

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOU MAMMERI TIZI-OUZOU
FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT DES SCIENCES GEOLOGIQUES



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE
En vue de l'obtention du diplôme de
MASTER
en Géologie Appliquée
Option : **Hydrogéologie**

Sous le thème :

**Contribution à l'étude hydrogéologique et
hydrochimique des nappes aquifères du Complexe
Terminal : région de Hassi Messaoud
(Sahara algérien)**

Réalisée par : Neddaf Yacine et Lyazidi Aghiles

Soutenu publiquement le 10 /03/ 2021, devant le jury composé de :

M. Drouiche Abdelmadjid	MAA, UMMTO	Président
M. Kardache Farid	MCA, UMMTO	Promoteur
M. Mezizene Zahir	SH, Sonatrach	Co-promoteur
Mme.Yahiaoui Salima	MAA, UMMTO	Examinatrice
M.Goucem Abdellah	SH, Sonatrach	Invité

Promotion : 2019/2020

Remerciements

À l'issu du cycle de notre formation nous tenons à remercier Dieu le tout puissant.

*Nos remerciements les plus sincères vont à M. **Kardache Ramdane**. pour ses conseils précieux et son suivi qu'il nous a prodigué pas seulement durant notre travail mais également durant notre cursus universitaire.*

Nos vifs remerciements vont aux membres du jury pour avoir accepté de juger et évaluer notre modeste travail.

*Enfin M. **Mezizene.Z** et M. **Goucem.A**, qui nous ont orienté et aidé à élaborer ce mémoire,*

Nos sincères remerciements à tous nos enseignants qui ont participé dans notre formation.

Enfin à toute personne qui a participé de près ou de loin à l'accomplissement de ce mémoire,

Dédicaces

Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chers,

À ma chère mère

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que bénédiction m'accompagne toujours.

Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux, tant formulés, le fruit de vos mémorables sacrifices, puisse dieu, le très haut, vous accorde santé, bonheur et longue vie.

À la mémoire de mon père

Ce travail est dédié à mon père, décédé trop tôt, qui m'a toujours poussé et motivé dans mes études.

J'espère que, du monde qui est sien maintenant, il apprécie cet humble geste comme preuve de reconnaissance de la part d'un fils qui a toujours prié pour le salut de son âme, puisse dieu, le tout puissant, l'avoir en sa sainte miséricorde !

À mes chers frères et sœurs

Merci énormément pour votre soutien plus que précieux, merci pour votre grand cœur, toutes vos qualités qui seraient trop longues à énumérer, ma vie ne serait pas aussi magique sans votre présence et votre amour Hocine & Lydia.

Yassine Neddaf.

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à **mes chers parents**, mon père et ma mère pour leur amour, leur soutien leur dévouement et surtout pour les valeurs et principes qu'ils m'ont inculqués.*

*À **mes deux frères** qui m'ont toujours soutenu.*

*À **ma chère épouse** qui a su m'encourager et me motiver.*

*À toi mon idole, très **cher grand père** paix à ton âme.*

*A toute **la famille Lyazidi**, mes oncles, mes tantes, mes amis et mon binôme.*

Sans oublier tous ceux qui ont participé à mon apprentissage et à mon instruction depuis l'école primaire à ce jour.

Lyazidi Aghiles

Résumé :

Notre étude s'intéresse à l'étude hydrogéologiques du l'aquifère du système Complexe Terminale (C.T), situé dans la région de Hassi Messaoud est une commune de la wilaya d'Ouargla située à environ 800 km au Sud-Est d' Alger).

Ce système aquifère regorge importante quantité de ressource hydrique malgré l'aridité du climat et la quasi-absence réalimentation de la nappe par les précipitations. Il est exploité à des fins industrielles dans le domaine pétrolier dont le niveau Miopliocène est le plus exploité. La qualité de cette ressource hydrique déduite par l'étude hydrochimique, et les différents résultats d'analyses obtenus indique un faciès chloruré sodique secondairement sulfaté calcique mais à forte minéralisation non potable d'après les normes Algériennes et OMS.

L'activité pétrolière engendre des pollutions de tous types, la plus importante est la pollution des eaux souterraines par les différents polluants liquides qui s'exprime par une moyenne vulnérabilité, nécessitant le traitement minutieux des rejets pour la protection des ressources hydriques.

Table des matières

Remerciements	
Dédicaces	
Résumé	
Table des matières	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction générale.....	01

Chapitre 1 : Présentation de la région d'étude

1.1. Introduction.....	02
1.2. Situation géographique et Administrative de la région d'étude.....	02
1.3. Contexte socio-économique	05
1.4. Le champ de Hassi Messaoud.....	06
1.5. Les zones du champ de Hassi Messaoud.....	07
1.5.1. Le champ sud	08
1.5.2. Le champ nord	08
1.6. Les centres industriels de Hassi Messaoud	08
1.6.1. Centre industriel Nord	08
1.6.2. Centre industriel Sud	08
1.7. Conclusion	08

Chapitre 2 : Contexte géologique

2.1 Géologie régionale de la région de Hassi Messaoud.....	09
2.2 Tectonique du Hassi Messaoud	10
2.3 Stratigraphie du Hassi Messaoud	12
2.3.1 Le socle	12
2.3.2 Le Paléozoïque	13
2.3.3 Le Mésozoïque	13
2.3.4 Le Cénozoïque	15
2.4 Conclusion	16

Chapitre 3 : Contexte hydroclimatologique

3.1. Introduction	17
3.2 Précipitations	17
3.3 Température	18
3.4 Climat	18
3.4.1. Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN ET BAGNOULS	19
3.4.2 Méthode d'Euverte	20
3.4.3 Climagramme d'Emberger	20
3.4.4 Indice d'aridité de De Martonne	21
3.5. Bilan hydrologique	22
3.5.1 L'estimation de l'ETR	22
3.5.2 Estimation de l'ETP : bilan simplifié de Thornthwaite	24
3.5.3 Estimation du ruissellement : formule de Tixeront Berkaloff	25
3.5.4 Estimation de l'infiltration	25
3.6. Conclusion	26

Chapitre 4 : Contexte hydrogéologique

4.1. Introduction	27
4.2. Présentation du système aquifère du SASS	28
4.3. Différents aquifères de la région de Hassi Messaoud	29
4.3.1. Complexe Terminal (C.T.)	29
4.3.2. Le Turonien	35
4.3.3. Continental Intercalaire (C.I.)	35
4.3.4. La nappe aquifère de l'horizon B	36
4.4. Conclusion	36

Chapitre 5 : Etude hydrochimique

5.1. Introduction	38
5.2. Potabilité des eaux étudiées par rapport aux normes (OMS)	38
5.3. Potabilité des normes étudiées par rapport aux normes algériennes	39
5.4. Etude des paramètres physico-chimiques	41
5.4.1. Paramètres physiques	41
5.4.2. Paramètres chimiques	44
5.4.3. Balance ionique	48
5.5. Classification des eaux étudiées	49
5.5.1. Classification de STABLER	50
5.5.2. Classification de Shoeller-Berkaloff	51
5.5.3. Classification de Piper	53
5.6. Conclusion	54

Chapitre 6 : Sources de pollution et impact sur l'environnement

6.1. Introduction	55
6.2. Les éléments qui peuvent affecter les eaux de Hassi Messaoud	55
6.2.1. Utilisation des fluides de forages	56
6.2.2. Exploitation des hydrocarbures	56
6.2.3. Rejet de forage	59
6.2.4. Les risques de contamination	60
6.2.5. Opération de production sur puits	60
6.3. Evaluation de la vulnérabilité	61
6.4. Méthodes et techniques de traitements des rejets	63
6.4.1. Bourbiers	64
6.4.2. Traitement ON-LINE	65
6.4.3. Traitement OFF-LINE	65
6.4.4. Solidification et stabilisation	65
6.5. Conclusion	66
Conclusion générale et recommandations	67
Références bibliographiques	
Annexe	

Liste des figures

Chapitre 1 : Présentation de la région d'étude

Fig.N°01 :	Situation géographique de Hassi Messaoud. (Earth 2020).....	02
Fig.N°02 :	Limites administratives de la région de Hassi Messaoud (Earth 2020).....	03
Fig.N°03 :	Carte des sous bassins versants du Sahara algérien (ANRH).....	04
Fig.N°04 :	Représentation du champ de Hassi Messaoud.....	06
Fig.N°05 :	Carte des zones du champ pétrolier d'Hassi-Messaoud. (Sonatrach. DP.HMD.2002).....	07
Fig.N°06 :	Les 25 zones de production et numérotation des puits dans le champ de Hassi Messaoud.....	07

Chapitre 2 : Contexte géologique

Fig.N°07 :	Carte des bassins sédimentaires, Division forage (Sonatrach 2005).....	09
Fig.N°08 :	Contexte géologique du champ de Hassi Messaoud (WEC 2007).....	10
Fig.N°09 :	Exemple de Horst et Grabens (champ de Hassi Messaoud) (Sonatrach / Division production, rapport interne 2002).....	11
Fig.N°10 :	Coupe transversale Ouest – Est de la structure de Hassi Messaoud au niveau du réservoir (Division forage).....	12
Fig.N°11 :	Colonne lithostratigraphique du champ de Hassi Messaoud.....	15

Chapitre 3 : Contexte hydrolimatologique

Fig.N°12 :	Histogramme de répartition mensuelle moyenne des pluies relevées a la station de l'aéroport Hassi Messaoud (2010/2019).....	17
Fig.N°13 :	Histogramme des températures moyennes mensuelles relevées à la station de l'aéroport Hassi Messaoud (2010/2019).....	18
Fig.N°14 :	Diagramme Ombrothermique de la région de Hassi Messaoud (2010/2019).	19
Fig.N°15 :	Climagramme d'Emberger.....	21

Chapitre 4 : Contexte hydrogéologique

Fig.N°16 :	Log stratigraphique type du Bassin d'Amguid Messaoud (Division exploration)....	27
Fig.N°17 :	Position géographique du SASS (OSS, 2008).....	28
Fig.N°18 :	Coupe hydrogéologique du SASS. (UNESCO, 1972).....	29
Fig.N°19 :	Log hydrogéologique de la région de Hassi Messaoud du Complexe Terminal.....	30
Fig.N°20 :	Carte de transmissivités du Complexe terminal (UNESCO 1972).....	31
Fig.N°21 :	Inventaire de quelques points d'eau dans notre zone d'étude.....	32
Fig.N°22 :	Carte piézométrique de référence du Complexe Terminal (OSS, 2003).....	33
Fig.N°23 :	Carte piézométrique du Mio-Pliocène dans notre région d'étude.....	34
Fig.N°24 :	Carte piézométrique de référence du CI (OSS, 2003).....	36

Chapitre 5 : Etude hydrochimique

Fig.N°25 :	Carte du pH de la zone d'étude.....	42
Fig.N°26 :	Classification des eaux d'après Stabler.....	50
Fig.N°27 :	Classification des eaux d'après Shoeller-Berkaloff des puits.....	52
Fig.N°28 :	Classification des eaux d'après Shoeller-Berkaloff des puits bis.....	52
Fig.N°29 :	Représentation des facies chimiques selon le diagramme de Piper.....	53

Chapitre 6 : Sources de pollution et impact sur l'environnement

Fig.N°30 :	Bourbier sur le site OMKZ-15. (Hassi Messaoud Juin 2009).....	58
Fig.N°31 :	Bourbier recevant les résidus huileux. (OMPZ-462 Hassi Messaoud Mai 2010) Bourbier, Liner.....	58
Fig.N°32 :	Bourbier recevant les résidus aqueux.....	59
Fig.N°33 :	Pollution par fuite de fluide de forage. (SSRHMD).....	60
Fig.N°33 :	Pollution des sables de la région de Hassi-Messaoud dû à cause des bourbiers.....	60
Fig.N°34 :	Transfert des polluants du sol dans l'environnement. (Hadj Abbas, 2011).....	64
Fig.N°35 :	Phénomène d'encapsulation.....	66

Liste des tableaux

Chapitre 3 : Contexte hydrolimatologique

Tableau N°1 :	Précipitations moyennes mensuelles des pluies relevées à la station de l'aéroport Hassi Messaoud (2010/2019).....	17
Tableau N°2 :	Températures moyennes mensuelles relevées à la station de l'aéroport Hassi Messaoud (2010/2019).....	18
Tableau N°3 :	Moyennes des pluies et des températures relevées à la station de l'aéroport Hassi Messaoud (2010/2019).....	19
Tableau N°4 :	Précipitations et températures de Hassi Messaoud accompagné de la relation P/T.....	20
Tableau N°5 :	Type de climat d'après l'indice d'aridité de De Martonne	21
Tableau N°6 :	L'indice d'aridité de la région de Hassi Messaoud à partir de la station de l'aéroport.....	22
Tableau N°7 :	Précipitations et températures pour Turc.....	23
Tableau N°8 :	Précipitations et températures pour la méthode Coutagne.....	
Tableau N°9 :	ETP par la méthode Thornthwaite.....	24
Tableau N°10 :	Bilan hydrique avec les ruissèlements obtenu avec la méthode Thornthwaite...	25

Chapitre 5 : Etude hydrochimique

Tableau N°11 :	Différents éléments ainsi que leurs résultats comparés aux normes OMS 2018.....	39
Tableau N°12 :	Différents éléments ainsi que leurs résultats comparés aux normes algériennes selon le journal officiel 2014.....	40
Tableau N°13 :	Données des puits (pH, Conductivité et Salinité)	40
Tableau N°14 :	Classification des eaux d'après leur pH d'après (Soeren Sorensen 1893)	41
Tableau N°15 :	Qualification de l'eau d'après sa dureté.....	44
Tableau N°16 :	Cations des différents prélèvements de puits en milliéquivalents par litre.....	45
Tableau N°17 :	Cations des différents prélèvements de puits en milligramme par litre.....	45
Tableau N°18 :	Anions des différents prélèvements de puits en milliéquivalents par litre.....	47
Tableau N°19 :	Anions des différents prélèvements de puits en milligramme par litre.....	47
Tableau N°20 :	balance ionique des différentes eaux des puits de la zone d'étude.	49
Tableau N°21 :	Représentation des cations et anions et déduction des faciès des eaux.	50

Chapitre 6 : Sources de pollution et impact sur l'environnement

Tableau N°22 :	Points de prélèvements à partir de la nappe du Moi-pliocène.....	61
Tableau N°23 :	Les valeurs des poids des paramètres de la méthode DRASTIC.....	62
Tableau N°24 :	Paramètres DRASTIC pour chaque puits.....	62
Tableau N°25 :	Notes de chaque paramètre DRASTIC.....	63
Tableau N°26 :	Indice DRASTIC pour chaque puits.....	63

Liste des abréviations

CT :	Complexe Terminal.
CI :	Continental Intercalaire.
OMS :	Organisation Mondiale de la Santé.
L'INFP :	Institut National de la Formation Professionnelle.
PNB :	Produit National Brut.
CIN :	Centre Industriel Nord.
CINA :	Centre Industriel Nailli Abdelhalim.
CIS :	Centre Industriel Sud.
GPL :	Gaz de Pétrole Liquéfié
ENAGEO :	Entreprise Nationale de Géophysique.
UNESCO :	Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture.
WEC :	World Energy Council.
ETP :	Evapotranspiration Potentiel.
ETR :	Evapotranspiration Réel.
DA :	Déficit Agricole.
RFU :	Réserve en Eau facilement Utilisable.
P :	Pluie.
T :	Température.
R :	Ruissèlement.
SASS :	Système Acquière du Sahara Septentrional.
ERESS:	European Partnership for Railway Energy.
SONATRACH:	Société National pour la recherche, la production, le transport, la transformation, et la commercialisation des Hydrocarbures
HC:	Hydrocarbure.
EPA:	Agence de Protection de l'Environnement.

Introduction générale :

La région de Hassi Messaoud où, se situe la plus grande réserve souterraine d'eau au Sahara algérien. Notre choix est motivé par l'étendue de ce système aquifère et son importance dans le domaine pétrolier et qui représente à lui seul, la ressource en eau essentielle dans cette industrie qui consomme d'avantage de plus en plus dans la région. L'utilisation de la ressource en eau souterraine a commencé depuis plus d'une cinquantaine d'années. Et le volume d'eau exploité pour l'activité pétrolière est estimé à 80.3 Hm^3 en 2004, dont 63 Hm^3 proviennent du Continental Intercalaire et 17.3 Hm^3 du Complexe Terminal.

Le présent travail a pour objectif de réaliser une étude hydrogéologique des nappes aquifères du Complexe Terminal (C.T) afin, de mettre en évidence la distribution et la circulation des eaux souterraines en tenant compte de leurs interactions avec les conditions géologiques et l'eau de surface, introduire la notion d'hydrochimie pour déterminer les processus de pollution qui affectent, la qualité chimiques des eaux, influencés en grande partie par les facteurs anthropiques du domaine pétrolier.

L'étude est abordée par l'utilisation des outils de l'hydrogéologie, de l'hydrochimie, de la pollution et de la vulnérabilité des eaux souterraines aux pollutions auxquelles elles sont soumises pour une éventuelle protection avec les différentes méthodes.

A cet effet nous avons structuré notre travail en six (06) chapitres complémentaires :

Chapitre 1 : Généralités sur de la zone d'étude.

Chapitre 2 : Contexte géologique.

Chapitre 3 : Contexte climatologique.

Chapitre 4 : Etude hydrogéologique.

Chapitre 5 : Qualité des ressources hydriques (hydrochimie).

Chapitre 6 : Sources de pollution et impact sur l'environnement.

Chapitre 1 : Généralités sur la zone d'étude.

Chapitre 1 : Présentation de la région d'étude

1.1.Introduction :

La région de Hassi Messaoud (**Figure 1**) est une commune algérienne de la wilaya d'Ouargla, située à 86 km au Sud-Est de Ouargla et à 172 km au Sud de Touggourt et à 800 km au Sud-Est de la capitale Alger, de superficie de 71 237 km², elle a pour coordonnées géographiques (coordonnées Lambert) : X = entre 790.000 et 840.000 Est. Y = entre 110.000 et 150.000 Nord.

1.2.Situation géographique et administrative de la région d'étude



Figure 1 : Situation géographique de Hassi Messaoud. (Earth 2020).

Le nom de la ville de Hassi Messaoud est dérivé du chamelier Messaoud Rouabeh qui s'était installé dans la région en 1919 venant de la ville de Metlili Chaanba en quête d'eau et de pâturage. Dès son arrivée, il a constaté la fertilité de la terre et donc il avait commencé à creuser un puits pour avoir de l'eau afin de subvenir aux besoins de sa famille. Il a été surpris en découvrant à 20 mètres de profondeur le jaillissement d'une eau très pure jamais vue ou goûtée avant. Sur ce, il a directement alerté les autorités. Un échantillon de l'eau a été relevé par les autorités coloniales pour l'analyser, et la surprise était plus grande en découvrant les premiers gisements pétroliers en Algérie et leur mise en exploitation a démarrée depuis 1956.

Ses limites administratives sont :

- **Au Nord par** : les deux communes de Hdjira et Taibet
- **Al'Ouest par** : les communes de Hassi Ben Abdellah, El Menia et Rouissait.
- **Au Sud et au Sud-Est par** : les communes de Tamanrasset et Bordj Omar Idris (W.d'Illizi)
- **Al'Est par** : la commune de El Borma

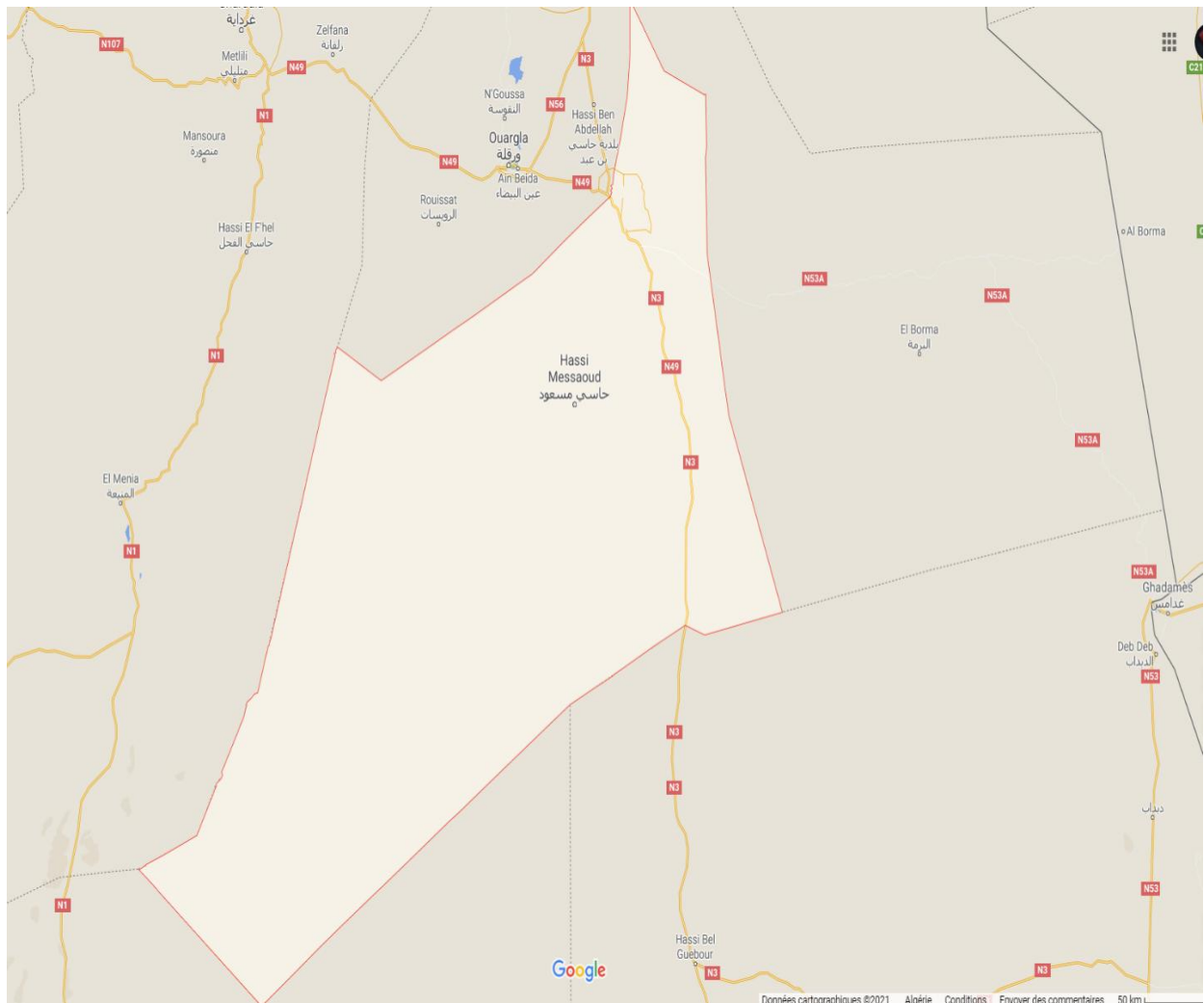


Figure 02 : Limites administratives de la région de Hassi Messaoud (Earth 2020).

Le champ de Hassi Messaoud est limité :

- Au Nord-Ouest par les gisements d'Ouargla (Gellala, Ben Kahla et Haoud Berkaoui).
- Au Sud-Ouest par les gisements d'El Gassi, Zotti et El Agreb.
- Au Sud-Est par les gisements ; Rhourde El Baguel et Mesdar.

La région de Hassi Messaoud appartient à la partie orientale du Sahara algérien, cette partie est occupée par le Grand Erg Oriental qui est une vaste étendue de dunes de sables

généralement de couleur beige clair. Ces grandes accumulations sableuses occupent presque la moitié du territoire de la région.

