De 121 à 56 : Crépines lanternées - De 56 à + 0,6 m : Tubes pleins 3 - Massif de gravier Mise en place d'un massif de gravier de 15 m ³ dans l'espace annulaire 17"1/2 x 9"5/8 du fond jusqu'en surface. 4 - Développement du puits Développement du puits s'est effectué à l'air lift pendant h jusqu'à obtention d'une eau claire
27			Argile beige silto-sableuse			
34			Sable translucide, jaunâtre fin à moyen, subarrondi avec rare passée de grès blanc moyen à grossier, parfois argileux à traces de calcaire blanc crayeux			
51						
100			Argile silto-sableuse pâteuse			
111						
120						
131						

SONATRACH		FICHE TECHNIQUE			PUITS D'EAU	
Activité Amont Division Forage Direction Assistance aux Opérations G & G Département Hydrogéologie & Hydraulique		Nappe captée : Mio-pliocène			OMPH-108	
Coordonnées : Géographiques UTM X = 06° 08' 57" E Y = 31° 46' 37" N Zs = 166 m		Puits d'eau implanté à 1000m au Sud du sondage pétrolier de développement OMP-651 (Champ Hmd)			Date début de forage : 05/04/2009 Date fin de sondage : 10/04/2009 Profondeur finale : 131 m Appareil : DrillMec (FORAQUA)	
Côte (m)	Etage	Coupe	Lithologie	plan d'eau	Complétion	Observations
10	MIO - P L I O C È N E		Sable blanc translucide, moyen à grossier subanguleux à anguleux	40m		1- Forage - De 0 à 10 m en 26" et pose d'un tube guide de 18"5/8 cimenté jusqu'en surface - De 10 à 131 m en 17"1/2 2- Colonne de captage 9"5/8 - De 131 à 1121 m : Sabot et tube de décantation. - De 121 à 56 : Crépines lanternées - De 56 à +0,6 m : Tubes pleins 3- Massif de gravier Mise en place d'un massif de gravier de 15 m3 dans l'espace annulaire 17"1/2 x 9"5/8 du fond jusqu'en surface. 4- Développement du puits Développement du puits s'est effectué à l'air lift pendant h jusqu'à obtention d' une eau claire
27			Argile beige silto-sableuse			
34			Sable translucide, jaunâtre fin à moyen, subarrondi avec rare passée de grès blanc moyen à grossier ,parfois argileux à traces de calcaire blanc crayeux			
51			Argile silto-sableuse pâteuse			
100						
111						
120						
131						

Bibliographie

1. **ABBA Alia Besma, ABBAS Asma**, mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de master académique, «Effet des travaux d'évacuation des eaux sur la nappe phréatique dans la cuvette de Ouargla», université de KASDI Merbah, Ouargla, 2016.
2. **BALLA Fayçal, BELHABIB Abdelouhab, TAMA Ali Saber**, mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de master en génie pétrolier, « Les fluides de forage à base d'huile: impacts sur l'environnement et technique de traitement », université de KASDI Merbah, Ouargla, 2013.
3. **BEDDINE ALLA**, mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de master en géologie, option hydrogéologie, «Qualité des eaux des aquifères de Hassi Messaoud», université de KASDI Merbah, Ouargla, 2016.
4. **BENAISSA Amel**, mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de magister en sciences agronomiques, « Impact de la qualité des eaux des forages Albien et Mio-pliocène sur certains paramètres physico-chimiques du sol dans la zone de Hassi Ben Abdellah(Wilaya de Ouargla) », université de KASDI Merbah, Ouargla, 2017.
5. **BENHAMIDA Nadjat BOUGUETIT Kaouthar**, mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de master académique en génie des procédés, « Etude de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la cuvette d'Ouargla (Cas de la nappe du Continental Intercalaire) », université de KASDI Merbah, Ouargla, 2015.
6. **BOUDJEMA Abderrezak**, mémoire de fin d'étude en vue de L'obtention du diplôme de magister en sciences de la terre, option hydrogéologie, «Etude d'impact de l'activité pétrolière sur la nappe du mlío-plicène dans le champ de Hassi Messaoud», université de Abou Bekr BELKAID, Tlemcen, 2008.
7. **BOUHADDA.M**, cours « Les fluides de forage »,université Kasdi Merbah Ouargla Département de forage et MCP option forage.
8. **BOUHAMIDA Hayat,HAZEDJ Hafsa**, mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de master en mines, « Techniques de forage et étude des

caractéristiques de la boue dans les différentes phases à Hassi Messaoud (ONK 243) et à Gassi Touil (NZ26) », université de Abderrahmane MIRA, Bejaia, 2015.