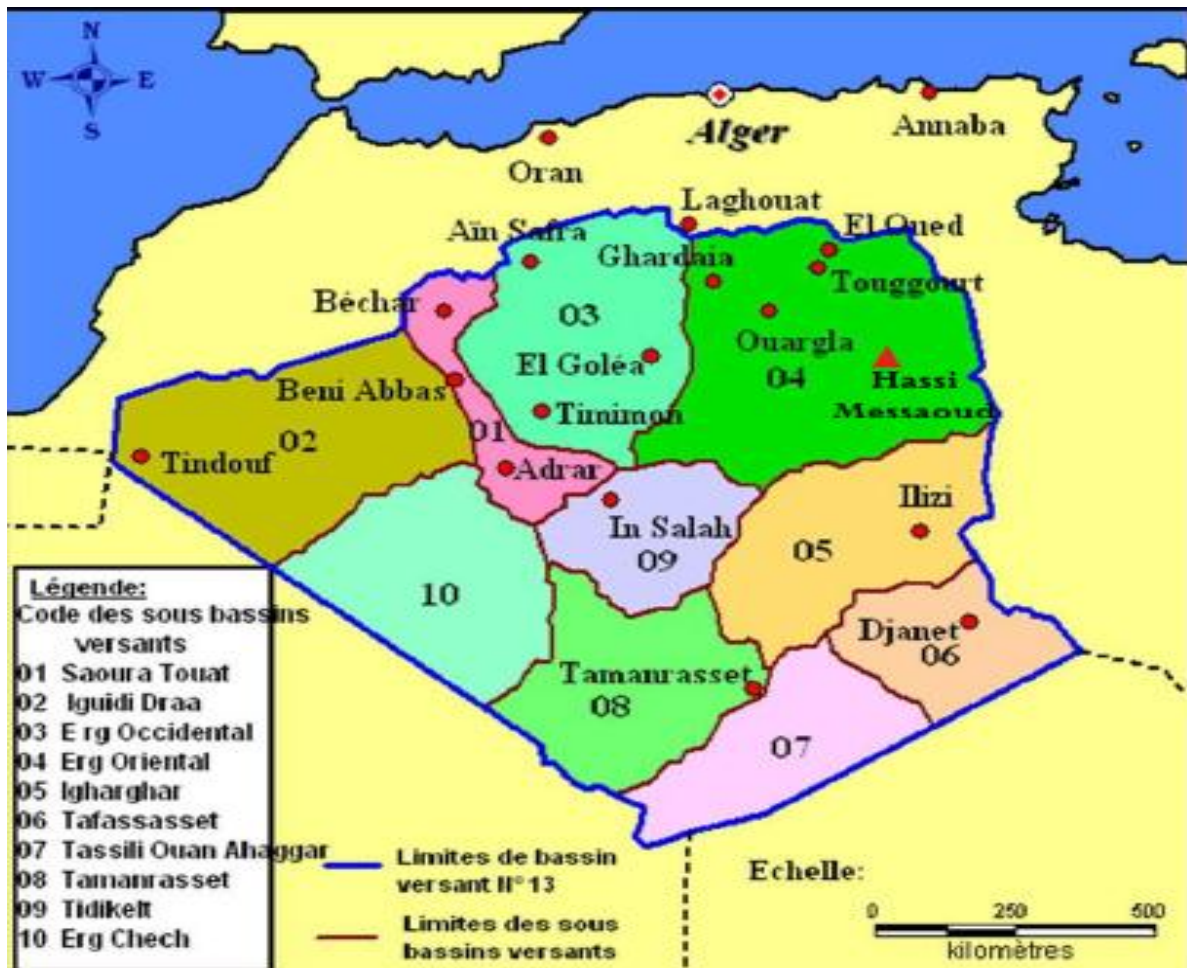


Figure 03 : Carte des sous bassins versants du Sahara algérien (ANRH).

La région de Hassi Messaoud fait partie du sous-bassin saharien N°4 (Figure 3), sur le plan géomorphologique on distingue :

Les Hamadas Mio-Pliocène : Formation continentale détritique, qui forme des plateaux dont l'altitude varie entre 150 à 180 m.

- Les formations sableuses : Cordons d'erg et des dunes.
- Les étendus : Anciens lits d'Oueds.

Les deux grands oueds qui traversent la région de Hassi Messaoud sont deux : l'oued Mya et l'oued Igharghar. Du fait de l'aridité du climat, le réseau hydrographique saharien s'est dégradé et asséché depuis le Quaternaire récent on retrouve seulement quelques indices de leur présence par le passé. L'oued Mya était un des plus importants fleuves du Sahara au quaternaire, il fait partie du plateau de Tademaït, rejoignait l'oued Igharghar un peu plus au Nord de la région pour former l'Oued Righ, dont le lit asséché est comblé par des dépôts

sédimentaires éoliens déposés avec le temps. L'altitude moyenne est de 170m pour les plateaux des Hamadas, 139m à 150m pour les lits des oueds, avec présence de rares dépressions pouvant baisser jusqu'à 130 m. Dans l'ensemble on note que les altitudes décroissent vers l'Est. [2]

1.3. Contexte socio-économique

La population de Hassi Messaoud est estimée à 49276 habitants selon le dernier recensement officiel du 31/01/2017 faite par le ministère de l'intérieur, indiscutablement représente la commune la plus riche du pays, grâce aux activités du secteur pétrolier. L'économie de la ville est largement fondée sur l'exploitation des gisements de pétrole. En effet avec 1.58 % 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, expliqué par le développement industriel qui influe la région, 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.

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 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 révélée par la sismique réfraction. 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 a été réalisé peu de temps après à environ 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 ont augmenté sans cesse depuis. Durant plusieurs années d'exploitation du champ de Hassi Messouad, une constatation a été faite à propos de l'ensemble des puits, déclarant qu'ils se comportaient de manière indépendante les uns par rapport aux autres, d'où a été réalisé le découpage en plusieurs zones de la région d'exploitation, dont les pressions moyennes de

chaque zone varient 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 et par fracturation). [2].

1.4. Le champ de Hassi Messaoud :

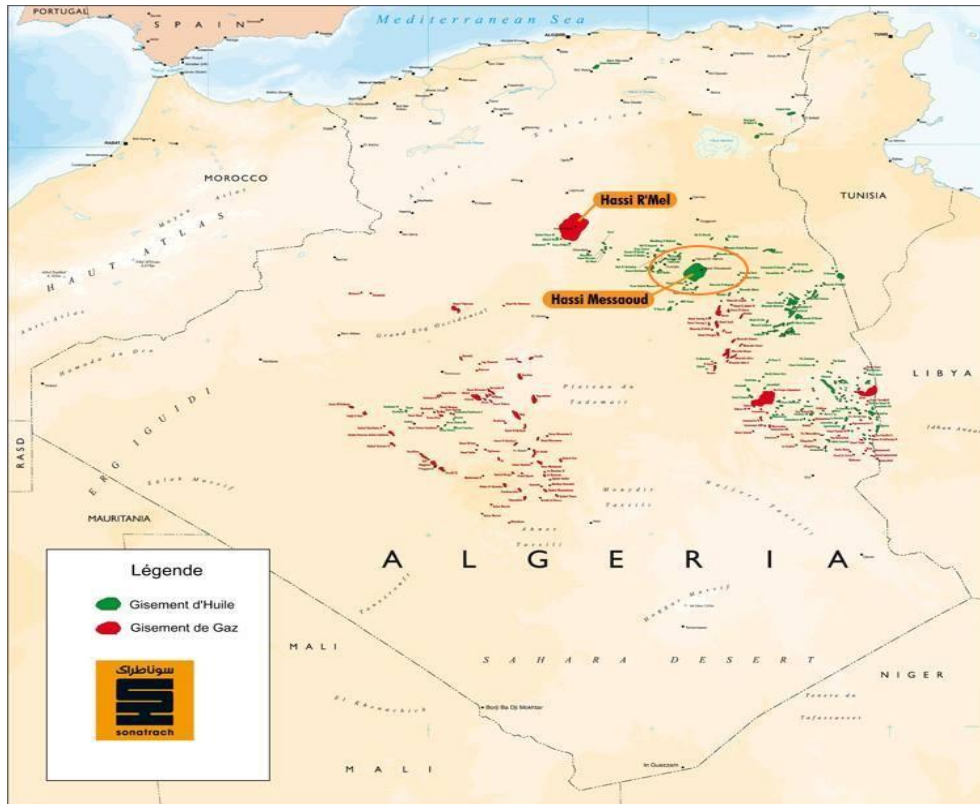


Figure 04 : Représentation du champ de Hassi Messaoud.

Le champ de Hassi Messaoud (figure4) se situe dans la province triasique, dans sa partie centrale. De par son étendue et ses réserves souterraines c'est le plus grand gisement de pétrole en Algérie, il s'étend sur environ 2200 Km². De par sa production le champ pétrolier de Hassi Messaoud est considéré comme l'un des dix plus grands champs pétroliers au monde, Les réserves prouvées de l'Algérie en pétrole avoisinent les 12,2 milliards de barils en début 2018, le gisement de Hassi Messaoud à lui seul représenterait 71% des réserves pétrolières du pays.

1.5. Les zones du champ de Hassi Messaoud :

Le champ de Hassi Messaoud est subdivisé en 25 zones (figure5) de production, de différentes extensions, ces zones indépendantes représentent un ensemble de puits communiquant entre eux. Les puits d'une même zone drainent conjointement une quantité d'huile en place bien établie.

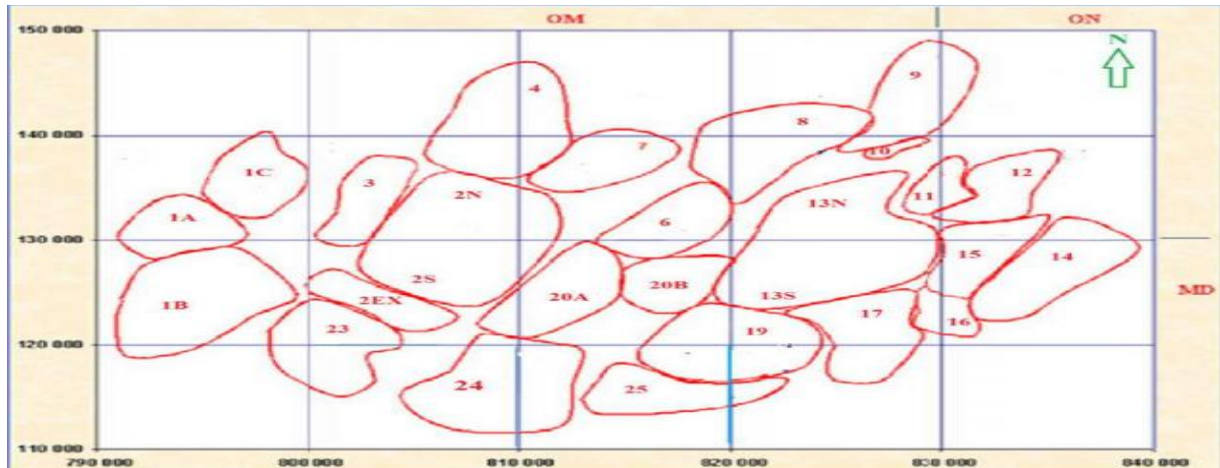


Figure 05 : Carte des zones du champ pétrolier d'Hassi-Messaoud. (Sonatrach. DP.HMD.2002).

Le champ de Hassi Messaoud est subdivisé en deux parties :

1.5.1. Le champ nord :

Comporte une numérotation géographique complétée par celle chronologique, exemple (figure6): OMN-43 : O : permis de Ouargla ; M : carreau de 1600 km² ; N : carré de 100 km² ; 4 : abscisse ; 3 : ordonnée.

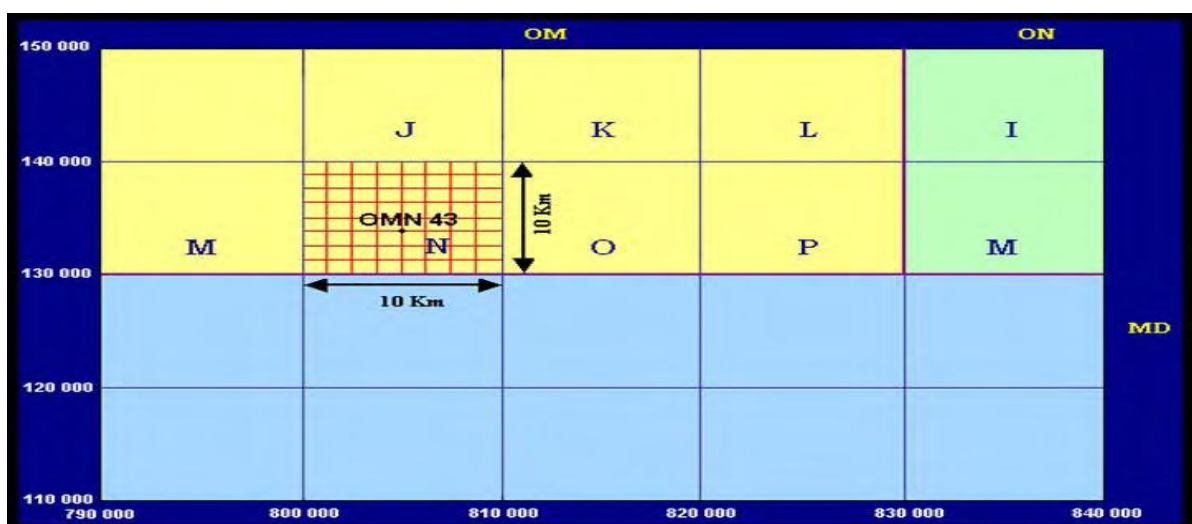


Figure 06 : Les 25 zones de production et numérotation des puits dans le champ de Hassi Messaoud.

1.5.2 Le champ sud :

La numérotation est chronologique, exemple : MD-1, MD-2, ..., MD-544....

1.6 Les centres industriels de Hassi Messaoud :

1.6.1 Centre industriel nord (C.I.N) :

Appelé le centre industriel Nailli Abdelhalim (C.I.N.A), alimenté en brut par les puits pétroliers de la partie Nord du champ. Son exploitation a débuté en 1962 il est situé au Nord-Ouest du champ.

Cette installation traite jusqu'à 300 000 barils/jour, il est composé de 3 unités :

- Unité de traitement.
- Unité de GPL.
- Station de compression.

1.6.2 Centre Industriel Sud (C.I.S) :

Il reçoit le brut directement des puits pétroliers de la partie Sud du champ, il est constitué de :

- Unité de traitement du brut.
- Unités de GPL1 et GPL2
- Une raffinerie.
- Station de compression.
- Un laboratoire de centre.

La production pétrolière ne cesse de se développer ce qui engendre plus d'hydrocarbure ainsi pour répondre aux exigences de traitement du côté quantitatif, Sonatrach a pris l'initiative de réaliser 2 nouvelles unités de traitement de brut sur le champ de Hassi Messaoud Sud, nommées USTBH et Z.CINA au Nord.

1.7 Conclusion :

Hassi Messaoud est une vaste région qui se situe au Sud-Est du pays Algérien dans la wilaya de Ouargla dont la population est de 49276 habitants ce qui augmente la demande en AEP cependant cette commune est d'une richesse en hydrocarbures très élevée ce qui a poussé les organismes à réaliser un découpage en zone afin de mieux gérer ce champ industriel dont l'activité pétrolière est très développée et qui ne cesse de s'amplifier, elle participe amplement à l'économie du pays

Chapitre 2 :
Contexte géologique

Géologiquement parlant le champ de Hassi Messaoud est limité par (figure8) :

Au Nord par la structure Djemaa-Tougourt.

Au Sud se prolonge le môle d'Amguid El Biod.

A l'Est par les hauts fonds de Dahar, Rhoudé El Baguel et la dépression de Berkine.

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

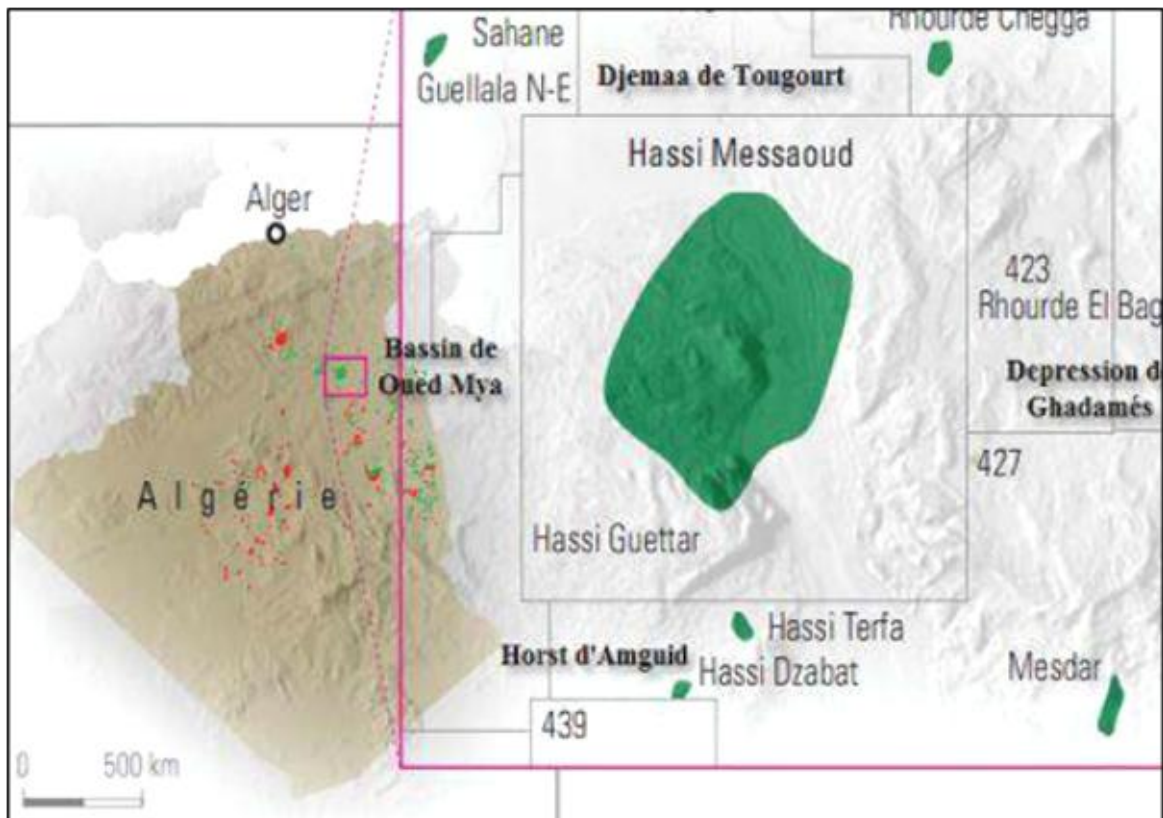


Figure 01 : Contexte géologique du champ de Hassi Messaoud (WEC 2007).

2.2 Tectonique de Hassi Messaoud :

La structure du champ de Hassi Messaoud se présente comme un vaste dôme anticlinal aplati (figure9), 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 Horsts et Grabens.

Les cassures sans rejets qui ont eu un grand effet sur la fracturation du réservoir.

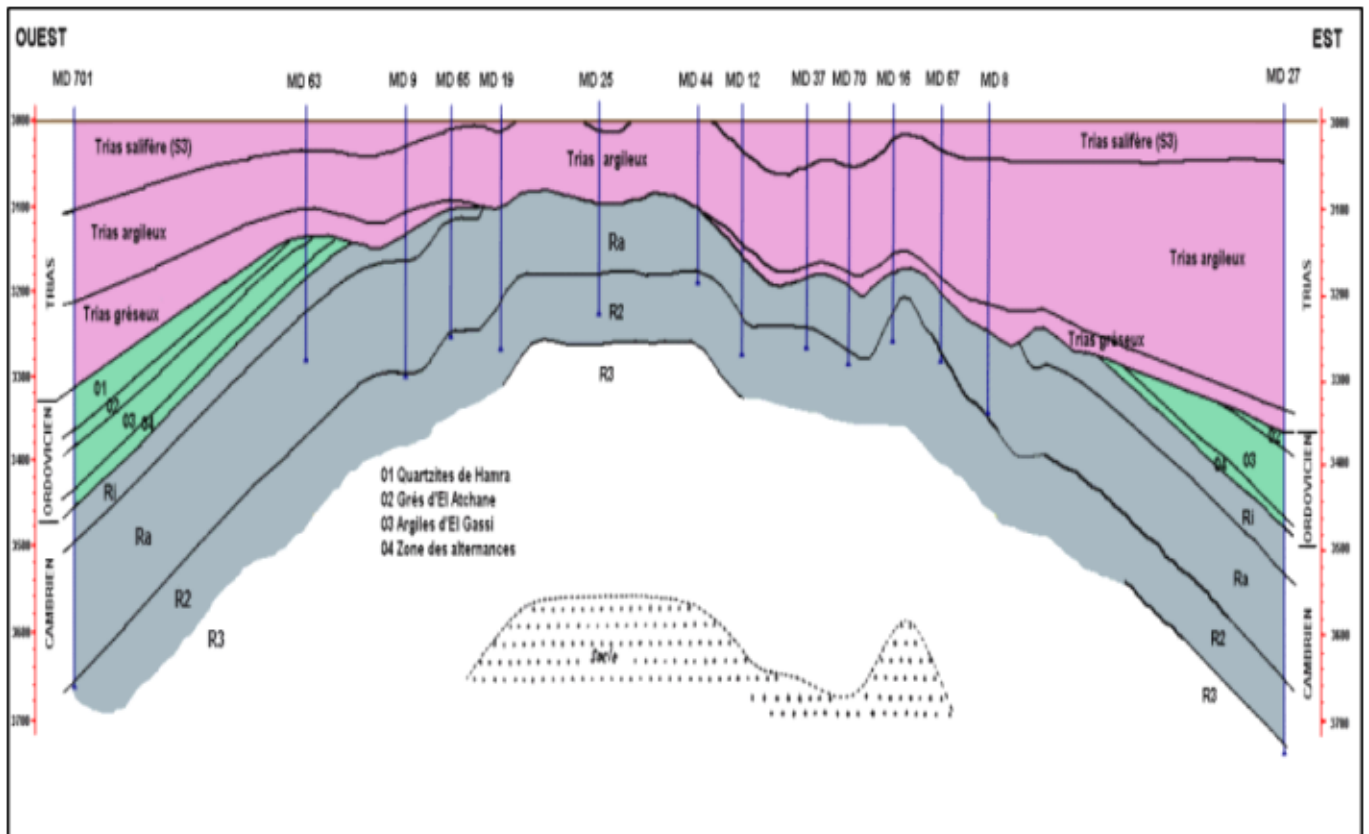


Figure 2 : Coupe transversale Ouest – Est de la structure de Hassi Messaoud au niveau du réservoir (Division forage).

La coupe transversale Ouest-Est de la structure de Hassi Messaoud sous forme de dôme (figure 10) est le résultat d'une histoire paléo tectonique 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. Cette structuration montre une fermeture de 300m 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.

2.3 Stratigraphie du Hassi Messaoud :

Sur la dorsale de Hassi Messaoud une bonne partie de la série stratigraphique est absente, en allant vers la périphérie du champ, la série devient plus complète. Ce sont les dépôts du Paléozoïque reposant sur un socle granitique, qui ont été érodés au milieu de la structure au cours de la phase hercynienne, les dépôts mésozoïques reposent en discordance sur le Cambro-Ordovicien. De la base au sommet on distingue (Figure10 et 11) :

2.3.1 Le Socle :

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

2.3.2 Le Paléozoïque :

2.3.2.1 L'Infracambrien :

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

2.3.2.2 Le Cambrien :

Essentiellement constitué de grès hétérogènes, fins à très grossiers entrecoupés de passées de siltstone argilo-micacés.

2.3.2.3 L'Ordovicien :

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

2.3.2.3.1 Zone des alternances :

Son épaisseur moyenne est de 18 mètres. Désignées ainsi en raison de la présence de nombreuses passées d'argiles indurées alternantes avec des bancs quartzites fins isométriques.

2.3.2.3.2 Argile d'El Gassi :

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

2.3.2.3.3 Les grès d'El Atchane :

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

2.3.2.3.4 Les quartzites d'el Hamra :

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

2.3.3 Le Mésozoïque :

2.3.3.1 Le Trias :

Il repose en discordance sur le Cambrien au centre et sur l'Ordovicien aux flancs de la structure. C'est un faciès très varié résultant de la transgression qui fut à caractère laguno-marin, accompagnée par des coulées éruptives.

2.3.3.2 Le Jurassique :

Son épaisseur moyenne est de 844 mètres, c'est un ensemble argilo-gréseux à intercalations de calcaire au sommet (Malm) et à alternances de faciès lagunaires et marins à la base (Dogger et Lias).

2.3.3.2.1 Le Lias :

Son épaisseur moyenne est de 300 mètres. Le passage du Trias au Lias est caractérisé par une zone de marne dolomitique connue sous le terme de l'horizon B qui est un repère sismique. Le Lias est subdivisé en cinq (5) niveaux bien distincts s'intercalant entre eux sur toute l'épaisseur.

2.3.3.2.2 Le Dogger :

Son épaisseur moyenne est de 318 mètres. Le Dogger est subdivisé en deux (2) formations, le Dogger lagunaire à la base et le Dogger argileux au sommet.

2.3.3.2.3 Le Malm :

Son épaisseur moyenne est de 226 mètres. Il est caractérisé par les dépôts d'argiles et de marnes avec des intercalations des bancs de calcaire et dolomie accompagnés de quelques traces d'anhydrite.

2.3.3.3 Le Crétacé :

Son épaisseur moyenne est de 1538 mètres. Il est constitué de sept étages, de la base au sommet on distingue :

2.3.3.3.1 Le Néocomien :

Son épaisseur est de 182 mètres. Il comprend deux niveaux, à la base un terme gréseux constitué de grès et de quelques passées d'argiles avec des passages de grès, au sommet un terme argileux représenté par des argiles avec nombreuses intercalations de calcaire et de dolomie.

2.3.3.3.2 Le Barrémien :

Son épaisseur moyenne est de 276 mètres. Il est formé de grès fins à moyens carbonatés à plages d'anhydrite, alternant avec des niveaux d'argile gréseuse et dolomitique.

2.3.3.3.3 L'Aptien :

Son épaisseur est de 24 mètres. Il est représenté par deux bancs dolomitiques encadrant un niveau argileux. La limite Aptien-Barrémien coïncide avec la barre calcaire-dolomitique qui représente un bon repère sismique.

2.3.3.3.4 L'Albien :

Son épaisseur moyenne est de 362 mètres. Constitué de grès et sable fin, avec des intercalations d'argile silteuse, il représente une immense nappe aquifère.

2.3.3.3.5. Le Cénomanién :

Son épaisseur moyenne est de 117 mètres. Alternance d'anhydrite et d'argile rouge-brune, de marnes grises et de dolomie. La limite Cénomanién-Albien coïncide avec le passage des séries évaporitiques aux séries plus gréseuses de l'Albien.

2.3.3.3.6 Le Turonien :

Son épaisseur moyenne est de 112 mètres. Alternance de calcaire argileux, calcaire dolomitique et calcaire crayeux ; Au sommet apparaissent les bancs de calcaire. Le Turonien représente la nappe d'eau salée.

2.3.3.3.7 Le Sénonien :

Son épaisseur moyenne est de 465 mètres. A la base, une série lagunaire présentant des bancs massifs de sel et des alternances d'anhydrite, dolomie et d'argile grise, au sommet une série carbonatée présentant des bancs de calcaire dolomitique argileux et des bancs d'anhydrite.

2.3.4 Le Cénozoïque :

Le Cénozoïque est représenté par une série de dépôts détritiques Il est constitué de calcaire dolomitique à l'Eocène et d'un recouvrement de type sableux au Mio-Pliocène. Son épaisseur moyenne sur toute l'étendue est de 361 m environ.

Ere/Sy	ETAGES	LITHO	Ep(m)	DESCRIPTION
CÉNOZOÏQUE	MIO PLIOCENE		239	SABLE, CALCAIRE
	EOCENE		122	CALCAIRE
	Discordance alpine			
	CARBONATE		107	CALCAIRE, DOLOMIE, ANHYDRITE
	ANHYDRITIQUE		209	ANHYDRITE, MARNE, DOLOMIE
	SALIFERE		149	SEL MASSIF
	TURONIEN		112	CALCAIRE
	CENOMANIEN		147	MARNE, CALCAIRE, DOLOMIE
	ALBIEN		362	GRES, ARGILE
	APTIEN		24	DOLOMIE
	BARREMIEN		276	ARGILE, SABLE
	NEOCOMIEN		182	DOLOMIE, MARNE, ARGILE
	MALM		226	ARGILE, MARNE, CALCAIRE
	DOGG	ARGILEUX	107	ARGILE, MARNE
		LAGUNAIRE	211	ANHYDRITE, DOLOMIE
	LIAS	LD1	66	DOLOMIE, ANHYDRITE, ARGILE
		LS1	90	SEL, ANHYDRITE
		LD2	55	DOLOMIE, MARNE
		LS2	58	SEL MASSIF
		Horizon B	31	CALCAIRE, DOLOMIE
	SALIF	D2	46	ANHYDRITE, ARGILE
		TS2	189	SEL, ARGILE, ANHYDRITE
		TS3	202	SEL MASSIF
	ARGILEUX		113	ARGILE
	GRESEUX		0 à 35	GRES, ARGILE
	ERUPTIF		0 à 92	ANDESITE
	Discordance hercynienne			
PALÉOZOÏQUE	Quartzites de Hamra		75	Grès très fins
	Grès d'El-Atchane		25	Grès fins glauconieux
	Argiles d'El-Gassi		50	Argile verte ou noire
	Zones des Alternances		18	Alternances grès et argiles
	R Isométriques		42	GRES Isométriques, Silts
	R Anisométriques		125	GRES Anisométriques, Silts
	R ?		100	GRES Grossiers, Argile
	R 3		370	GRES Grossiers, Argiles
	Infra Cambrien		45	GRES Argileux rouge
	SOCLE			Granite porphyroïde rose

Figure 3 : Colonne lithostratigraphique du champ de Hassi Messaoud.

2.4 Conclusion.

La région de Hassi Messaoud est caractérisée par une géologie de complexité tectonique due à différents types de failles a donné lieu à la forme anticlinale du champ de Hassi Messaoud. Celui-ci est compartimenté en blocs Horst et Graben formés pendant les événements antéhercyniens dont l'origine est le socle.

La majorité des gisements d'huile et de gaz découverts à ce jour sont situés dans la partie de la plateforme saharienne, dont le plus grand gisement se trouve dans cette province qui est le champ de Hassi Messaoud. Le champ de Hassi Messaoud occupe la partie centrale de la province triasique de la plateforme saharienne. Il se présente sous forme d'un large anticlinal de direction globale Est Ouest représenté par des regs et ergs qui surmontent le précambrien.

A partir de la série géologique on peut distinguer deux ensembles aquifères post paléozoïques importants en plus du Turonien et l'horizon B qui sont le Complexe Terminal d'âge Miocène, l'Eocène et le Sénonien carbonaté majoritairement des calcaires en plus des sables et le Continental Intercalaire constitué de grès et d'argiles en plus de dolomies tous les deux font partie du Mésozoïque et du Crétacé plus particulièrement qui permettent la rétention de ressources hydriques.

Chapitre 3 :
Contexte hydrolimatologique.

Chapitre 3 : Contexte Hydrolimatologique

3.1. Introduction :

Dans ce chapitre nous établirons un bilan hydrologique avec l'utilisation des facteurs climatiques qui sont indispensables à l'établissement de celui-ci. Nous citerons parmi les principaux facteurs la température, les précipitations ainsi que l'évapotranspiration.

3.2. Précipitations :

Selon les données du tableau 1, nous avons établi l'histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station de l'aéroport de Hassi Messaoud allant de 2010 à 2019. (Tableau1).

Tableau 1: Précipitations moyennes mensuelles des pluies relevées à la station de l'aéroport Hassi Messaoud (2010/2019).

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août
Précipitations (mm)	5,19	4,73	2,19	4,18	1,86	4,71	2,47	5,27	11,4	0,25	0,13	0,39

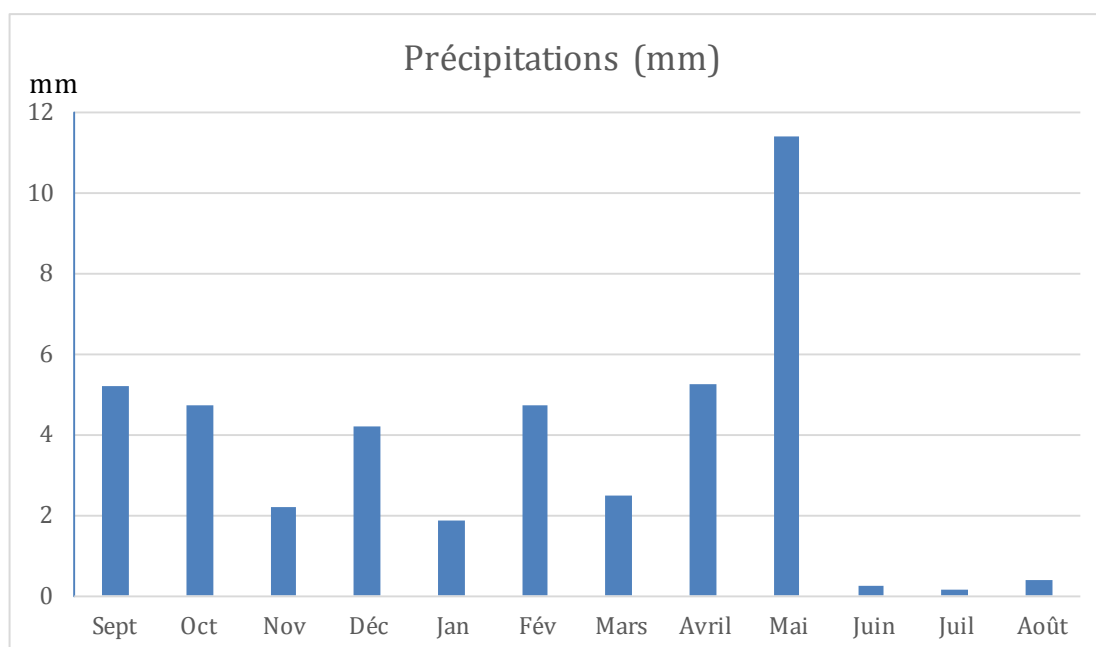


Figure 12 : Histogramme de répartition mensuelle moyenne des pluies relevées a la station de l'aéroport Hassi Messaoud (2010/2019).

L'histogramme (figure12), donne un aperçu sur les variations mensuelles et pluriannuelles des précipitations dans la région de Hassi Messaoud. On constate que le mois de mai est le plus arrosé avec 11.4 mm et le mois de juillet est le moins arrosé avec 0,13 mm. Le total interannuel de précipitation est d'ordre de 42,77 mm.

3.3. Température :

Durant la période allant de 2010 à 2019, la moyenne annuelle des températures est 23,93 °C. Les variations moyennes mensuelles des températures (tableau 2) (figure 13) montrent qu'elle est maximale au mois de juillet avec une valeur de 36,44 °C et minimale au mois de janvier avec une valeur d'ordre de 11,39 °C.

Tableau 2 : Températures moyennes mensuelles relevées à la station de l'aéroport Hassi Messaoud (2010/2019).

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août
T°C	31,43	24,57	17,28	12,43	11,39	13,78	19,24	23,9	27,61	33,42	36,44	35,7

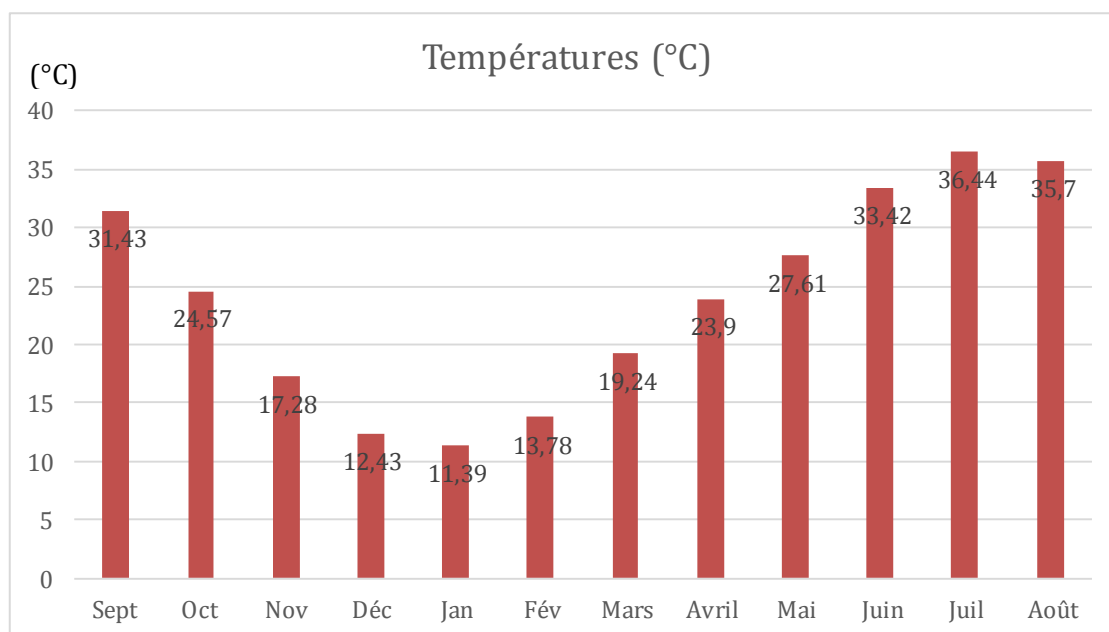


Figure 13 : Histogramme des températures moyennes mensuelles relevées à la station de l'aéroport Hassi Messaoud (2010/2019).

3.4. Climat

Les températures constituent avec les précipitations les éléments majeurs qui régissent le climat d'une région, il existe plusieurs méthodes pour déterminer le climat d'une région.

Selon les données fournies sur les précipitations et les températures on peut déterminer la nature du climat de la région de Hassi Messaoud en utilisant ces méthodes :

Diagramme ombrothermique.

Méthodes d'Eumert.

Climagramme d'Emberger

Indice d'Aridité de De Martonne.

3.4.1 Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN ET BAGNOULS :

Le diagramme Ombrothermique de GAUSSEN ET BAGNOULS désigne une représentation graphique indiquant les variations conjointes de la température moyenne et des pluies mensuelles. Le diagramme Ombrothermique est une représentation graphique des températures et quantités de précipitations moyennes mensuelles en un lieu donné.

L'intérêt du diagramme Ombrothermique est qu'il permet d'un seul coup d'œil de caractériser facilement un climat. En effet, il peut nous révéler si le climat est sec, humide. On réalisera le diagramme Ombrothermique à partir des données suivantes (tableau 3) :

Tableau 3 : Moyennes des pluies et des températures relevées à la station de l'aéroport Hassi Messaoud (2010/2019).

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août
P (mm)	5,19	4,73	2,19	4,18	1,86	4,71	2,47	5,27	11,4	0,25	0,13	0,39
T (°C)	31,43	24,57	17,28	12,43	11,39	13,78	19,24	23,9	27,61	33,42	36,44	35,7

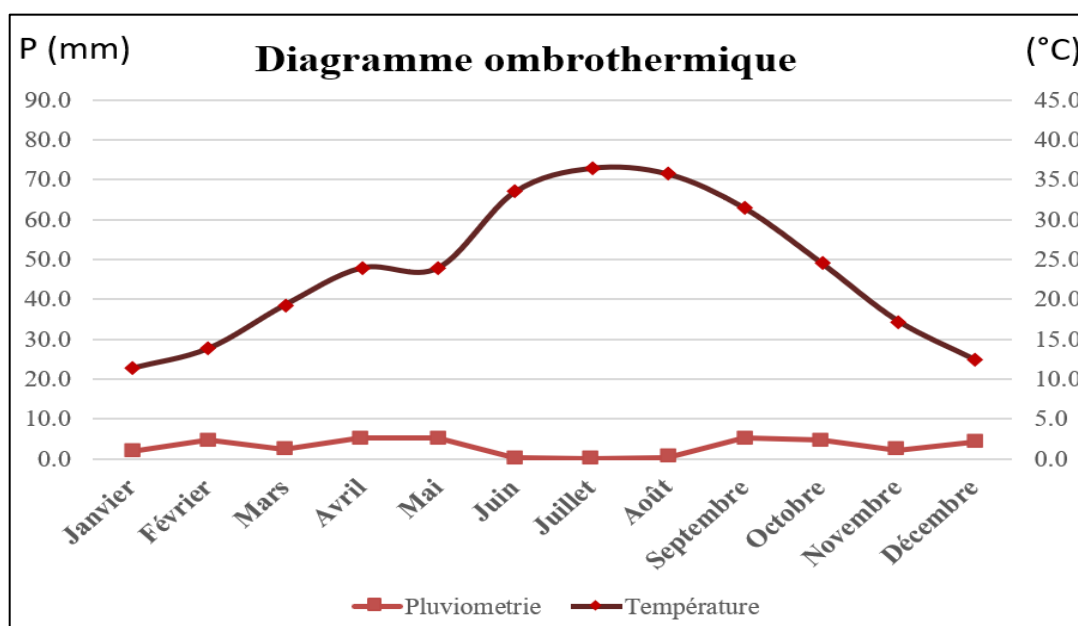


Figure 14 : Diagramme Ombrothermique de la région de Hassi Messaoud (2010/2019).

A partir de ce diagramme ombrothermique on en conclut que le climat est très sec et désertique appelé climat aride caractérisé par une sécheresse et une aridité permanente qui dure toute l'année, un manque important d'eau liquide au sol et dans l'air ambiante (on parle plus précisément d'aridité) et d'après la courbe pluviométrique de « Gausson et Bagnouls », le mois de juillet est le mois sec, parce que $P < 0,2 \text{ mm}$.

3.4.2 Méthode d'Euverte :

Le principe de la méthode d'Euverte (Tableau 4) est d'établir le rapport entre la précipitation (Mm) et la température (°C), avec le rapport (P/T) on peut déterminer quatre types de régime :

Tableau 4 : Précipitations et températures de Hassi Messaoud accompagné de la relation P/T.

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août
P(mm)	5,19	4,73	2,19	4,18	1,86	4,71	2,47	5,27	11,4	0,25	0,13	0,39
T(°C)	31,43	24,57	17,28	12,43	11,39	13,78	19,24	23,9	27,61	33,42	36,44	35,7
P/T	0,17	0,19	0,13	0,34	0,16	0,34	0,13	0,22	0,41	0,01	0,00	0,01

Un climat très sec : $P/T < 1$

Un climat sec : $1 < P/T < 2$

Un climat subhumide : $2 < P/T < 3$

Un climat humide : $P/T > 3$

On constate que les valeurs (P/T) obtenues à partir du tableau ci-dessus sont inférieures à 1, alors on en conclut à partir de la méthode d'Euverte que le climat de Hassi Messaoud est très sec, ne présentant qu'un faible apport en précipitations.

3.4.3. Climagramme d'Emberger :

Il est destiné à caractériser le climat méditerranéen et ses nuances, le paramètre pluviométrique est donné par la relation suivante :

$$QE = \frac{nP}{3.65(M^2 - m^2)}$$

Si l'on ne connaît pas le nombre de jours de précipitations, Emberger a proposé une forme simplifiée :

$$QE = \frac{2P}{(M^2 - m^2)}$$

- **QE** : Quotient pluviométrique d'Emberger.

- **n** : Nombre moyen de jours de précipitation par (an).

- **P** : Hauteur de précipitations (mm).

- **M** : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en °C.

- **m** : Moyenne des températures minimales du mois le plus froid en °C.

$$QE = \frac{365 \cdot 42,77}{3,65(36,44^2 - 11,39^2)} = 3,30$$

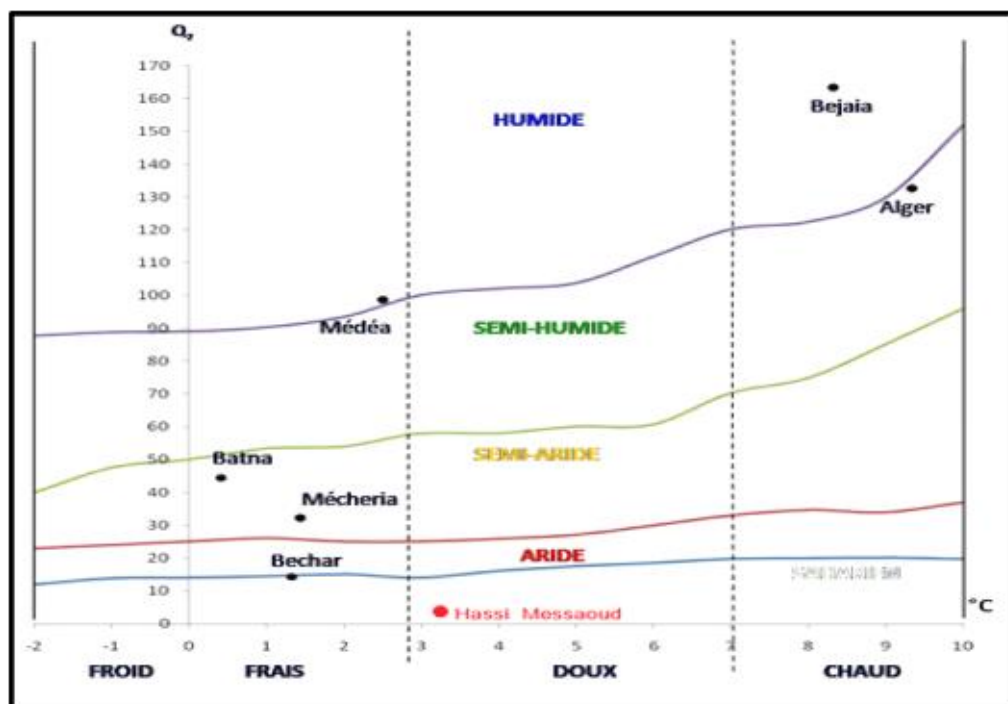


Figure 15 : Climagramme d'Emberger.

Le point obtenu sur le climagramme d'Emberger suivant la figure 15 ci-dessus situe Hassi Messaoud dans un climat de type Saharien doux.

3.4.4 Indice d'Aridité de De Martonne :

D'après De Martonne (Tableau4) l'indice d'aridité est exprimé comme suit :

Avec :

P : Les précipitations moyennes annuelles.

T : La température moyenne annuelle.

$$I = \frac{P}{(T + 10)}$$

Tableau 5 : Type de climat d'après l'indice d'aridité de De Martonne.

Valeur de l'indice	Type de climat
$0 < I < 5$	Très aride
$5 < I < 10$	Aride
$10 < I < 20$	Semi-aride
$20 < I < 30$	Semi-humide
$30 < I < 55$	Humide

Tableau 6 : L'indice d'aridité de la région de Hassi Messaoud à partir de la station de l'aéroport.

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai.	Juin	Juil.	Août.
P (mm)	5,19	4,73	2,19	4,18	1,86	4,71	2,47	5,27	11,4	0,25	0,13	0,39
T (°C)	31,43	24,57	17,28	12,43	11,39	13,78	19,24	23,9	27,61	33,42	36,44	35,7
I = P/(T+10)	0,13	0,14	0,08	0,19	0,09	0,20	0,08	0,16	0,30	0,01	0,00	0,01

Donc,

$$I = \frac{3.56}{(23.93+10)} = 0,10 \text{ mm}$$

Les calculs des indices de De Martonne de la région d'étude ont donné les résultats sur le tableau5 ci-dessus ainsi pour les valeurs de **I** comprises entre 0 et 5 se trouve dans le milieu considéré comme très aride avec les mois de juin juillet et aout représentent la période très sèche. En comparant les valeurs calculées de l'indice d'aridité avec la classification des climats en fonction de la valeur de l'indice de De Martonne, on conclut que le type de climat de notre région est très aride.

Cette dernière méthode confirme les trois méthodes précédentes ce qui nous permet de conclure que Hassi Messaoud est une région très aride.

3.5. Bilan hydrologique :

L'étude du bilan hydrique a une grande importance pour les cultures et l'évaluation des réserves hydriques pour différentes utilisations. L'évaluation de la réserve utile du sol permet de décider de la nécessité de l'exploitation d'une nappe ainsi que sa protection. Pour la région de Hassi Messaoud la recharge est quasiment nulle, par peu ou absence de précipitations du au climat très aride déterminé précédemment par plusieurs méthodes.

3.5.1. L'estimation de l'ETR :

Formule de Turc :

C'est une méthode empirique de calcul du déficit d'écoulement en fonction de la précipitation et de la température annuelle.

Avec :

D= déficit d'écoulement ou ETR= l'évapotranspiration.

$$D = ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

P= module pluviométrique annuel.

Le paramètre L est formulé par l'expression : $L = 300 + 25T + 0.05T^3$

T= Température moyenne annuelle (°C).

On a :

Tableau 7 : Précipitations et températures pour Turc.