9. **BOUREKIA Ikram, KERKOUB Malika Hayet**, mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de master en mines, «Optimisation des paramètres physico-chimique dans le processus du traitement des eaux huileuses (Cas des eaux huileuses du complexe CIS de HMD) », université de Abderrahmane MIRA, Bejaia, 2016.

10. **ENSPM** « Les fluides de forage », Formation Industrie Forage, Production, Gisement.

11. **KABOUR Abdesselem**, mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de doctorat en sciences, «impact des rejets urbains sur l'environnement et sur les ressources en eau de la région de Béchar (sud ouest algérien) », université de Mohamed KHIDER, Biskra, 2017

12. **LAGGOUN Oussama, TATI Yagoub**, mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de licence en génie appliqué, « Identification des risques liés à utilisation la boue de forage au niveau de chantier pétrolier ENTP (TP216) », université de KASDI Merbah, Ouargla, 2017.

13. **MOUANE Ramzi, OUGGAD Meftah**, mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de master hydrocarbures et chimie, «Etude des fluides de forage dans le forage vertical », université de KASDI Merbah, Ouargla, 2012.

14. **OUALI Salima**, mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de magister en géophysique, « Etude géothermique du sud de l'Algerie », université de M'hamed BOUGERRA, Boumerdes, 2005.

15. **YAHIAOUI Lamia**, mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de magister en ressources minérales et énergétiques, « Analyse complexe et évaluation des programmes des puits en short radius et horizontaux à Hassi Messaoud aspect géologique et application dans la partie sud », université de M'hamed BOUGERRA, Boumerdes, 2010.

ملخص

تعد منطقة حاسي مسعود واحدة من المناطق التي تضررت بشدة من تلوث المياه الصناعي في الجزائر. مصفاة النفط الكبيرة طويلة الأجل والأنشطة البترولية و الصناعية ذات الصلة يمكنها أن تطلق كميات كبيرة من المعادن الثقيلة. التحليلات الكيميائية التي أجرتها الوكالة الوطنية للموارد المائية (A.N.R.H) في ورقة تمثل التركيز السنوي لمتوسط القيم المسجلة خلال عام، حيث غطت البيانات فترة 12 سنة (2000-2012). لقد قمنا بإختيار آبار المياه المستغلة حيث توجد الموارد المعبأة، تتألف شبكة المراقبة من 44 موقعًا تتضمن الآبار و مقاييس الضغط للآبار. أظهرت النتائج أن متوسط تركيزات النحاس (Cu)، المنغنيز (Mn)، الرصاص (Pb)، الحديد (Fe) و الكروم (Cr) في مياه حاسي مسعود يتجاوز المعايير المحددة بموجب المرسوم التنفيذي رقم 11-125 المؤرخ 22 مارس 2011 بشأن جودة المياه للاستهلاك البشري. الكلمات المفتاحية: المعادن الثقيلة ، صناعة النفط ، التأثير ، التلوث ، حاسي مسعود.

Résumé

La région de Hassi Messaoud est l'une des régions intensément touchées par la pollution des eaux d'origine industrielle en Algérie. La raffinerie de pétrole à grande échelle et à long terme et les activités industrielles correspondantes peuvent libérer des quantités considérables de métaux lourds. Des analyses chimiques effectuées par l'agence nationale des ressources hydrauliques (A.N.R.H) de Ouargla, la concentration annuelle représente la moyenne des valeurs enregistrées durant une année. Les données ont porté sur une période de 12 années (2000-2012). On a choisi les forages d'eau exploités où il ya les ressources mobilisées. Le réseau de suivi comprend 44 sites constitués de forages, piézomètres et puits. Les résultats ont montré que les concentrations moyennes de Cu, Mn, Pb, Fe et Cr dans les eaux de Hassi Messaoud dépassent les normes fixées par le décret exécutif n° 11-125 du 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine.

Mots clés: métaux lourds, l'industrie pétrolière, l'impact, pollution, Hassi Messaoud.

Abstract

The region of Hassi Messaoud is one of the regions intensely affected by industrial water pollution in Algeria. The large-scale, long-term petroleum refinery and related industrial activities can release considerable quantities of heavy metals. Chemical analyzes carried out by the National Water Resources Agency (A.N.R.H) of Ouargla, the annual concentration represents the average of the values recorded during a year. The data covered a period of 12 years (2000-2012). We chose exploited water wells where there are mobilized resources. The monitoring network comprises 44 sites consisting of boreholes, piezometers and wells. The results showed that the average concentrations of Cu, Mn, Pb, Fe and Cr in the waters of Hassi Messaoud exceed the standards set by Executive Decree No. 11-125 of 22 March 2011 on the quality of water from human consumption.

Key words: heavy metals, oil industry, impact, pollution, Hassi Messaoud.