	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Annuelle
P (mm)	5,19	4,73	2,19	4,18	1,86	4,71	2,47	5,27	11,4	0,25	0,13	0,39	42,77
T (°C)	31,43	24,57	17,28	12,43	11,39	13,78	19,24	23,9	27,61	33,42	36,44	35,7	23,93

$$D = ETR = \frac{42,77}{\sqrt{0,9 + \frac{42,77^2}{926,88^2}}} = 22,53 \text{ mm}$$

En utilisant cette méthode on obtient un déficit d'écoulement de 22,53 mm. Ainsi on aura :

Les entrées sont égales aux sorties :

Entrées= Sorties

Avec $P = ETR + R + I$

Alors: $P = ETR + R + I = 42,77 = 22,53 + R + I$

$R + I = 42,77 - 22,53$

$R + I = 20,24 \text{ mm}$

P= précipitations ; ETR= évapotranspiration réelle ; R=Ruissellement ; I=Infiltration

A partir des résultats obtenus on en conclut que 20,24 mm sont partagées entre ruissellement et infiltration, ce qui est très faible pour la recharge de la nappe du Complexe Terminal néanmoins il y'a une faible recharge d'après la méthode Turc.

Formule de Coutagne :

Cette méthode consiste à déterminer le déficit d'écoulement en fonction du paramètre (λ) et de la température moyenne annuelle.

Tableau 8 : Précipitations et températures pour la méthode Coutagne.

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Ans
P(mm)	5,19	4,73	2,19	4,18	1,86	4,71	2,47	5,27	11,4	0,25	0,13	0,39	42,77
T (°C)	31,43	24,57	17,28	12,43	11,39	13,78	19,24	23,9	27,61	33,42	36,44	35,7	23,93

Avec :

T°	23,93
P(m)	0,04277
Λ	0,31

Et :

$$D = P - \lambda P^2 \quad \text{avec} \quad \lambda = \frac{1}{0,8 + 0,14T}$$

$$\text{Et} \quad \lambda \text{ doit \u00eatre entre : } \frac{1}{8\lambda} < \lambda < \frac{1}{2\lambda}$$

$$\lambda = \frac{1}{0,8 + 0,14T} = \frac{1}{0,8 + (0,14 \times 23,93)} = 0,31$$

$$\frac{1}{8\lambda} = 0,40 \text{ et } \frac{1}{2\lambda} = 1,60 \text{ donc } \lambda < \frac{1}{8\lambda} < \frac{1}{2\lambda}$$

Alors la m\u00e9thode Coutagne n'est pas applicable dans notre zone d'\u00e9tude.

3.5.2. Estimation de l'ETP : bilan simplifi\u00e9 de Thornthwaite :

La m\u00e9thode de Thornthwaite permet de calculer ponctuellement en une station le bilan d'eau mensuel et annuel \u00e0 partir des valeurs mensuelles des pr\u00e9cipitations et des valeurs moyennes mensuelles des temp\u00e9ratures (Tableau8). Elle est bas\u00e9e sur la notion de r\u00e9serve d'eau facilement utilisable (RFU). On admet que la hauteur d'eau stock\u00e9e dans le sol reprise par l'\u00e9vapotranspiration est de 100 mm (Turc). Le bilan hydrique de Thornthwaite est un bilan \u00e9tabli \u00e0 l'\u00e9chelle mensuelle, sur la base des donn\u00e9es des pr\u00e9cipitations (P) et de l'\u00e9vapotranspiration potentielle (ETP), afin de d\u00e9terminer les variations des param\u00e8tres suivants :

Tableau 9 : ETP par la m\u00e9thode Thornthwaite.

Mois	Sep	Oct.	Nov.	D\u00e9c.	Jan	F\u00e9v.	Mar	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Annuelle
P (mm)	5.19	4.73	2.19	4.18	1.86	4.71	2.47	5.27	11.4	0.25	0.13	0.39	42.77
T (°C)	31.43	24.57	17.28	12.43	11.39	13.78	19.24	23.9	27.61	33.42	36.44	35.7	23.93
I	16.17	11.14	6.54	3.97	3.48	4.64	7.69	10.68	13.29	17.75	20.23	19.61	135.19
K	1.03	0.98	0.88	0.87	0.89	0.86	1.03	1.08	1.19	1.19	1.21	1.15	-
ETP(mm)	187.96	113.40	53.10	28.54	24.84	34.14	75.82	118.74	170.87	243.28	290.30	265.63	1 606.63

Le principe de calcul du bilan hydrologique de Thornthwaite est le suivant (Tableau9) :

Si $P \geq ETP$, on pose l'ETP = ETR, la quantit\u00e9 d'eau qui reste (P-ETR) alimentera la RFU jusqu'\u00e0 la remplir \u00e0 100mm. Si elle d\u00e9passe cette valeur, il y aura un exc\u00e8s qui part soit sous

forme d'infiltration efficace vers la nappe si le sol est le permet c'est-à-dire qu'il est perméable soit sous forme de ruissellement.

Si $P < ETP$: Alors toute l'eau qui s'est précipitée va s'évaporer et on prend de la RFU supposée 100mm au départ, jusqu'à son utilisation, on en déduira cette formule :

$$ETR = P + \min(RFU, ETP - P).$$

Si la RFU est nulle, il va se produire un déficit agricole

$$Da = ETP - ETR$$

3.5.3 Estimation du ruissellement : formule de Tixeront-Berkaloff :

Le calcul du ruissellement par la moyenne annuelle en utilisant la formule empirique de Tixeront-Berkaloff : $R = P^3 / (3 * ETP^2)$ si $P < 600$ mm, où la précipitation annuelle est de 42.77 mm et l'ETP est de 1606.62 mm, nous a donnée une valeur de 0.01 mm/an (0% des pluies).

Les données utilisées pour le calcul du ruissellement ont été pris du tableau 9 suivant :

3.5.4 Estimation de l'infiltration :

Ce dernier paramètre représente la recharge des nappes souterraines pour cela on utilise les données si dessous :

Tableau 10 : Bilan hydrique avec les ruissèlements obtenu avec la méthode Thornthwaite.

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	annuelle
P	5.19	4.73	2.19	4.18	1.86	4.71	2.47	5.27	11.4	0.25	0.13	0.39	42.77
ETP	187.96	113.4	53.1	28.54	24.84	34.14	75.82	118.74	170.9	243.28	290.3	265.6	1 606.62
RFU	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETR	5,19	4.73	2 ,19	4,18	1,86	4,71	2,47	5,27	11,4	0.25	0.13	0.39	42 ,77
Da	183.86	108.90	48.70	25.94	17.64	32.94	70.92	116.34	168.37	243.03	290.25	265.13	1 572.02
R	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

ETR : Évapotranspiration réelle (mm).

RFU : Réserve facilement utilisable (mm).

Da : Déficit agricole (mm).

R : Ruissellement (mm).

I : infiltration (mm).

Entrée= Sortie ($E = S$) et $P = ETR + R + I$

Alors $42,77 = 42,77 + 0 + I$ Donc $I = 0$.

Par cette méthode, on arrive à la conclusion qu'il n'y a aucune infiltration ni ruissellement dans la zone étudiée. Toutes les précipitations s'évaporent instantanément. Le bilan hydrologique de la région de Hassi Messaoud pendant la période (2010/2019), suivant la méthode de Thornthwaite est déficitaire, la quantité d'eau précipitée sera vite évaporée avec une évapotranspiration potentielle supérieure à l'évapotranspiration réelle. La réserve facilement utilisable est nulle pendant les douze mois de l'année. D'une recharge quasi pas possible, le déficit agricole est présent pendant toute l'année, il atteindra son maximum au mois de juillet (290.25mm). Le bilan hydrique de la région de Hassi Messaoud montre que la recharge par les pluies efficaces est inexistante.

3.6. Conclusion :

A Partir des paramètres climatiques utilisés pour ces études qui proviennent essentiellement de la station pluviométrique située à l'Aéroport de Hassi Messaoud s'étalant sur une durée d'observation de 2010 à 2019, on a conclu que notre région d'étude Hassi Messaoud se distingue par un climat type saharien sec à faibles précipitations les 12 mois de l'année, caractérisé par un été chaud et sec, un hiver plutôt doux, L'évapotranspiration potentielle (ETP) et l'évapotranspiration réelle (ETR) déterminées par la méthode de Thornthwaite et Turc pour l'ETR sont respectivement égales à 1606.63 mm 20.24 mm et alors Le bilan hydrologique de Thornthwaite est dans son ensemble déficitaire avec une faible pluviométrie et une très forte évaporation alors la recharge et l'infiltration sont nulles ou presque nulles durant toute l'année. Le ruissellement (R) estimé par la formule de Tixeront-Berkaloff est de 0.01 mm. Cette valeur est très faible, mais vu la géologie des terrains ainsi que le type de climat qui règne sur la région elle est admissible.

Chapitre 4 :
Contexte hydrogéologique

Chapitre 4 : Contexte hydrogéologique

4.1 Introduction :

Dans la région de Hassi Messaoud dans le bassin d'Amguid Messaoud il existe un système aquifère constitué de deux aquifères importants : l'aquifère du Continental Intercalaire (C.I.) et l'aquifère du Complexe Terminal (C.T.) tous les deux font partie du SASS, en plus de deux nappes aquifères qui sont le Turonien et l'horizon B. Le Complexe Terminal (C.T.) devient très exploité, ce qui influe sur la qualité de ces eaux et sa piézométrie qui diminue continuellement. On présentera ainsi les différents aquifères présents dans notre zone étude de haut en bas et présentant en premier lieu le SASS (figure16) :

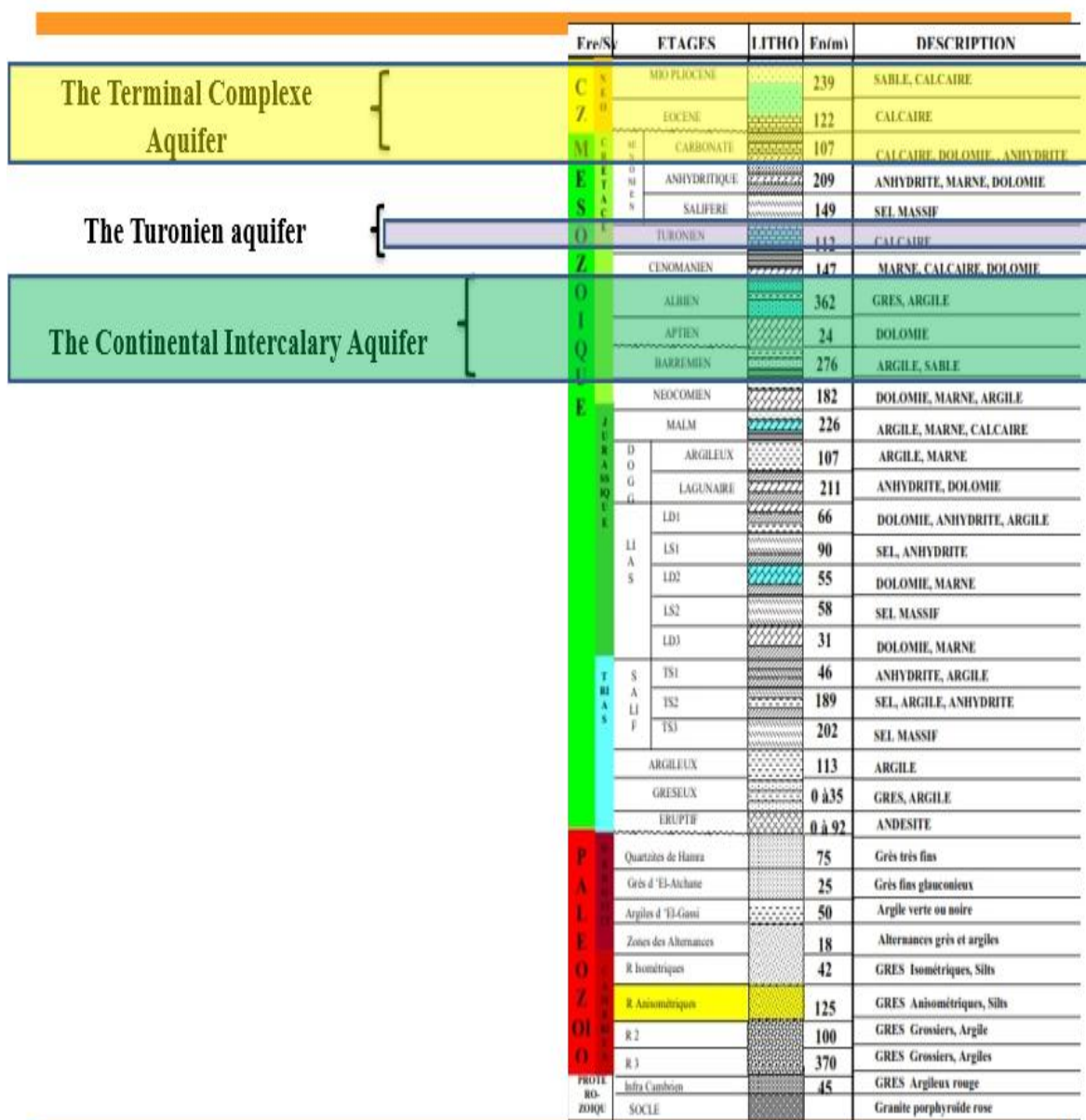


Figure 16 : Log stratigraphique type du Bassin d'Amguid Messaoud (Division exploration).

4.2 Présentation de système aquifère du SASS :

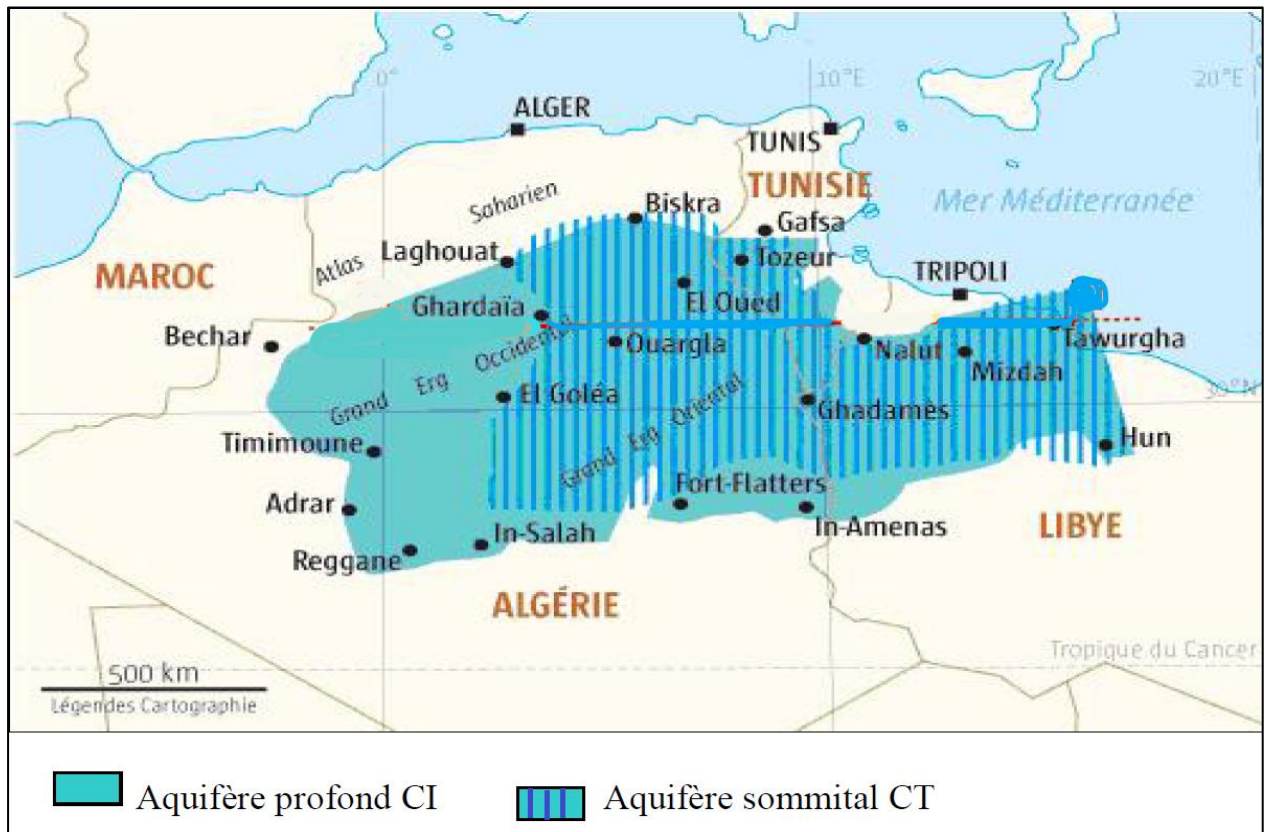


Figure 17 : Position géographique du SASS (OSS, 2008).

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional est un immense réservoir à structure multicouche désigne la superposition de deux principales couches aquifères profondes (figure17): la formation du Continental Intercalaire (C.I.) et celle du Complexe Terminal (C.T.). Ce Système recouvre une étendue de plus d'un million de km^2 dont 700.000km^2 se trouvent en Algérie, 80.000km^2 en Tunisie, et 250.000km^2 en Libye. [10] *L'aquifère du Sahara septentrional est un réservoir fossile. Il s'est constitué il y a plus de 10 000 ans, lorsque la région était soumise à un climat plus humide d'après J. MARGAT. Pendant des dizaines de milliers d'années, les pluies se sont infiltrées dans le sous-sol et accumulées dans différentes couches géologiques. C'est ainsi que se sont formées les deux réserves principales de l'aquifère avec leur étendue illustrée sur la coupe hydrogéologique suivante (Figure18) :*

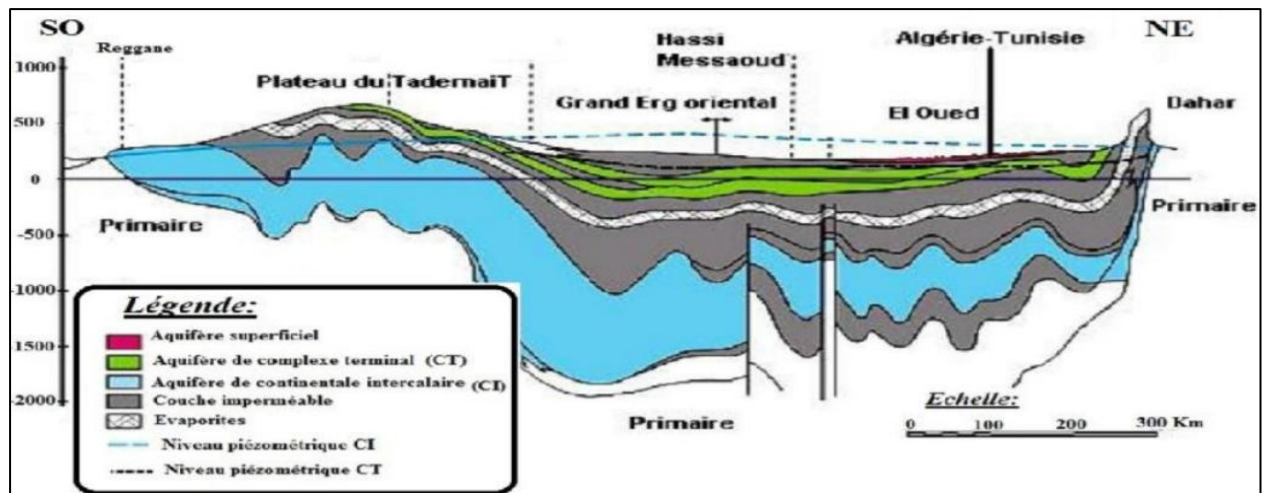


Figure 18 : Coupe hydrogéologique du SASS. (UNESCO, 1972) ;

4.3 Différents aquifères de la région de Hassi Messaoud :

Pour notre sujet d'étude on va s'intéresser essentiellement aux nappes du Complexe Terminal (C.T.) dont les aquifères sont le Mio-Pliocène, l'Eocène et le Sénonien. Le Mio-Pliocène est souvent en contact direct avec l'atmosphère donc est une nappe libre, le plus superficiel par conséquent et donc le plus vulnérable à la pollution contrairement aux 2 aquifères sous-jacents.

4.3.1 Complexe Terminal (C.T.) :

Il est noté dans l'étude OSS (2003 b) que classiquement, et selon la définition de Killian (1931), le terme "Continental Terminal" désignait les formations continentales, sableuses et argileuses du Mio-Pliocène. Mais d'après Bel et Demargne (1966): "La nappe du Continental Terminal contenue dans les sables du Mio-Pliocène et 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" C'est avec le projet ERESS que l'on verra apparaître la notion du "Complexe Terminal", appellation publiée pour la première fois par Bel et Cuche (1969). Le 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 Mio-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.

- **Le Complexe Terminal comporte deux dénominations :** Le Complexe Terminal au sens strict et le Complexe Terminal au sens large (figure 19).

Complexe Terminal au sens strict : comporte deux types d'aquifères :

L'aquifère Mio-Pliocène.

L'aquifère Eocène- Sénonien.

- **Complexe Terminal au sens large** : il est composé de trois types d'aquifères dans la région de Tinrhert (Hassi R'mel à l'Ouest du bassin d'Oued Mya) :

L'aquifère Mio-Pliocène.

L'aquifère Eocène- Sénonien.

L'aquifère du Turonien.

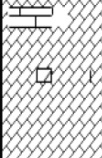
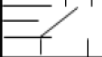
ERE	AGE	ETAGE		e(m)	Pf(m)	Log	Description lithologique	Aspect Hydrogéologique
CENOZOIQUE	Néogène	Mio-Pliocène		230	230		Sable blanc à translucide avec présence de calcaire crayeux et argile brun rouge	Nappe du Mio-Pliocène
	Pléocène	Eocène		120	350		Calcaire dolomitique à silex	Nappe du Sénono-Eocène
MESOZOIQUE	CRETACE	SENONIEN	Carbonaté	100	450		calcaire dolomie	
			Anhydritique	220	670		Anhydrite blanche massive et calcaire et dolomie	IMPERMEABLE
			Salifère	130	800		Sel blanc à translucide. Passées d'argile	
		Turonien		90	890		Calcaire dolomitique présence d'argile grise	Nappe du Turonien

Figure 19 : Log hydrogéologique de la région de Hassi Messaoud du Complexe Terminal.

4.3.1.1 Paramètres hydrodynamiques :

En l'absence des essais de pompage récents nous avons considéré ceux de l'UNESCO (1972) afin de mentionner les différents paramètres hydrodynamiques.

4.3.1.1.1 Transmissivité (T) :

Paramètre régissant le débit d'eau qui s'écoule par unité de largeur de la zone saturée d'un aquifère continu (mesurée selon une direction orthogonale à celle de l'écoulement) et par unité de gradient hydraulique. Il résulte du produit du coefficient de perméabilité (de Darcy) k par la puissance b , en milieu isotrope, ou produit de la composante du tenseur de perméabilité parallèle à la direction d'écoulement par la puissance aquifère. La productivité d'un captage dans un aquifère, soit le débit que peut capter un forage, est fonction de son coefficient de perméabilité (k en m/s) et de son épaisseur mouillée (e). Ce paramètre est appelé transmissivité (T en m^2/s). La transmissivité d'un aquifère représente la capacité

d'un aquifère à mobiliser l'eau qu'il contient, elle est déterminée à partir des essais de pompage (figure20).

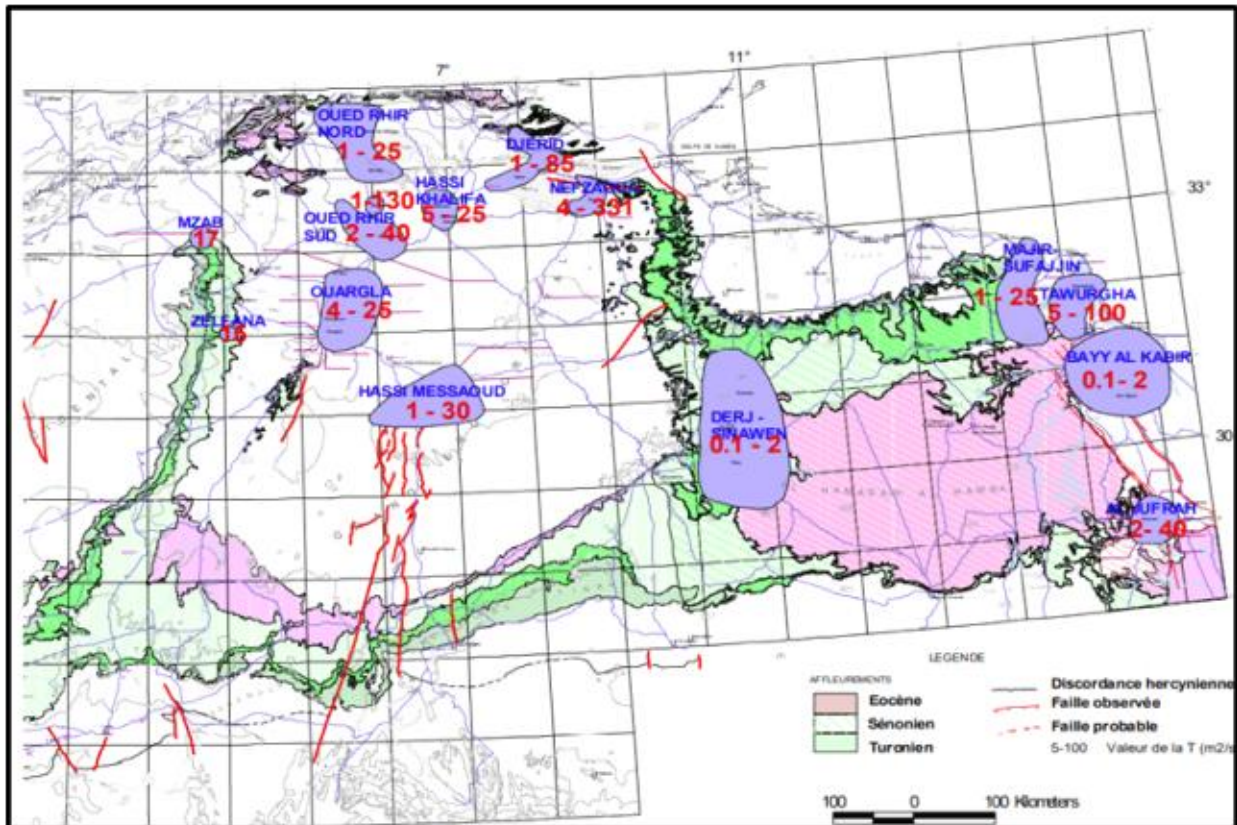


Figure 20 : Carte de transmissivités du Complexe terminal (UNESCO 1972).

Les valeurs de transmissivité obtenues à partir de pompages d'essais ne correspondaient, en général, qu'à une partie de l'aquifère. Elles sont de l'ordre de $2,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ à $5 \cdot 10^{-3}$

Bordure sud-atlasique Des essais de pompage ont été réalisés dans la région de Biskra (nappe de Tolga) sur des forages captant les niveaux aquifères du Complexe Terminal localisés dans les sables Mio-Pliocènes et dans les calcaires Eocènes ou Sénoniens. Ils donnent (SCET, 1972) des valeurs de transmissivités qui s'échelonnent en deux plages :

- 10^{-2} à $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$: nappes des sables pour le Mio-Pliocène.
- 10^{-2} à $5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$: nappes des calcaires pour l'Eocène et le Sénonien.

D'autres essais réalisés sur les forages de Oued Rhir-Nord, ont donné des valeurs de transmissivité qui s'échelonnent entre $2,5 \cdot 10^{-2}$ à $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Les plus fortes valeurs de transmissivité sont obtenues dans la région de Oued Rhir-Sud où les forages captent préférentiellement, les niveaux sableux.

Pour notre zone d'étude, la transmissivité varie de $3 \cdot 10^{-2}$ et $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, fonction du niveau capté. On constate que lorsque le niveau capté est le Eocène et le Sénonien la transmissivité

est plus élevée, la perméabilité assez élevée permet d'avoir un bon rendement en captage mais le plus important n'est pas la lithologie mais l'épaisseur de la nappe captée reste le paramètre le plus déterminant de la transmissivité dans cette région.

4.3.1.1.2 Coefficient d'emmagasinement (S) :

Le coefficient d'emmagasinement est de l'ordre de $2.5 \cdot 10^{-2}$ au Sud-est du Sahara Algérienne. les coefficients d'emmagasinement ont rarement été déterminés à partir d'essais de débit. Les indications reportées ci-après proviennent d'estimations de l'ERESS suivant une méthodologie différente selon qu'il s'agissait de nappes libres ou de nappes captives. Dans les zones à nappe libre, la nature lithologique du réservoir aquifère a conduit lors des études précédentes, à distinguer deux cas :

Les roches à porosité intergranulaire pour lesquelles une valeur moyenne de 15% a été adoptée.

Les roches fissurées pour lesquelles une valeur légèrement plus faible a été adoptée : 10-15%.

4.3.1.2 Inventaire de quelques points d'eau de la région de Hassi Messaoud :

Pour la réalisation des cartes piézométriques, Sonatrach a mis à notre disposition des données techniques des puits d'eau présents dans notre zone d'étude (figure21), ainsi que des données déjà récoltées, afin de réaliser, analyser et interpréter la carte piézométrique.

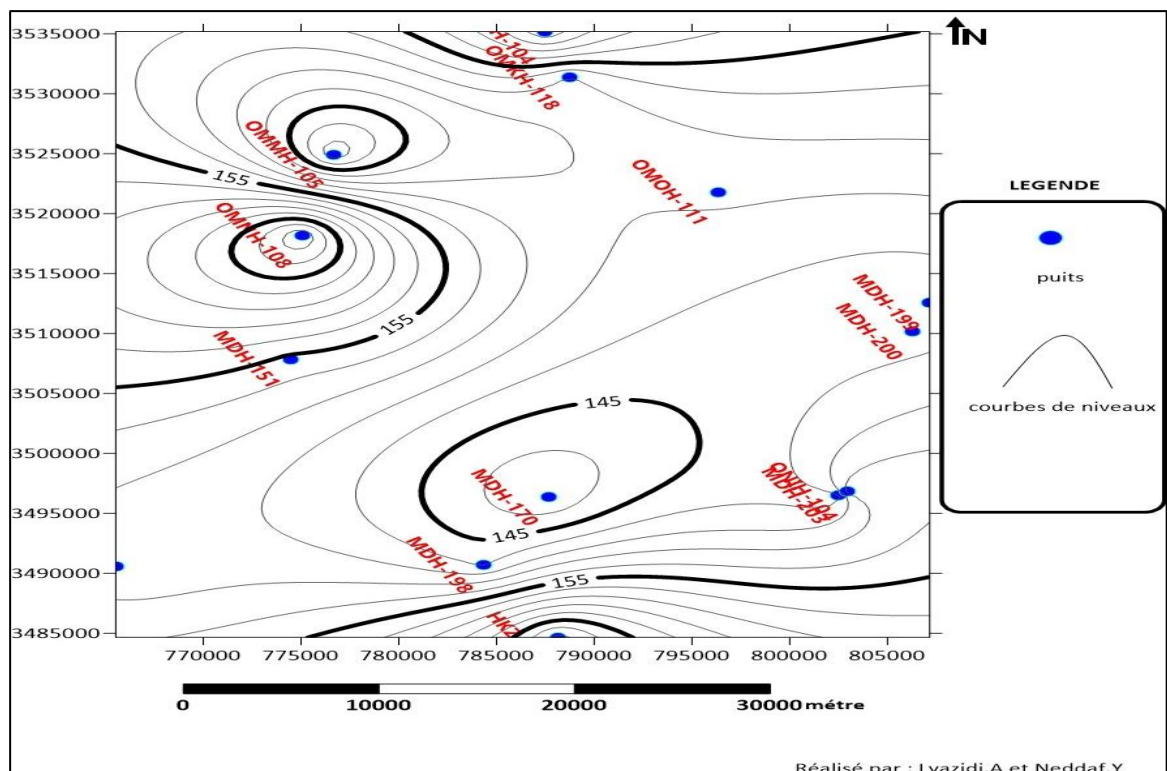


Figure 21 : Inventaire de quelques points d'eau dans notre zone d'étude.

4.3.1.3 Ecoulement et exutoires :

Un écoulement Sud-Ouest vers le Nord -Est converge vers les principaux exutoires a été démontré dans le bassin Saharien Oriental (figure 22) d'après les études (UNESCO, 1972)

- Chott Melghir et chott Marouane en Algérie.
- Evaporation dans les vallées des anciens oueds (Oued Righ).
- Forage d'eau.

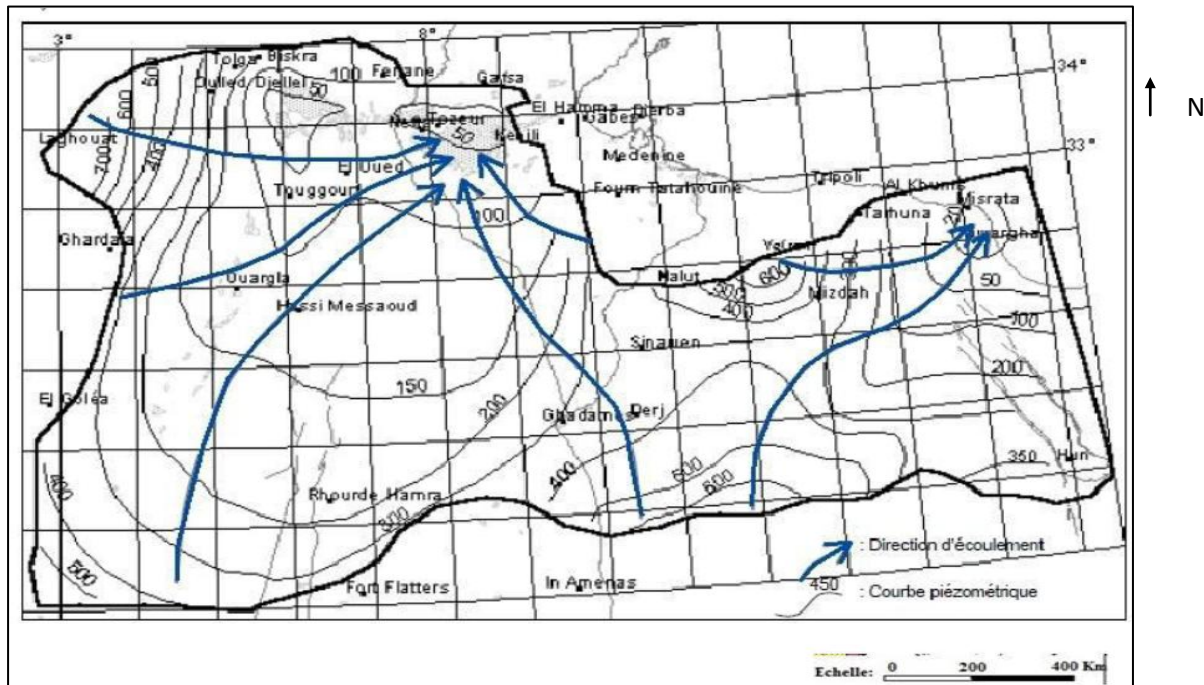


Figure 22 : Carte piézométrique de référence du Complexe Terminal (OSS, 2003).

4.3.1.4 Interprétation de la carte piézométrique :

Les eaux du Complexe Terminal de la région de Hassi Messaoud, sont destinées essentiellement à l'activité pétrolière et une infime quantité est destinée aux différents usages domestiques (les bases de vie et cités résidentielles).

A partir de notre carte piézométrique (figure23) on constate que les niveaux piézométriques varient entre 106m et 160m et fait apparaître trois zones de convergence, qui montrent des courbes iso-pièzes serrées au centre, des zones de convergence et peu serrées vers les extrémités car elles s'écartant sensiblement vers l'Est, due à la surexploitation de la nappe. Une ligne de partage des eaux souterraines Sud-Ouest Nord-Est dans la partie ouest de la zone d'étude passant par les puits d'eau MDH-199 et OMNH-106, Un sens d'écoulement régional des eaux souterraines sud-ouest vers le nord-est déparagée par une ligne de partage. L'écoulement des eaux souterraines s'effectue vers les zones d'appel distinguant des gradients hydrauliques qui varient 3.10^{-2} à 10^{-3} m3 précisant que l'écoulement se fait d'un fort gradient hydraulique vers un faible gradient hydraulique alors le gradient hydraulique est plus faible dans les zones de convergence. Deux axes de drainage des eaux souterraines de direction Sud-ouest et Nord-Ouest et Nord-Sud vers la zone d'appel où l'exploitation de la nappe du Mio-Pliocène est plus importante.

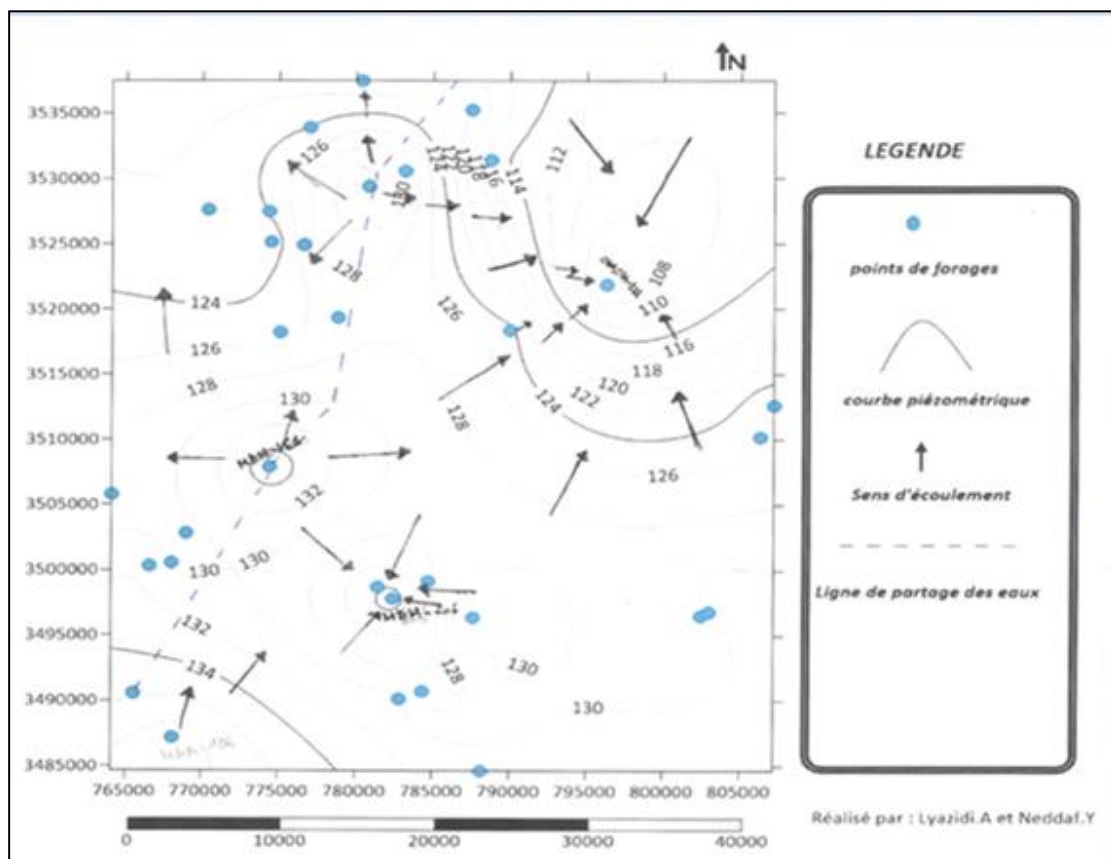


Figure 23 : Carte piézométrique du Mio-Pliocène dans notre région d'étude.

La carte piézométrique du Mio-Pliocène dans notre région d'étude démontre un écoulement Sud-Ouest Nord-Est allant d'un gradient hydraulique faible à fort, influencé par le

positionnement de quelques puits de forages ou l'on a un appel pour cela on a une convergence de lignes piézométriques.

4.3.2 Le Turonien :

Dans le Bassin d'Amguid Messaoud en addition des aquifères du Continental Intercalaire (C.I) et le Complexe Terminal (C.T.) on retrouve le Turonien constituée de calcaire dolomitique d'épaisseur moyenne de 90m, elle est séparée des deux nappes précédentes par une formation du Sénonien lagunaire qui constitue un écran imperméable. Malgré que cette nappe fait partie de complexe terminal mais en Sahara septentrional algérien, elle est souvent traitée à part parce qu'elle ne présente aucun intérêt économique à cause de sa salinité très élevée.

4.3.3 Continental Intercalaire (C.I.) :

D'après Kilian, (1931), le « Continental Intercalaire » désigne un épisode continental localisé entre deux cycles sédimentaires marins à la base, le cycle du Paléozoïque qui achève l'orogénèse Hercynienne, alors qu'au sommet, le cycle du Crétacé supérieur, résultant de la transgression Cénomaniennne. (Busson, 1970 ; Fabre, 1976). Il occupe les formations sableuses et argilo gréseuses du Néocomien, Barrémien, Aptien, et de l'Albien (Cornet, 1964 ; Cornet et Gouscov, 1952). L'aquifère est continu du Nord au Sud, depuis l'Atlas Saharien jusqu'au Tassili du Hoggar, et d'Ouest en Est, depuis la vallée du Guir et de la Saoura jusqu'au désert libyen. Le débit d'alimentation du Continental intercalaire provenant du piémont de l'Atlas saharien est de 7.7 m³ /s, (Ould Baba Sy, 2005 ; Ould Baba Sy, et al, 2006). Ce débit entre dans l'intervalle des estimations recueillies dans les études antérieures qui le situent entre 4 m³ /s (Cornet, 1964) et 8.5 m³ /s (Margat, 1990).

La carte piézométrique (Figure24) de référence du Continental Intercalaire établie, à l'état stationnaire (peu ou pas influencée par les pompages), sur la base des études antérieures (Cornet, 1964 ; UNESCO, 1972, 1972 ; Pallas, 1978), met en évidence les zones d'alimentation suivantes (Ould Baba Sy, 2005) :

Piémont sud atlasique au Nord-Ouest.

Tinrhert au Sud.

Dahar à l'Est.

Jebel Nefusa au Nord-est.

Jebel Hassawna au Sud, où la nappe du Cambro-Ordovicien est drainée vers le Nord par la nappe du Continental Intercalaire.

Les zones d'exutoire sont :

Les foggaras du Touat-Gourara et du Tidikelt ;

L'exutoire tunisien marqué par la faille d'El-Hamma ;

L'exutoire libyen au niveau d'Ain Tawargha.

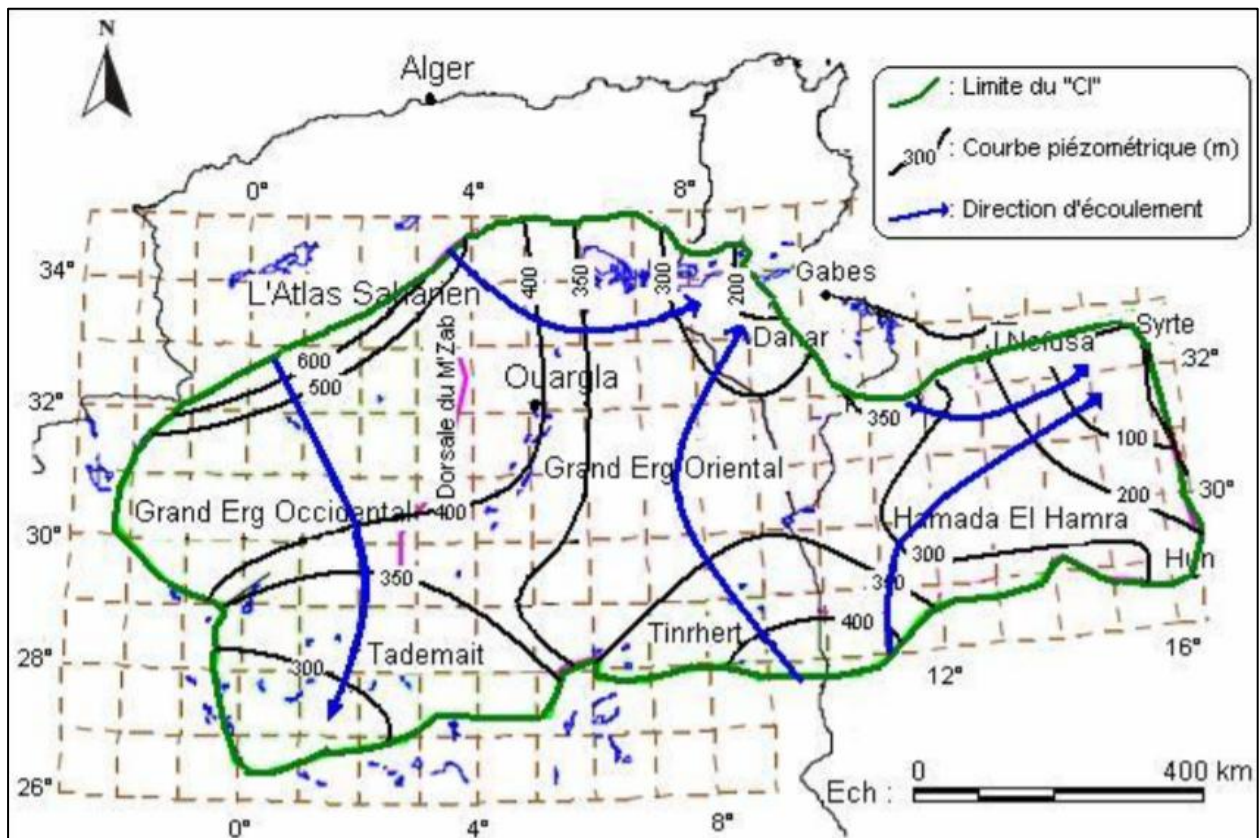


Figure 24 : Carte piézométrique de référence du CI (OSS, 2003).

4.3.4 La nappe aquifère de l'horizon B :

C'est une nappe captive à une profondeur qui peut dépasser 2000 m, non exploitée vu la mauvaise qualité chimique de ses eaux de faciès chimique chloruré calcique (eau fortement salée), utilisée comme repère sismique. [9]

4.4 Conclusion :

L'étude hydrogéologique de la région de Hassi Messaoud démontre l'importance des eaux souterraines dans le développement industriel, principalement l'activité pétrolière. L'hydrogéologie de la région d'étude nous a permis de définir un écoulement général des eaux du Sud-Ouest vers le Nord Est.

La région de Hassi Messaoud capte généralement la nappe du Mio-Pliocène.

La nappe du Mio-Pliocène reste la plus grande nappe exploitée pour des raisons économiques.

La carte piézométrique dressée à l'échelle du champ de Hassi Messaoud met en évidence les

paramètres suivants : Un sens d'écoulement des eaux souterraines allant du Sud-Ouest vers le Nord-Est dans la zone dite zone d'appel dont la charge hydraulique diminue faiblement des zones Nord Est vers Sud Est. Il faut signaler que ces eaux souterraines sont non renouvelables d'où la nécessité de l'exploiter rationnellement et de penser aux générations futures car la gestion de l'eau devient de plus en plus un sujet très sensible.

L'aquifère du Complexe Terminal : regroupe des formations détritiques du Mio-Pliocène et les calcaires de l'Eocène et du Sénonien carbonaté.

L'aquifère du Continental Intercalaire : regroupe les formations continentales représentant par des grès et sables de l'Albien et du Barrémien. Ces aquifères peuvent être parfois artésiens.

Chapitre 5 :
Etude hydrochimique

Chapitre 5 : Etude hydrochimique

5.1 Introduction :

De nos jours, la qualité des eaux présente une inquiétude primordiale et une problématique universelle pour les chercheurs scientifiques et leur communauté ainsi que pour la population mondiale, cette ressource est menacée par les différentes activités anthropiques. Pour cela on introduit la notion d'hydrochimie afin d'essayer de déterminer la source et cibler cette pollution.

L'hydrochimie nous permet d'étudier la relation des eaux souterraines avec l'environnement géologique et de préciser la répartition quantitative des différents éléments chimiques dissous ainsi que d'apprécier la qualité des eaux.

Le problème souvent posé dans la région de Hassi Messaoud est la qualité de l'eau destinée aux différents usages que ce soit pour la consommation, l'agriculture ou l'industrie, rappelons-le les eaux contenues dans les différentes nappes aquifères du Complexe Terminal sont à forte salinité. Alors nous allons établir une synthèse qualitative à partir des résultats des analyses d'échantillons de la nappe du Mio-pliocène déjà réalisés par SONATRACH, ces eaux déjà analysées sont choisies en fonction de l'objectif recherché.

A partir de ces analyses et leurs résultats ainsi que les données disponibles on prendra en considération les éléments suivants :

Cations : (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^+ , Na^+ , K^+) et les Anions : (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-), Potentiel d'Hydrogène (pH), LA Conductivité et le résidu sec des eaux.

Nous allons représenter les différents résultats des analyses chimiques de l'eau obtenus dans des tableaux et sur les différents diagrammes pour différents buts dont ;

- La détermination du faciès chimique des eaux du Complexe Terminal.
- Et ainsi essayer de déterminer l'origine de la forte salinité de ces eaux ainsi que la répartition des différents éléments majeurs.
- Déterminer les différents paramètres chimiques et physiques qui influent sur le changement de la qualité de ces eaux et leur intervention.

5.2 Potabilité des eaux étudiées par rapport aux normes (OMS) :

La sécurité sanitaire et la qualité de l'eau sont indispensables au développement humain et au bien-être. L'accès à une eau sans risque sanitaire est donc l'un des moyens les plus efficaces de promouvoir la santé et de réduire la pauvreté.

En tant qu'autorité internationale chargée de la santé publique et de la qualité de l'eau, l'OMS dirige les efforts mondiaux de prévention de la transmission des maladies d'origine hydrique. À cet effet, elle promeut les réglementations sanitaires auprès des gouvernements et travaille

avec ses partenaires pour inciter les fournisseurs d'eau, les communautés et les ménages à adopter des pratiques efficaces de gestion des risques, pour cela l'OMS a défini des normes à respecter afin de garantir une eau potable (tableau 10) :[15]

Tableau 11 : Différents éléments ainsi que leurs résultats comparés aux normes OMS 2018.

Elément/Substance	Symbole	Intervalle des Résultats	Normes OMS	Unité
Calcium	Ca ²⁺	130 - 729.86	<270	mg/l
Magnésium	Mg ²⁺	47.67 - 232.01	<50	mg/l
Sodium	Na ⁺	201.5 – 1103	<200	mg/l
Potassium	K ⁺	0.31 – 35	<20	mg/l
Chlorures	Cl ⁻	269.47 - 2522.77	<250	mg/l
Bicarbonates	HCO ₃	111 – 1480	<250	mg/l
Sulfates	SO ₄ ²⁻	23.45 – 1660	<400	mg/l
pH	-	7,01 - 8,79	6,5 - 9,5	-
Conductivité	σ	2450 – 6350	<2100	μS/cm

A partir de ce tableau des différents éléments chimiques présentant l'intervalle des résultats des cations et anions des eaux analysées on peut constater que par rapport aux normes OMS définies à la consommation humaine certains éléments sont aux normes dans certains puits seulement, une minorité et la majorité sont hors normes ayant une quantité très élevée par rapport à la limite maximale autorisée.

5.3 Potabilité des eaux étudiées par rapport aux normes algériennes :

L'eau produite et distribuée doit répondre à tout instant aux normes de qualité fixées par la réglementation algérienne, elle-même calée sur les normes internationales. Des analyses systématiques sont réalisées sur les sites de production et de stockage, sur le réseau de distribution et chez le consommateur, ces normes sont définies comme suit dans le tableau 11 :

Tableau 12 : Différents éléments ainsi que leurs résultats comparés aux normes algériennes selon le journal officiel 2014.

Elément/Substance	Symbole	Intervalle des Résultats	Normes algériennes	Unité
Calcium	Ca ²⁺	130 - 729.86	<200	mg/l
Magnésium	Mg ²⁺	47.67 - 232.01	<150	mg/l
Sodium	Na ⁺	201.5 – 1103	<200	mg/l
Potassium	K ⁺	0.31 – 35	<20	mg/l
Chlorures	Cl ⁻	269.47 - 2522.77	<500	mg/l
Bicarbonates	HCO ₃ ⁻	111 – 1480	<250	mg/l
Sulfates	SO ₄ ²⁻	23.45 – 1660	<200	mg/l
pH	-	7,01 - 8,79	6,5 - 8,5	-
Conductivité	Ω	2450 – 6350	<2800	µs/cm

A partir de ce tableau des différents éléments chimiques présentant l'intervalle des résultats des cations et anions des eaux analysées on peut constater que par rapport aux normes algériennes définies à la consommation humaine selon le journal officiel de 2014 une minorité des éléments sont aux normes, la majorité est hors normes ayant une quantité très élevée par rapport à la limite maximale autorisée.

Tableau 13 : Données des puits (pH, Conductivité et Salinité).

N°	Nom	Ph	Conductivité (µs/cm)	Résidu sec (g/l)
1	ENTP-102	7.58	-	0.8
2	ENTP-101	7.91	-	5.1
3	OMOH-104bis	8.5	-	3.2
4	HASSIEL BAHADJ-101	7.01	-	1.7
5	OMPHA-12	7.5	-	1.4
6	OMPHA-2	7.11	-	1.4
7	ENTP-105	8.02	-	1.6
8	ENGCB (Base de vie)	7.9	-	-
9	Hassi Guettar-101	7.6	-	-
10	Oued Messaoud H-110	8.01	-	-
11	ENTP-106(base de vie)	7.99	-	-
12	Dokhara Sud- 101	7.04	-	-
13	OMGH-104	7.86	2320	1.3
14	OMJH-109	7.66	5080	3.2
15	ONMH-103	7.54	3590	2
16	ONIH-105	7.4	6350	3.9
17	OMKH-114	7.01	6320	-

18	OMKH-115	7.59	2450	1.3
19	Base de vie HMD	7.65	2560	1.2
20	OMPH-101	7.98	4580	-
21	OMJH-103	8.79	2808	-
22	SONELGAZ-H.E.H.2	7.6	2800	-

5.4 Etude des paramètres physico-chimiques :

5.4.1 Paramètres physiques :

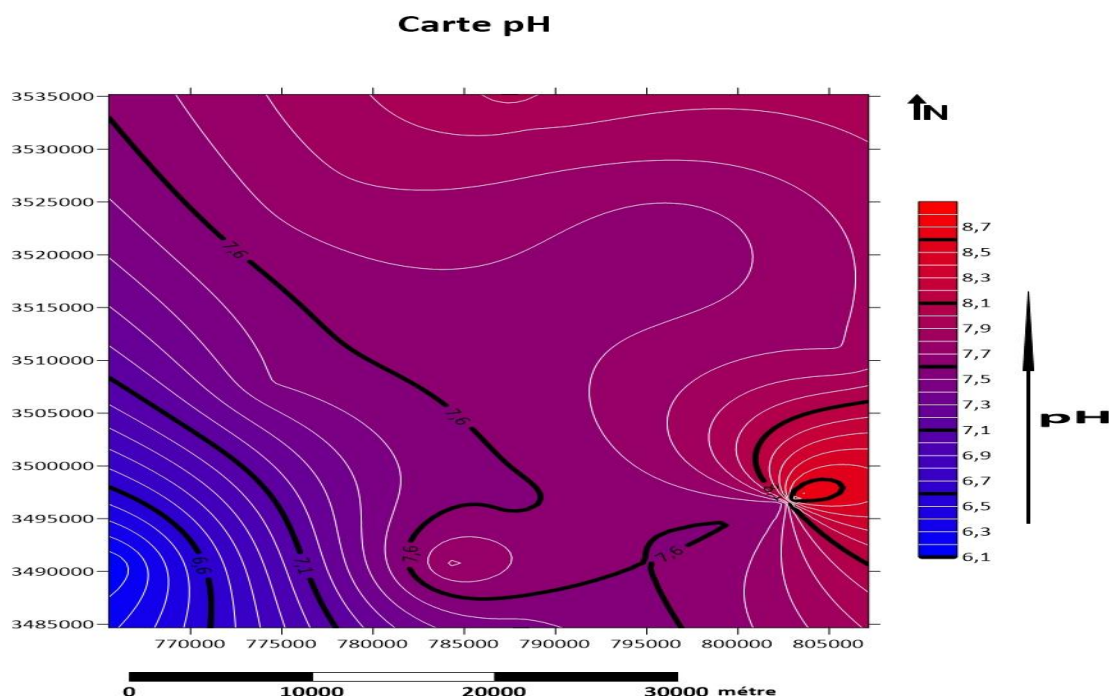
5.4.1.1 Potentiel d'Hydrogène :

Le pH mesure la concentration des ions H^+ dans l'eau. Comme exprimé dans le tableau 12, ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique. La valeur du pH altère la croissance et la reproduction des micro-organismes existants dans une eau, la plupart des bactéries peuvent croître dans une gamme de pH comprise entre 5 et 9, l'optimum est situé entre 6,5 et 8,5, des valeurs de pH inférieures à 5 ou supérieures à 8,5 affectent la croissance et survie des micro-organismes aquatiques selon l'organisation Mondiale de la Santé (OMS).[15].

Tableau 14 : Classification des eaux d'après leur pH d'après (Soeren Sorensen 1893).

pH < 5	Acidité forte => présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles
pH = 7	pH neutre
7 < pH < 8	Neutralité approchée => majorité des eaux de surface
5,5 < pH < 8	Majorité des eaux souterraines
pH = 8	Alcalinité forte, évaporation intense

Les mesures du pH des eaux révèlent que ces eaux varient d'une basicité faible à forte, la plupart des eaux prélevées présentent un caractère incrustant, on constate que les eaux ont un caractère basique : $7,01 < pH < 8,79$ (figure25).



Réalisé par : Lyazidi.A et Neddaf.Y

Figure 25 : Carte du pH de la zone d'étude.

A partir de cette carte on déduit que le pH varie de 7,01 et 8,79 en comparant avec les normes algériennes et normes OMS on retrouve des puits qui sont dans l'intervalle admis et d'autres qui ont un pH non conforme.

5.4.1.2 Conductivité :

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau. La conductivité est également fonction de la température de l'eau : elle est plus importante lorsque la température augmente. Les résultats de mesure doivent donc être présentés en termes de conductivité équivalente à 20°C ou 25°C. Les appareils de mesure utilisés sur le terrain effectuent en général automatiquement cette conversion. Ce paramètre doit impérativement être mesuré sur le terrain. La procédure est simple et permet d'obtenir une information très utile pour caractériser l'eau. Comme la température, des contrastes de conductivité permettent de mettre en évidence des pollutions, des zones de mélanges ou d'infiltration. La conductivité est également l'un des moyens de valider les analyses physico-chimiques de l'eau : la valeur mesurée sur le terrain doit être comparable à celle mesurée au

laboratoire à condition que l'échantillon soit bien protégé. On peut exprimer la minéralisation d'une eau à partir de la conductivité :

- 50 à 400 ($\mu\text{S/cm}$) : minéralisation faible (qualité de l'eau excellente).
- 400 à 700 ($\mu\text{S/cm}$) : minéralisation moyenne (qualité de l'eau bonne).
- 750 à 1 500 ($\mu\text{S/cm}$) : minéralisation élevée (qualité de l'eau médiocre).
- $\geq 1\,500$ ($\mu\text{S/cm}$) : minéralisation forte (qualité de l'eau très mauvaise).

Cette conductivité varie entre 2 320 et 6350 $\mu\text{S/cm}$ au niveau de notre secteur d'étude. On peut dire que les eaux de la nappe du Mio-Pliocène de Hassi Messaoud ont une très forte minéralisation.

5.4.1.3 Température de l'eau :

La température de l'eau est un paramètre de confort pour les usagers. Elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment). De plus, en mettant en évidence des contrastes de température de l'eau sur un milieu, il est possible d'obtenir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau. La température doit être mesurée in situ. Les appareils de mesure de la conductivité ou du pH possèdent généralement un thermomètre intégré. Elle joue un rôle très important dans la solubilité des sels et des gaz, sur la conductivité électrique et dans la détermination du pH de l'eau. Elle permet de différencier les eaux qui circulent en surface de celles qui circulent en profondeur, qui sont influencées par le gradient géothermique (1°C pour 33 m environ). La température mesurée des eaux souterraines de la nappe Mio-Pliocène varie entre 27°C et 32 °C.

5.4.1.4 Le résidu sec :

La **salinité** est la mesure de la quantité de sels dissouts dans un volume donné d'eau c'est est un paramètre très important pour qualifier la potabilité d'une eau, l'excès de certains éléments chimiques dissous fait augmenter la salinité.

D'après les résultats des analyses, les eaux du Mio-Pliocène de Hassi Messaoud sont caractérisées par une forte salinité atteignant des valeurs de 0.8 à 5.1 g/l.

5.4.1.5 Dureté :

La dureté de l'eau dépend principalement de la somme des ions calcium et magnésium. La présence d'autres constituants, comme le fer, le manganèse ou l'aluminium peuvent apporter une contribution à la dureté totale mais leur concentration n'est généralement pas très importante. La dureté de l'eau est liée à sa capacité de faire mousser le savon. Plus une eau est dure, plus il est difficile de faire mousser le savon. La dureté s'exprime normalement en

équivalent de carbonate de calcium (CaCO_3), mais s'exprime encore parfois en degrés hydrotimétriques français ($^\circ\text{H}$ ou $^\circ\text{f}$). Un degré français équivaut à 10 mg/l de CaCO_3 . Il existe aussi des degrés allemands ($1^\circ\text{f} = 0.56^\circ\text{allemand}$) et des degrés anglais ($^\circ\text{f} = 0.70^\circ\text{anglais}$).[16].

Tableau 15 : Qualification de l'eau d'après sa dureté.

DURETE EN MG/L CaCO_3	QUALIFICATION DE L'EAU
0-30	Très douce
31-60	Douce
61-120	Moyennement douce
121-180	Dure
> 180	Très dure

La dureté de l'eau dépend essentiellement du contexte géologique. Les eaux des régions calcaires sont dures, celles des régions granitiques sont douces. La dureté de l'eau peut avoir des conséquences économiques indésirables, en particulier à cause de l'entartrage des canalisations et des réservoirs qu'elle provoque. Les eaux dont la dureté est inférieure à 120 mg/l de CaCO_3 peuvent être affectées à pratiquement n'importe quel usage (des exigences particulières, qui peuvent nécessiter un prétraitement, s'appliquent aux eaux destinées à la production de vapeur dans les chaudières, surtout lorsque la pression de vapeur est élevée). Ce n'est cependant que pour des duretés supérieures à 500 mg/l de CaCO_3 qu'elle pose de sérieux problèmes aux utilisateurs domestiques ou industriels. (Tableau 14).

5.4.2 Paramètres chimiques :

La nature des eaux dépend des roches traversées lors de leurs circulations dans les différentes formations aquifères, et du temps de séjour qui leurs permet de s'enrichir en sels minéraux.

5.4.2.1 Etude des cations :

Les deux tableaux 15 et 16 ci-dessous expriment les données des cations en milliéquivalent par litre et en milligramme des eaux analysées à travers les différents puits réalisés dans notre zone d'étude.

Tableau 16 : Cations des différents prélèvements de puits en milliéquivalents par litre.

Puits	Calcium	Magnésium	Sodium	Potassium	Σ cations
	(meq/l)	(meq/l)	(meq/l)	(meq/l)	(meq/l)
ENTP-102	11.4	2.9	10.8	0.4	25.5
ENTP-101	13.4	2.8	4.7	0.0	20.8
OMOH-104bis	10.1	2.4	8.6	0.6	21.7
Hassi El Bahdj-101	36.5	9.7	44.9	1.1	92.2
OMPHA-12	8.4	3.3	11.0	0.8	23.5
OMPHA-2	6.5	2.6	9.5	0.7	19.2
ENTP-105	15.7	4.0	11.5	0.9	32.1
ENGCB (Base de vie)	8.7	2.5	10.1	0.3	21.7
Hassi Guettar-101	7.7	2.0	11.2	0.3	21.2
Oued Messaoud H – 110	9.9	2.0	8.4	0.3	20.6
ENTP-106 (base de vie)	12.9	3.4	8.8	0.3	25.3
Dokhara Sud – 101	16.9	5.2	18.7	0.7	41.5
OMGH-104	10.3	2.1	17.4	0.6	30.4
OMJH-109	24.8	6.2	17.4	0.6	49.0
ONMH-103	13.3	3.9	23.0	0.7	40.8
ONIH-105	23.8	6.3	42.3	1.2	73.6
OMKH-114	22.7	7.0	41.4	1.2	72.3
OMKH-115	10.0	2.2	15.1	0.6	28.0
Base de vie HMD	8.0	2.9	22.3	0.9	34.1
OMPH-101	13.8	3.6	31.1	0.8	49.4
OMJH-103	14.2	3.5	48.0	1.1	66.8
SONELGAZ-H.E.H.2	12.0	5.5	23.7	1.2	42.3

Tableau 17 : Cations des différents prélèvements de puits en milligramme par litre

Puits	Calcium	Magnésium	Sodium	Potassium	Σ cations
	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
ENTP-102	227.25	70.65	249.5	14.5	547.4
ENTP-101	267.33	66.27	108	0.31	441.91
OMOH-104bis	202	58	198	22	480
Hassi El Bahadj-101	729.86	232.01	1032.5	43	2037,37
OMPHA-12	168	78	254	30	530
OMPHA-2	130	62	218	26	436
ENTP-105	313.23	95.82	265.04	350	674.09
ENGCB (Base de vie)	174.75	59.83	233	11.8	479,38
Hassi Guettar-101	153.9	47.9	257.5	11.7	471

Oued Messaoud H – 110	197.75	47.67	193.5	13.5	452.42
ENTP-106 (base de vie)	257.31	80.62	201.5	13	552.43
Dokhara Sud – 101	338.28	124.15	430	27	919,43
OMGH-104	205.53	50.59	400	23	679 .12
OMJH-109	495.39	148.84	400	23	1067.23
ONMH-103	265.49	93.19	528	25.6	912.28
ONIH-105	476.95	151.76	972	45	1645.62
OMKH-114	453.71	168.29	952.5	45	1619.5
OMKH-115	200.75	53.89	347	23.6	625.24
Base de vie HMD	160.32	69.36	513	34	1076.68
OMPH-101	276.95	86.82	716	31	1110.77
OMJH-103	283	85	1103	44	1515
SONELGAZ-H.E.H.2	239	132	544	47	962

5.4.2.1.1 Calcium (Ca²⁺) :

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



Le calcium peut aussi provenir du lessivage des terrains anhydritiques (CaSO₄) du Sénonien carbonaté, les valeurs mesurés varient entre 729.86 mg/l au puits Hassi EL Bahadj-101 et 130 mg/l au niveau du puits OMPHA-2.

5.4.2.1.2 Magnésium (Mg²⁺) :

Il peut être apporté par la dissolution des formations du Sénonien carbonaté, soit par la dissolution des dolomies dans le terrain anhydritique (MgSO₄), ou par les formations dolomitiques libérant le magnésium par l'attaque des eaux en présence de gaz carbonique.

D'après les résultats d'analyses, la valeur maximale est de 232,01 mg/l au puits Hassi El Bahadj-101 et la valeur minimale a été enregistré au puits Oued Messaoud H – 110 la concentration du magnésium est de 47,67 mg/l.

5.4.2.1.3 Potassium et Sodium (K⁺, Na⁺) :

Ils sont souvent associés chimiquement, le sodium est toujours présent dans l'eau. Il provient du lessivage des formations géologiques riche en NaCl et de la dissolution des formations argileuses et marneuses. Les analyses révèlent que la valeur maximale est de 1103 mg/l au puits OMJH-103 tandis que l minimale est de 108 mg/l au puits ENTP-101 pour le sodium.

Pour le potassium, il est beaucoup moins abondant que le sodium sa valeur minimale est relevée du puits ENTP-101 de 0.31 mg/l et la maximale est de 47 mg/l au puits SONELGAZ-H.E.H.2.

5.4.2.2 Etude des anions :

Les deux tableaux 17 et 18 si dessous expriment les données des cations en milliéquivalent par litre et en milligramme par litres des eaux analysées à travers les différents puits réalisés dans notre zone d'étude

Tableau 18 : Anions des différents prélèvements de puits en milliéquivalents par litre.

Puits	Chlorures	Sulfates	Bicarbonates	Σ anions
	(meq/l)	(meq/l)	(meq/l)	
ENTP-102	10.9	3.1	4.2	18.3
ENTP-101	7.8	3.2	11.5	22.4
OMOH-104bis	9.4	2.5	15.6	27.5
Hassi El Bahadj-101	72.1	2.7	27.2	102.0
OMPHA-12	18.6	2.7	14.3	35.7
OMPHA-2	14.2	2.9	0.4	17.5
ENTP-105	17.0	3.1	16.2	36.3
ENGCB (Base de vie)	7.7	2.8	3.6	14.1
Hassi Guettar-101	11.8	2.3	9.7	23.7
OUED MESSAOUD H - 110	7.6	3.0	7.6	18.2
ENTP-106 (base de vie)	8.5	2.4	14.1	25.0
Dokhara Sud – 101	29.3	2.4	12.9	44.7
OMGH-104	14.5	2.3	10.8	27.6
OMJH-109	48.1	2.3	15.4	65.8
ONMH-103	27.3	2.2	13.1	42.6
ONIH-105	51.4	2.7	24.3	78.4
OMKH-114	53.0	1.7	24.2	78.8
OMKH-115	15.2	2.3	10.5	28.0
Base de vie HMD	20.7	2.4	10.8	33.9
OMPH-101	31.9	2.4	15.6	49.9
OMJH-103	58.5	0.6	11.0	70.0
SONELGAZ-H.E.H.2	33.8	2.6	11.2	47.6

Tableau 19 : Anions des différents prélèvements de puits en milligramme par litre.

Puits	Chlorures	Sulfates	Bicarbonates	Σ anions
	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
ENTP-102	382.94	258.56	149.51	791.01
ENTP-101	272.13	700	151.65	1123.78
OMOH-104bis	329.08	951.83	121	1401.91
Hassi El Bahadj-101	2522.77	1660	130.01	4312.78

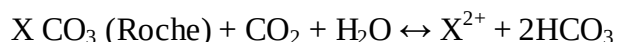
OMPHA-12	652	875	131.3	1658.3
OMPHA-2	496	23.45	140	659.45
ENTP-105	594.79	988	149.76	1732.54
ENGCB (Base de vie)	269.47	220	134.2	623.67
Hassi Guettar-101	411.3	589.6	111	1111.9
Oued Messaoud H – 110	266.64	465.2	143.43	875.27
ENTP-106 (base de vie)	298.52	858	115	1271.52
Dokhara Sud – 101	1025.77	789.02	115.78	1930.57
OMGH-104	506.33	660	110.78	1277.11
OMJH-109	1684.21	940	108.4	2732.61
ONMH-103	956.63	800	103.52	1860.15
ONIH-105	1800.51	1480	128.16	3408.67
OMKH-114	1854.4	1475	80.46	3409.86
OMKH-115	531.64	640	111.33	1282.97
Base de vie HMD	724.39	660	116.51	1500.9
OMPH-101	1116.9	950	115.23	2182.13
OMJH-103	2046	668	27	2738

5.4.2.2.1 Chlorures (Cl) :

Les chlorures sont des sels résultants de la combinaison de l'acide chlorhydrique avec une base, ils proviennent généralement de la dissolution et lessivage des terrains salifères mais également des rejets industriels. On les rencontre en quantité dans les eaux souterraines. La valeur maximale est de l'ordre de 2522.77 mg/l dépassant aussi les normes admissibles relevées dans le puits Hassi El Bahadj-101, la minimale est relevée dans le puits OUED MESSAOUD H – 110 avec une valeur de 266.64 mg/l.

5.4.2.2.2 Bicarbonates (HCO_3^-) :

Appelés également hydrogénocarbonates sont des ions polyatomiques avec comme équation :



Ils proviennent de la dissolution des roches carbonatées dans l'eau, en fonction de la teneur en CO_2 de la température, du pH et de la nature lithologique des terrains traversés. Les analyses des eaux ont montré que la valeur maximale est atteinte dans le puits ENTP-101 avec une teneur de 151.65 mg/l et la minimale à 27 mg/l au puits OMJH-103.

5.4.3 Balance ionique :

On peut comparer quantitativement les cations et les anions, majeurs et mineurs, présents dans l'eau à l'aide de la balance ionique. Alors une balance ionique représente la différence

entre les anions et les cations, autrement dit, l'équilibre anions-cations qui égal naturellement zéro c-à-d que les anions et les cations sont égaux. Cette balance ionique, effectuée en utilisant une unité commune, le milliéquivalent par litre (méq/l), permet de vérifier si l'analyse a été bien faite. Dans le cas d'une trop grande différence entre cations et anions, il faut revoir les calculs et/ou les mesures, car une espèce a été peut-être mal estimée ou oubliée.

$$e = \frac{\Sigma \text{ des cations} - \Sigma \text{ des anions}}{\Sigma \text{ des cations} + \Sigma \text{ des anions}}$$

Le milliéquivalent est une unité représentant la quantité d'éléments dissoute dans un litre d'eau et égale au millième de l'équivalent de cet élément, 1 méq/L correspondant à une solution normale diluée mille fois.

La balance ionique on l'a calculé ainsi :

Tableau 20 : balance ionique des différentes eaux des puits de la zone d'étude.

Puits	e	Puits	e
	(meq/l)	ONMH-103	0.0
ENTP-102	0.2	ONIH-105	0.0
ENTP-101	0.0	OMKH-114	0.0
OMOH-104bis	-0.1	OMKH-115	0.0
Hassi El Bahadj-101	-0.1	Base de vie HMD	0.0
OMPHA-12	-0.2	OMPH-101	0.0
OMPHA-2	0.0	OMJH-103	0.0
ENTP-105	-0.1	SONELGAZ-H.E.H.2	-0.1
ENGCB (Base de vie)	0.2	OMGH-104	0.0
Hassi Guettar-101	-0.1	OMJH-109	-0.1

On constate que les résultats du tableau19 sont proches de 0 donc on peut confirmer que les analyses ont été bien réalisées.

5.5 Classification des eaux étudiées :

La classification des eaux diffère d'une référence à une autre, quelques-unes les classifient suivant l'origine ; quelques auteurs parlent même des eaux de pluies, certains autres s'intéressent à l'utilisation des eaux on retrouve plusieurs méthodes et critères afin de classer les eaux naturelles. Pour notre étude, on va s'intéresser à ces 3 classifications, elles sont basées sur la composition chimique des eaux :

- Classification de Stabler.
- La classification de Shoeller-Berkaloff.
- La représentation de diagramme de Piper.

5.5.1 Classification de STABLER :

Dans cette classification, les concentrations sont réduites en quantité en réaction (r %), calculés par rapport à la concentration totale. A partir d'une formule caractéristique établi par Stabler basée sur la prédominance des ions.

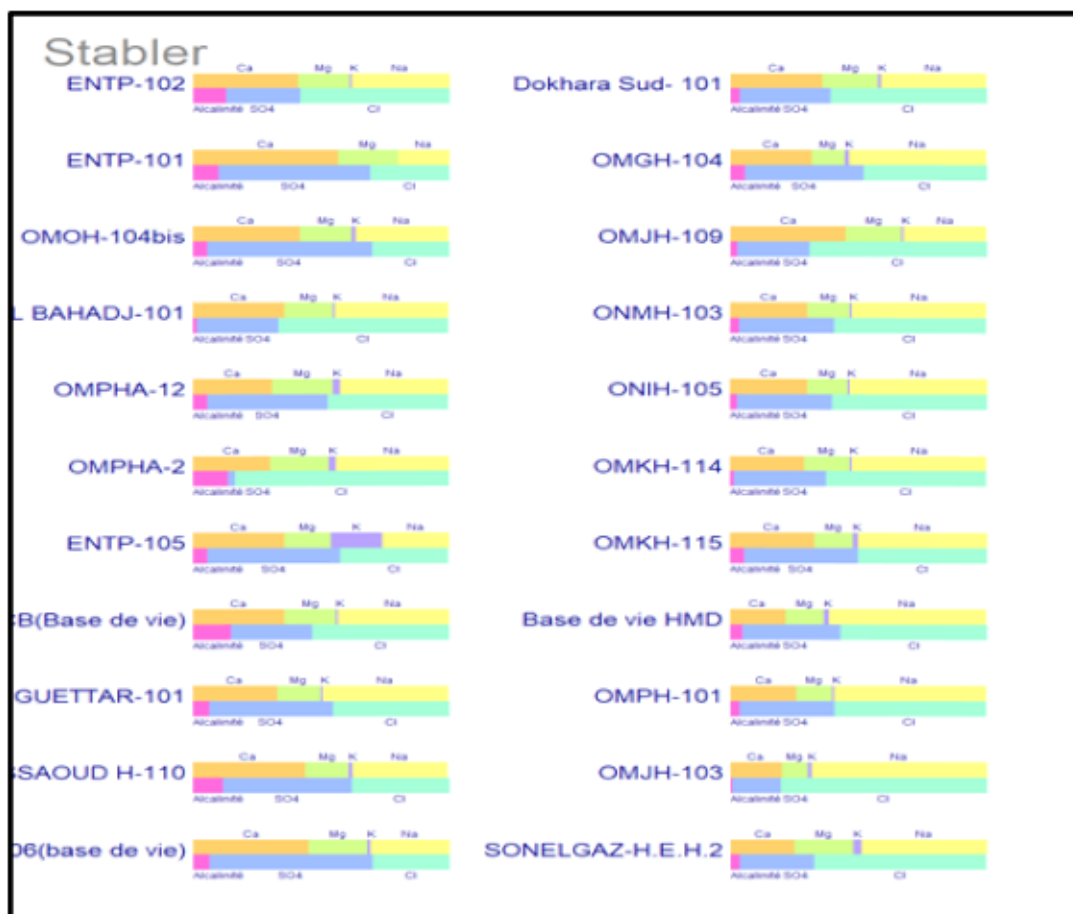


Figure 26 : Classification des eaux d'après Stabler.

A partir du diagramme de Stabler (figure26) ci-dessous obtenu on remarque que :

Tableau 21 : Représentation des cations et anions et déduction des faciès des eaux.

Puits d'eau	Anions	Cations	Types de faciès
ENTP-102	$r\%Cl > r\%SO_4 > r\%HCO_3$	$r\%Ca^{+} > r\%Na > r\%Mg$	Chloruré Calcique
ENTP-101	$r\%SO_4 > r\%Cl > r\%HCO_3$	$r\%Ca^{+} > r\%Mg > r\%Na$	Sulfatée Calcique
OMOH-104bis	$r\%SO_4 > r\%Cl > r\%HCO_3$	$r\%Ca^{+} > r\%Na > r\%Mg$	Sulfatée Calcique
Hassi El Bahadj-101	$r\%SO_4 > r\%Cl > r\%HCO_3$	$r\%Na^{+} > r\%Ca > r\%Mg$	Sulfatée Sodique
OMPHA-12	$r\%Cl > r\%SO_4 > r\%HCO_3$	$r\%Na^{+} > r\%Ca > r\%Mg$	Chloruré Sodique
OMPHA-2	$r\%Cl > r\%HCO_3 > r\%SO_4$	$r\%Na^{+}$	Chloruré

		>r%Ca>r%Mg	Sodique
ENTP-105	r%SO4>r%CL>r%HCO3	r%Ca>r%Na>r%Mg	Sulfatée Calcique
ENGCB (Base de vie)	r%Cl>r%SO4>r%HCO3	r%Na+>r%Ca>r%Mg	Chlorurée Sodique
Hassi Guettar-101	r%SO4>r%Cl>r%HCO3	r%Na+>r%Ca>r%Mg	Sulfatée Sodique
Oued Messaoud H – 110	r%SO4>r%Cl>r%HCO3	r%Ca+>r%Na>r%Mg	Sulfatée Sodique
ENTP-106 (base de vie)	r%SO4>r%Cl>r%HCO3	r%Ca+>r%Na>r%Mg	Sulfatée Sodique
Dokhara Sud - 101	r%Cl>r%SO4>r%HCO3	r%Na+>r%Ca>r%Mg	Chloruré Sodique
OMGH-104	r%Cl>r%SO4>r%HCO3	r%Na+>r%Ca>r%Mg	Chloruré Sodique
OMJH-109	r%Cl>r%SO4>r%HCO3	r%Ca+>r%Na>r%Mg	Chloruré Calcique
ONMH-103	r%Cl>r%SO4>r%HCO3	r%Na+>r%Ca>r%Mg	Chloruré Sodique
ONIH-105	r%Cl>r%SO4>r%HCO3	r%Na+>r%Ca>r%Mg	Chloruré Sodique
OMKH-114	r%Cl>r%SO4>r%HCO3	r%Na+>r%Ca>r%Mg	Chloruré Sodique
OMKH-115	r%Cl>r%SO4>r%HCO3	r%Na+>r%Ca>r%Mg	Chloruré Sodique
Base de vie HMD	r%Cl>r%SO4>r%HCO3	r%Na+>r%Ca>r%Mg	Chloruré Sodique
OMPH-101	r%Cl>r%SO4>r%HCO3	r%Na+>r%Ca>r%Mg	Chloruré Sodique
OMJH-103	r%Cl>r%SO4>r%HCO3	r%Na+>r%Ca>r%Mg	Chloruré Sodique
SONELGAZ-H.E.H.2	r%Cl>r%SO4>r%HCO3	r%Na+>r%Ca>r%Mg	Chloruré Sodique

On constate que les eaux chlorurées sodiques sont prédominantes dans les nappes du Complexe Terminal et secondairement sulfatées calciques (Tableau20).

5.5.2 Classification de Shoeller-Berkaloff :

Le diagramme semi-logarithmique Shoeller-Berkaloff est utilisé pour la représentation graphique des analyses chimiques des eaux, la classification tient compte de l'importance des principaux anions et cations et déterminer le type de faciès des eaux, ce type de diagramme permet (figure27 et 28) :

1- De représenter plusieurs eaux sur un même diagramme, ce qui facilite la comparaison entre les différents points d'eau.

De déterminer le pH d'équilibre et la teneur en gaz carbonique en mg/l :

L'eau incrustante $pHe > pH$ mesuré.

L'eau neutre $pHe = pH$ mesuré.

L'eau neutre $pHe < pH$ mesuré

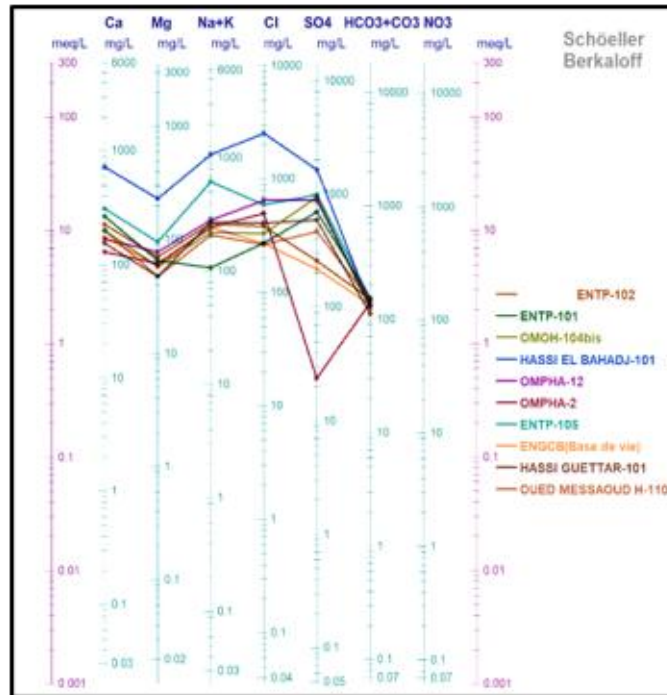


Figure 27 : Classification des eaux d'après Shoeller-Berkaloff des puits.

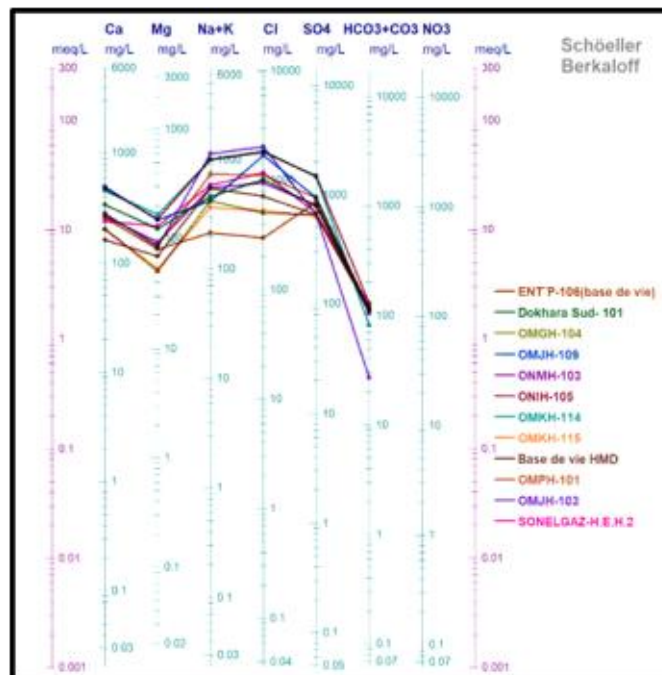


Figure 28 : Classification des eaux d'après Shoeller-Berkaloff des puits bis.

D'après H. Scholler (1937) la potabilité relative d'une eau est basée sur la norme du résidu sec conçue pour les pays de la zone aride ou semi-aride. Elle comporte six classes définies comme suit :

- 0 à 500 mg/l, eau bonne sans saveur particulière ;
- 500 à 1 000 mg/l, eau passable à saveur faible perceptibilité
- 1 000 à 2 000 mg/l, eau médiocre à saveur peu désagréable, cas de la base de vie ENTP-106.
- 2 000 à 4 000 mg/l, eau mauvaise à saveur peu désagréable cas de Dokhara Sud – 101.
- 4 000 à 8 000 mg/l, eau mauvaise à saveur désagréable, cas de Hassi El Bahadj-101.
- Supérieur à 8 000 mg/l, eau non potable.

Ainsi et selon les normes, les valeurs de la minéralisation dans notre région d'étude sont élevées ce qui induit à une mauvaise qualité d'eau, proche de la non-potabilité pour certaines eaux et non potables pour d'autres avec les chlorures et sodium comme éléments chimiques les plus dominants ainsi d'après Shoeller-Berkaloff on va dire que le faciès chimique dominant est le Chloruré sodique.

5.5.3 Classification de Piper :

Le diagramme de Piper est composé de deux triangles et un losange. Le principe de ce diagramme est de représenter dans chaque triangle équilatéral les quantités en réaction en % de chaque anion et cation

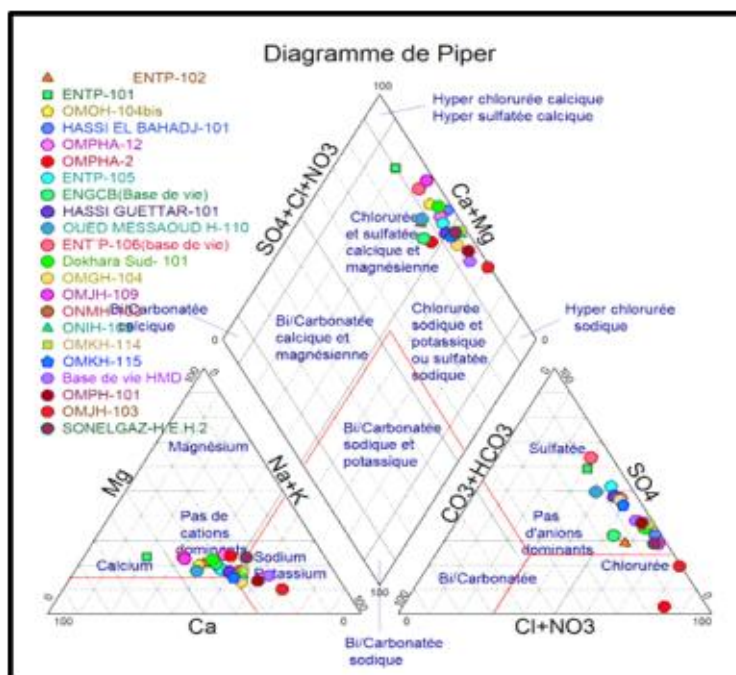


Figure 29 : Représentation des faciès chimiques selon le diagramme de Piper.

D'après le diagramme de Piper (figure 29) on remarque que les eaux du Complexe Terminal sont majoritairement chlorurées sodiques, secondairement sulfatées calciques avec quelques exceptions ou elles sont : sulfatées sodiques.

5.6 Conclusion

L'eau contient toujours une certaine quantité de sels et de matières dissoutes qui interviennent dans la qualité et donc la potabilité.

En effet, l'excès de certains éléments chimiques dans une eau représente un danger pour la santé humaine, Ainsi l'organisation mondiale de la santé (OMS) a établi des normes de potabilité des eaux en fonction de la teneur des éléments chimiques et bactériologiques.

La comparaison des valeurs des données chimiques des eaux analysées avec celles des normes de l'OMS et algériennes montre que l'eau de la nappe du Mio-Pliocène du Complexe Terminal est de mauvaise qualité et non potable. Le faciès chimique dominant est le chloruré sodiques avec une quantité élevée des chlorures et le sodium, secondairement on peut dire que ces eaux sont sulfatées calciques avec un pH dont la basicité est faible à l'Ouest à forte vers le côté Est avec une forte salinité atteignant des valeurs de 5.1 g/l d'où la forte conductivité donc d'une forte minéralisation caractérisant cette eau comme étant très minéralisée non potable.

Chapitre 6 :
Sources de pollution et impact sur
l'environnement

Chapitre 6 : Sources de pollution et impact sur l'environnement

6.1. Introduction

Les menaces qui pèsent sur notre planète à travers la désertification, l'épuisement progressif des ressources biologiques et minérales, la destruction de la couche d'ozone, la production de gaz à effet de serre, les pluies acides, la pollution des eaux, les déchets hautement toxiques, sont autant d'exemple de dégradation de l'environnement dont la liste est loin d'être exhaustive.

Il est très facile de prendre ces déchets et les jetés ou bon nous semble, mais cela risque de polluer la nature et les ressources naturelles qui nous entourent, on appelle pollution la surcharge qui en découle et qui finit par déséquilibrer l'écosystème.

Dans le domaine de l'activité pétrolière, les sources de pollution des eaux souterraines à Hassi Messaoud sont multiples, représentées par les rejets et les huiles déversées par les centres industriels et les fluides de forage issus lors de réalisation des forages. Cette dernière constitue une menace majeure pour les eaux du complexe terminale par un double risque de contamination, soit par infiltration des boues rejetées dans les bourbiers, ou par celle injectée lors de réalisation des forages. A cet effet, il serait nécessaire de donner un aperçu sur ces fluides (Boue de forage et hydrocarbures).

6.2 Les éléments qui peuvent affecter les eaux de Hassi Messaoud :

6.2.1 Utilisation des Fluides de forages :

Les fluides de forages, appelés dans le jargon du métier « boue » sont utilisés principalement pour remonter les débris de roches broyées par l'outil de forage, communément appelés « déblais ». En effet, grâce à un circuit fermé, le fluide de forage est pompé depuis la surface à l'intérieur des drills pipes (tiges) pour ressortir au fond à travers les orifices de l'outil et remonter à travers l'espace annulaire pour le réinjecter de nouveau par pompage dans le drill pipe.

Son rôle est :

Arrachage et remontée des Cuttings et transport en surface.

Nettoyage du trou foré

Refroidissement et lubrification

Maintien des déblais en suspension

Au niveau du champ pétrolier de Hassi Messaoud les boues utilisées pour les phases de forages sont :

1- Pour le forage de la première phase : 17"1/2 x 13"3/8 à 500 m de profondeur d'âge

Sénonien Anhydritique, la boue utilisée est à boue émulsionnée inverse de rapport

huile/eau 50/50 %, la phase eau est salée et saturée en NaCl. La boue contient le gasoil et l'eau saturée, de la baryte et des produits spéciaux pour assurer la stabilité de l'émulsion.

2- Pour le forage de la dernière phase (réservoir) : 8"1/2 x 7 à 3 300m de profondeur d'âge Cambrien R Isométriques (gréseux) la boue utilisée est à l'huile (100% d'huile) soit émulsionnée inverse est utilisée en fonction de la pression du gisement. Lorsque la pression est faible, on utilise une boue légère par conséquent à fort pourcentage d'huile et sans alourdissant.

Il faut noter que ses boues sont récupérées en fin de phase et recyclées dans la centrale à boue de Hassi Messaoud.

Comme on peut le constater les boues de forage contiennent des éléments nuisibles pour les nappes du Complexe Terminal, les précautions que les ingénieurs doivent prendre et les règles à suivre seront très strictes si on veut préserver cette ressource hydrique de la pollution.

6.2.2 Exploitation des Hydrocarbures :

Les sources de contamination par les hydrocarbures sont multiples et notamment les produits pétroliers et les rejets industriels en graisses et huiles.

La vitesse de décomposition de ces produits par les méthodes biochimiques est très lente, ce qui explique leur présence dans les eaux pendant une longue durée. Ils se retrouvent dans les canaux d'évacuation où leur infiltration dans le sol présente ainsi un risque permanent de pollution.

On peut résumer les effets nocifs des hydrocarbures :

- Formation d'une couche flottante à la surface des eaux empêchant l'échange entre le milieu aqueux et l'atmosphère entraînant ainsi l'arrêt de l'opération d'autoépuration.
- Interférences de ces produits dans les stations d'épuration en réduisant l'effet des agents de coagulation. Leurs adsorptions sur les filtres de production d'eau potable peuvent provoquer ainsi une source de pollution permanente de ces eaux.
- Ces produits confèrent à l'eau de contamination un goût et une odeur désagréable même à faible concentration.
- La limite de toxicité est de 0.5 µg/l en essence et de 1 mg/l en graisse.

Notons enfin que la limite maximale autorisée dans les eaux de consommation est de 0,2 µg/l.

6.2.3 Rejet de forage :

A la sortie du puits, le fluide de forage remonte, chargé de déblais. Un ensemble d'appareils mécaniques en assure l'épuration avant d'être de nouveau réinjecté.

Il s'agit essentiellement de :

- Tamis vibrant.
- Hydrocyclones.
- Centrifugeuse.

Les déblais séparés du fluide de forage sont rejetés dans une grande excavation, réalisée à cet effet, appelée : « bournier » qui a une capacité de l'ordre 2 000 m³ ; d'une dimension de 196 m² ; et d'une profondeur de 3 m (**Photo.01**). Il se trouve que ces rejets gardent en rétention des quantités importantes du fluide porteur par un phénomène appelé dans le jargon du métier : « enrobage ou encapsulation ».

Lorsque c'est une OBM (eau à base d'huile) qui est utilisée, on mesure le pourcentage massique d'huile sur les déblais ou OOC % (Oil On Cuttings). L'OOC % dépend de la nature de la roche, l'OOC % est dû à la présence de deux types d'interaction :

- Liquide-solide, par adsorption.
- Liquide-liquide, par interaction de type Van Der wals.

Par expérience et distillation de plusieurs types de déblais au cours du forage ils admettent qu'ils perdent 1 m³ de fluide par enrobage pour chaque mètre cube de déblais. Ce chiffre est multiplié par 2 à 3 lorsque le traitement n'est pas efficace.

Un bournier de forage pétrolier à Hassi Messaoud, peut contenir jusqu'à 600 m³ de gasoil perdu par encapsulation. Ces quantités de gasoil se retrouvent par la suite « lessivées » par l'action des eaux de rejets qui peuvent atteindre jusqu'à 1 200 m³.

Les hydrocarbures (HC) non solubles dans l'eau se retrouvent en flottaison sur la surface de l'étendue d'eau, alors que les (HC) solubles dans l'eau se verront entraînés en profondeur par infiltration du fluide vecteur, en l'occurrence l'eau de rejet.

Pour le forage d'un puits horizontal à Hassi Messaoud, on estime à 650 m³ le volume de gasoil déversé dans le bournier et par enrobage des déblais de forage. Le gasoil (hydrocarbure) constitue ainsi les principales sources de contaminant organiques dans le domaine dû à l'activité de forages pétroliers (figure 30, 31, 32).



Figure 30 : Bourbier sur le site OMKZ-15. (Hassi Messaoud Juin 2009).



Figure 31 : Bourbier recevant les résidus huileux. (OMPZ-462 Hassi Messaoud Mai 2010)

Bourbier, Liner.



Figure 32 : Bourbier recevant les résidus aqueux.

6.2.4 Les risques de contamination :

Les risques de contaminer le sol et le sous-sol par les actions suivantes (figure33, 34) :

Activité de forage :

Parmi les couches géologiques traversées par les fluides de forage, on rencontre les différents aquifères qui risquent une contamination sérieuse par infiltration de ces fluides, cette contamination peut se faire :

A partir de la surface par les rejets et liquides de forage (boue de forage) déversés, dans la plupart des cas, directement sur le sol sans aucune protection, ainsi que les rejets solides et liquides domestiques, déversent dans des fosses non conformes et non protégées.

En cours de forage, la contamination se traduit par le contact de deux fluides de caractéristiques rhéologiques différentes (mélange d'un fluide de formation traversée et la boue de forage en question).

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.



Figure 33 : Pollution par fuite de fluide de forage. (SSRHMD).



Figure 34 : Pollution des sables de la région de Hassi-Messaoud dû à cause des bourbiers (Miswako, 2011).

6.2.5 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 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 produits utilisés pour l'entretien des puits et des installations de production.
(FPFP, 2012).

6.3 Evaluation de la vulnérabilité :

Les Points de prélèvements à partir de la nappe du Mio-Pliocène (Tableau 21). Il existe plusieurs méthodes pour l'évaluation de vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution, celle qui est la plus utilisée et que nous adopterons, est la méthode DRASTIC. C'est une méthode standardisée, d'évaluation de vulnérabilité des eaux souterraines indépendamment du type de polluant et qui est basée sur la majeure partie des facteurs hydrogéologiques qui affectent l'écoulement des eaux souterraines, elle a été mise au point par l'Agence de protection environnementale (EPA) en 1987. L'acronyme DRASTIC représente les sept paramètres utilisés dans le modèle, qui sont : profondeur de la nappe, recharge nette, lithologie de l'aquifère, sol de couverture, zone non saturée (vadoze), topographie, et la perméabilité de l'aquifère. Elle s'applique à des unités hydrogéologiques de superficie supérieure à 40 ha. Elle repose sur trois hypothèses fondamentales **1.** Les sources de contamination se situent à la surface du sol (donc les sources souterraines ne sont pas considérées) ; **2.** La nature du contaminant n'intervient pas dans l'application de la méthode, mais il est mobile dans le sol en phase dissoute ; **3.** Les contaminants ne peuvent atteindre la nappe que par infiltration verticale (l'écoulement souterrain n'est pas considéré). L'indice DRASTIC est obtenu en multipliant la cote de chaque paramètre par son poids relatif et en faisant la somme de ces produits : [19]

$$ID = DR. DW + RR. RW + AR. AW + SR. SW + Tr. Tw + IR. IW + CR. CW.$$

Tableau 22 : Points de prélèvements à partir de la nappe du Mio-pliocène.

Puits	X (°)	Y (°)	Z (m)
MDH-148	795753,9	120716,8	157,45
OMOH-111	813 737	131 439	149
OMJH-108	805176,5	141709	139,47
OMPH-106	828 086	135572	135

W (Weight) : Poids du paramètre ; R (Rating) : cote du paramètre (Varie de 1 à 10). L'indice DRASTIC (ID) ainsi calculé représente une évaluation du niveau de risque de contamination d'une formation aquifère, ce risque augmentant avec la valeur de l'indice. L'indice DRASTIC minimum est de 23 tandis que le maximum est de 226. Ces extrêmes théoriques sont toutefois très rares et les indices calculés sont plutôt dans la gamme 50 à 200. À chacun de ces paramètres correspond un poids (valeur prédéterminée) compris entre 1 et 5, qui traduisent l'importance du paramètre dans les processus de transport et l'atténuation des contaminants (tableau22).

Tableau 23 : Les valeurs des poids des paramètres de la méthode DRASTIC.

Symbole	Paramètre	Poids
D	Profondeur de la nappe (Depth)	5
R	Recharge nte (Net Recharge)	4
A	Lithologie de l'aquifère (Aquifère Media)	3
S	Sol (Soil Media)	2
T	Topographie (topography)	1
I	Zone non saturée (Imapct of vados zone)	5
C	Permeability of the aquifer	3

Selon les résultats de l'indice DRASTIC obtenue on peut déterminer le degré de la vulnérabilité d'une nappe et le tableau23 nous montre l'intervalle de l'indice DRASTIC et le degré qui lui convient.

Résultats et discussion :

Les données des paramètres de l'indice DRASTIC pour chaque puits sont obtenues à partir du centre de recherche et de développement et la SH DF, ils sont représentés dans le tableau 24 suivant :

Tableau 24 : Paramètres DRASTIC pour chaque puits.

Paramètres/Puits	Dr	Rr	Ar	Sr	Tr	Ir	Cr
MDH-148	2	1	8	9	9	8	6
OMOH-111	1	1	8	9	9	8	6
OMJH-108	1	1	8	9	9	8	6
OMPH-106	3	1	8	9	9	8	6

Tableau 25 : Notes de chaque paramètre DRASTIC.

Paramètres/Puits	D(m)	R(mm)	A	S	T(%)	I	C (m/s)
MDH-148	28,5	8,5	Sable	Sableux	2 à 6	Sable	2. 10 ⁻⁴
OMOH-111	38	9,5	Sable	Sableux	3 à 6	Sable	2. 10 ⁻⁵
OMJH-108	33	10,5	Sable	Sableux	4 à 6	Sable	2. 10 ⁻⁶
OMPH- 106	22,5	11,5	Sable	Sableux	5 à 6	Sable	2. 10 ⁻⁷

Le (tableau 25) qui suit représente la note associée de chaque paramètre DRASTIC pour chacun des puits étudiés.

Tableau 1 : Indice DRASTIC pour chaque puits.

puits	ID	Degré de vulnérabilité
MDH-148	113	Vulnérabilité faible
OMOH-111	118	Vulnérabilité moyenne
OMJH-108	118	Vulnérabilité moyenne
OMPH-106	128	Vulnérabilité moyenne

L'indice DRASTIC chaque puits étudié, et les résultats sont représentés dans le tableau 26.

Nous avons trouvé pour chaque puits une valeur d'indice DRASTIC qui signifie un certain degré de vulnérabilité à la pollution. Le puits MDH-148 situé au Sud de Hassi Messaoud est d'une vulnérabilité faible tandis que les puits OMOH- 111, OMJH-108, OMPH-106 situés au Nord de la région sont d'une vulnérabilité moyenne.

6.4 Méthodes et techniques des traitements des rejets

La gestion et les méthodes de traitement des déchets de pétrole est l'un des sujets les plus importants introduits à la protection de l'environnement et les entreprises pétrolières ont pour objectif de savoir comment traiter ces déchets de forage pétroliers ainsi que leur gestion. Pour résoudre un problème de décontamination d'un sol, il n'y a pas de solution exclusive. Le traitement à mettre en œuvre est souvent une combinaison de plusieurs techniques.

Le choix est fonction principalement de la nature du sol, des polluants présents, des objectifs de dépollution à atteindre, des délais imposés, de l'espace disponible, du contexte économique et réglementaire et de la destination future du site. Il existe plusieurs techniques classiques pour les cas de pollution les plus récurrentes.

En 1997 Sonatrach, a commencé à se préoccuper de l'environnement, les rejets des eaux industriels et domestiques en créant deux unités de traitement des eaux chargées en huile ou en matière organique, ces unités ont été mises en service en 2001 pour traiter 6043m³/jour d'eau huileuse, le principe est de séparer l'huile de l'eau en appliquant différentes méthodes de traitement :

6.4.1 Bourbiers :

Vu le risque d'infiltration vers les nappes phréatiques qui sont très vulnérables à toutes contaminations, il est strictement indispensable d'imperméabiliser les bourbiers, avant le démarrage du forage pétrolier et de les compartimenter en bassin pour séparer les types de rejets huileux et à base d'eau. L'imperméabilisation se fait par :

- Enduit spécial (terre fine + argile).
- Asphalte plus un produit bitumineux.
- Bentonite qui présente aussi une action de détoxification.
- Revêtir les parois du bournier par de larges pièces en plastique.

Les bourbiers risquent de polluer le sol et le sous-sol par les actions suivantes présentés dans la (figure 35) qui suit :

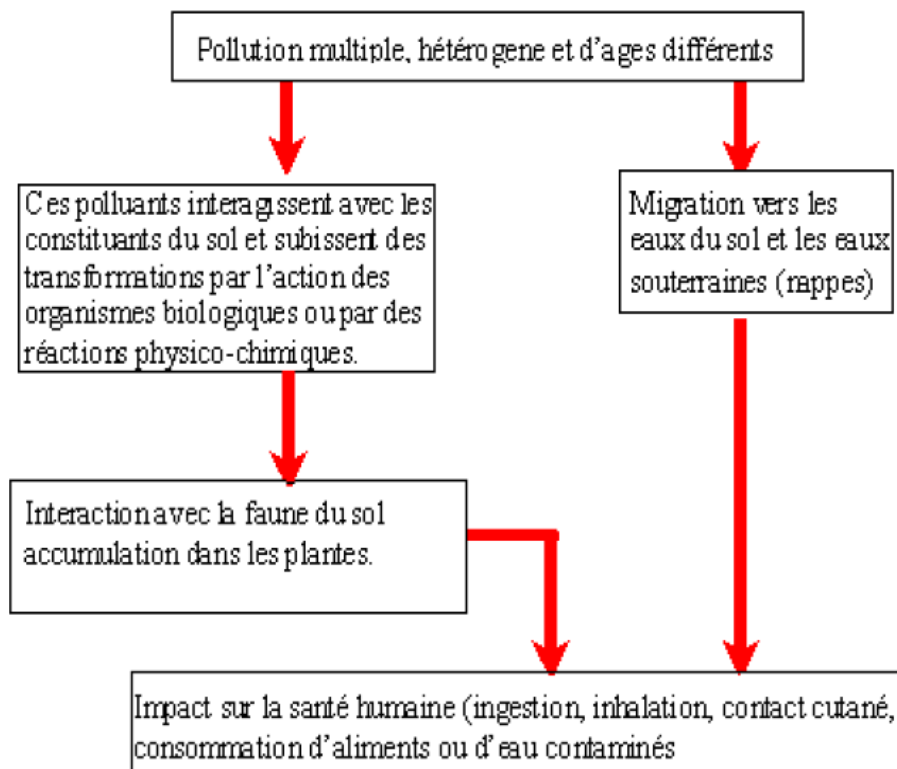


Figure 35 : Transfert des polluants du sol dans l'environnement. (Hadj Abbas, 2011).

6.4.2 Traitement On Line :

Le traitement des solides appelé communément traitement mécanique est le processus basique effectué pour l'épuration des boues de forages à base d'huile qui seront par la suite réutilisées (la boue à base d'eau usée n'étant pas réutilisée, et directement rejetée dans le bournier). Selon l'emplacement, le système de boue et la géométrie du puits, on aura besoin d'un ou plusieurs tamis vibrants, dessableur, Mud Cleaner et centrifugeuses. L'épuration mécanique consiste en une batterie d'équipement avec des principes de fonctionnements plus au moins similaires :

En premier lieu, les tamis vibrants qui constituent le premier maillon de la chaîne de traitement. Les cuttings passent au travers de toiles de façon à lui soustraire les particules les plus grosses qui seront acheminées vers le bournier. L'efficacité des tamis vibrants dépend de la fréquence et de l'amplitude de vibration, des grosseurs des mailles ainsi que du débit des cuttings arrivant sur les toiles.

La boue récupérée passe après dans le dessableur qui est un hydrocyclone. Le fluide pompé sous pression, est envoyé tangentiellement sur une partie cylindrique fixe où sa vitesse V se transforme en vitesse angulaire (W). Cette partie cylindrique est raccordée à une partie conique, l'effluent lourd se déversant au bas du cône, le léger vers le haut.

Du dessableur la boue au Mud Cleaner, il s'agit d'un appareil combinant l'hydro cyclonage et le tamisage.

La dernière étape d'épuration mécanique est le passage de la boue à travers la centrifugeuse, elle se dirigera ensuite vers les bassins de circulation pour être réutilisée.

6.4.3 Traitement OFF-LINE :

Les rejets (boue à base d'eau, déblais contaminés, boue à base d'huile et l'eau) se retrouvent dans le bournier. A la fin du forage le traitement de ces rejets est effectué selon deux méthodes.[18]

6.4.4 Solidification et stabilisation :

Les Cuttings séparés de la boue par les tamis vibrants sont tellement imbibés de boue qu'ils sont peu convenables pour la prochaine étape de réutilisation ou de stockage et sont difficiles à manipuler ou transporter. Les constituants des déblais ou de la boue qui les enrobe (par exemple : pétrole, métaux) peuvent se lixivier à partir des rejets les rendant peu convenables pour des approches d'application ou d'enterrement dans le sol. Divers matériaux peuvent être

ajoutés aux déblais pour les solidifier et pour les stabiliser. Les processus de la solidification et de la stabilisation peuvent être définis comme suit :

6.4.4.1 Solidification :

La solidification est une opération qui transforme les déblais en un solide, elle se rapporte aux techniques d'encapsulation des déblais de forage par un liant hydraulique pour les transformer en une forme consolidée ayant des bonnes propriétés mécaniques. Les liants hydrauliques utilisés à Hassi Messaoud sont : Les Silicate de sodium ($\text{SiO}_2 \text{ Na}_2\text{O}$) et le Silicate de potassium ($\text{SiO}_2 \text{ K}_2\text{O}$) et le ciment (figure36).

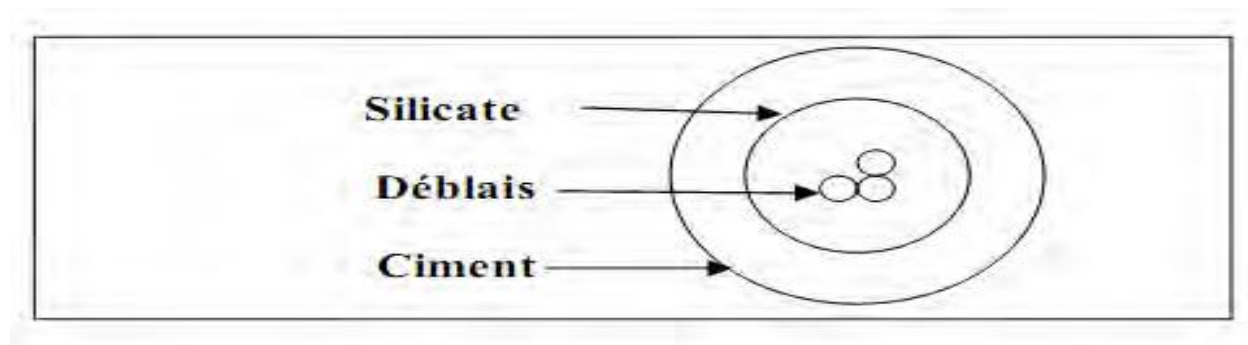


Figure 36 : Phénomène d'encapsulation.

6.4.4.2 Stabilisation :

La stabilisation des déblais est une opération qui consiste à diminuer leur toxicité, le plus souvent sous une forme chimique moins facilement mobilisable par l'environnement, cette étape ne change pas forcément les propriétés physiques du cuttings. Les produits les plus fréquemment employés pour assurer la solidification et la stabilisation des rejets solides sont : le ciment, les cendres volcaniques (pouzzolane), la chaux et l'oxyde de calcium. [18]

6.5 Conclusion :

Le présent chapitre met en évidence les différents dangers qui règnent sur le Complexe Terminal. Les polluants évoqués peuvent causer des dégâts irréversibles pour la nappe mais cela étant qu'il existe plusieurs méthodes pour éviter cela on adopte des mesures de sécurité drastique et un contrôle continu sur les rejets on pourra préserver cette ressource d'eau pour que la population locale et même national puisse en bénéficier. la méthode la plus utilisé par Sonatrach reste la méthode On Line, celle-ci est efficace mais surtout économique et rapide.

Conclusion générale :

Le Complexe Terminal qui représente une énorme réserve d'eau souterraine dont la formation sableuse du Mio-Pliocène est la plus convoitée avec son épaisseur qui varie de 200 à 250 m a une importante source d'emmagasinement de la ressource hydrique, malgré l'hyper aridité de la région et des précipitations bien rares avec une moyenne de 42,77 mm durant (2010-2019), la température moyenne lors des dix dernières années est de 23,93 °C.

Une zone d'appoint vers le Nord-Est est mise en évidence, expliquée par l'importance des forages hydrauliques et leur surexploitation. Les eaux de la nappe du Mio-Pliocène sont généralement basiques et sont fortement minéralisées et présentent un seul faciès chimique dominant chloruré sodique, ce faciès chimique couvre la majorité du champ de Hassi Messaoud. Cette eau bien évidemment est non conforme à la consommation, bien loin des limites fixées par l'OMS ou encore le ministère des ressources en eau.

Cette réserve hydrique malgré son importance, reste très vulnérable pas seulement par sa lente recharge mais également par l'exploitation due à l'activité pétrolière, où l'on utilise divers produits chimiques dans les puits pétroliers qui sont rejetés et d'autres perdus et risquent une contamination de la nappe d'où l'importance du traitement des rejets et l'intervention de l'état dans le cadre législatif des traitements des rejets industriels.

Son application reste très compliquée et on recommande à l'entreprise Sonatrach, d'être rigoureuse dans la protection de l'environnement en utilisant les méthodes les plus efficaces, accompagnées des dernières technologiques pour éviter toute intrusion polluante. Et ne pas influencer son chimisme déjà très affecté et ce malgré un contexte économique bien couteux ce qui va permettre aux générations actuelles et les générations futures d'avoir accès à cette ressource très importante surtout qu'elle est en train de se faire rare et suscite une vive attention qui évitera sans doute tout conflit géopolitique

Référence Bibliographiques

- [1]. Nezli IE, Achour S, Hamdi-Aïssa B. Approche hydrogéochimique à l'étude de la fluoration des eaux de la nappe du complexe terminal de la basse vallée de l'Oued M'ya (Ouargla). *Courr Savoir*. 2009.
- [2]. Guendouz A. Contribution à l'étude géochimique et isotopique des nappes profondes du Sahara nord-est septentrional, Algérie [PhD Thesis]. Paris 11; 1985.
- [3]. Gabtni H, Alyahyaoui S, Jallouli C, Hasni W, Mickus KL. Gravity and seismic reflection imaging of a deep aquifer in an arid region: case history from the Jeffara basin, southeastern Tunisia. *J Afr Earth Sci*. 2012;66:85–97.
- [4]. Mhamdi A, Dhahri F, Gouasmia M, Moumni L, Mohamed S. Groundwater salinization survey of the Upper Cretaceous-Miocene Complexe terminal aquifer in the Sabaa Biar area of southwestern Tunisia. *J Afr Earth Sci*. 2015;112:83–92.
- [5]. Ammar FH, Chkir N, Zouari K, Hamelin B, Deschamps P, Aigoun A. Hydro-geochemical processes in the Complexe Terminal aquifer of southern Tunisia: An integrated investigation based on geochemical and multivariate statistical methods. *J Afr Earth Sci*. 2014;100:81–95.
- [6]. Guendouz A, Moulla AS, Edmunds WM, Zouari K, Shand P, Mamou A. Hydrogeochemical and isotopic evolution of water in the Complexe Terminal aquifer in the Algerian Sahara. *Hydrogeol J*. 2003;11(4):483–495.
- [7]. Nadhira S, Omar S. Hydrogeochemical characterization of the Complexe Terminal aquifer system in hyper-arid zones: the case of wadi Mya Basin, Algeria. *Arab J Geosci*. 2019;12(24):793.
- [8]. Jenny J, Ferrari J-M, Wernli R, Yadi A. Le Complexe chaotique de Beni Saf est d'âge miocene; doute sur la phase synmetamorphe "ante-senonienne" en Oranie (Algérie). *Bull Société Géologique Fr*. 1986;2(2):279–284.
- [9]. Coquel R, Abdesselam-Rouighi F. Révision palynostratigraphique du dévonien terminal-carbonifère inférieur dans le Grand Erg occidental (bassin de Béchar) Sahara Algérien. *Rev Micropaléontologie*. 2000;43(3):353–364.
- [10]. Guellala R, Inoubli MH, Moumni L, Zouaghi T. Seismic reflection contribution to the study of the Jerid Complexe Terminal aquifer (Tunisia). *New Achiev Geosci*. 2012;1–20. Swezey CS. The lifespan of the complexe terminal aquifer, Algerian-Tunisian Sahara. *J Afr Earth Sci*. 1999;28(3):751–756.
- [11]. Ammar FH, Deschamps P, Chkir N, Zouari K, Agoune A, Hamelin B. Uranium isotopes as tracers of groundwater evolution in the Complexe Terminal aquifer of southern Tunisia. *Quat Int*. 2020;

- [12]. Chkir N, Zouari K. Uranium isotopic disequilibrium for groundwater classification: first results on complexe terminal and continental intercalaire aquifers in Southern Tunisia. *Environ Geol.* 2007;53(3):677–685.
- [13]. BEDDINE A. Qualité des eaux des aquifères de Hassi Messaoud [PhD Thesis].
- [14]. Saighi O. Evolution de la salinité des eaux des nappes du complexe terminal de la région de M'ya-Ouargla [PhD Thesis]. 2006.
- [15]. BOUCHAHM N, Achour S. Qualité des Eaux Souterraines des Aquifères de la Région Orientale du Sahara Septentrional Algérien. *J Algér Régions Arid N.* 2005;19:27.
- [16]. DRISSI Z. Etude de la qualité chimique des eaux de l'aquifère du Complexe Terminal dans la région de Guerrara [PhD Thesis].
- [17]. Vulnérabilité et risque de pollution de la nappe du complexe terminal << Mio-Pliocène>> de la région de Hassi MESSaoud (Algérie) REZIG Amina, KALEM Hanane, TIDJANI Karima, SAGGAI Sofiane.
- [18]. Qualité des eaux des aquifères de Hassi Messaoud 2016 BEDDINE Alla, université Kasi Merbah Ouargla
- [19]. Vulnérabilité de la nappe du Mio-Pliocène à la pollution des rejets de l'activité pétrolière dans la partie nord du champ de Hassi Messaoud., ni versité Constantine Mentouri.2010.

Annexe :**Tableau de température(C°) relevé à la station de l'aéroport de Hassi Messaoud.**

année	janvier	février	mars	Avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
2010	13	17,6	20,8	21,9	26,2	34,1	36,3	35,9	30,2	23,2	16,9	13,5
2011	12	12,8	17,3	23,7	27,2	31,5	36,5	38,8	33,1	22,3	17,3	12
2012	10,2	10	17,1	23,3	28,3	35,5	36,9	35,4	30,5	26,3	19,3	11,2
2013	11,6	12,6	20,4	24,3	28,5	32,4	35,8	33,4	30,7	27	16,4	11,9
2014	12	15,1	17,2	23,7	28,4	32,2	37,3	36,8	33,5	25,1	18,8	11,7
2015	10,2	12,2	17,1	24,5	27,5	32,5	34,8	35,8	31,3	25,2	17,7	12,7
2016	13,2	15,5	27,1	28,9	21,3	34	35,4	34,2	31,3	27	17,6	13,6
2017	9,6	15,7	19,1	22,7	30,8	33,5	35,5	35,7	29,9	22,7	15,7	11,5
2018	12,7	12,8	19,6	22,2	28,3	32,8	39,4	34,1	32,1	23,5	16,7	12
2019	10	12,1	17,1	23,5	26,9	35,1	37	36,8	32,5	24,7	15,9	13,7
2020	10,8	15,2	18,9	24,2	30,3	34	36	35,8	30,6	23,3	17,8	12,9
Moyenne	11,39	13,78	19,24	23,9	27,61	33,42	36,44	35,7	31,43	24,57	17,28	12,43

Tableau des pluies (Mm) relevé à la station de l'aéroport de Hassi Messaoud.

Année	janvier	février	mars	Avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
2010	10,83	0,25	0	0	0	2,04	0,76	0	0	1,53	0	0
2011	0	11,94	6,91	2,04	0	0	0	0	0	8,64	0	0
2012	4,32	0	4,06	5,33	6,01	0	0	0	4,06	0,76	0	0
2013	3,05	0	0	30,99	0	0	0	0	0	0	2,28	13,76
2014	1,53	0	0	0	58,93	0,5	0	0	0	0,25	5,59	5,33
2015	0	27,69	5,08	0	0	0	0,25	0	0,75	0,25	0	0
2016	0	0	0	0	4,06	0,25	0	0	32,25	4,31	0	6,6
2017	0,25	0	3,05	4,07	0,76	0	0	0	3,81	34,04	15,49	20,32
2018	0	8,83	0	0	7,1	0	0	4,06	0,25	2,29	0,25	0
2019	0,51	3,05	8,13	11,94	47,75	0	0,51	0,25	2,03	0	0,51	0
2020	0	0	0	3,56	0,76	0	0	0	13,97	0	0	0
moyenne	1,86	4,71	2,47	5,27	11,4	0,25	0,13	0,39	5,19	4,73	2,19	4,18

Tableau des données utilisé.

Sigle	Longitude	Latitude	Xutm	Yutm	Zsol	Nappe Captée	Pf(m)	Ns (m/sol)	Débit (m3/h)	Np (m)
	06°05'30,00"E	32°10'40,00"N			139	Mio-Pliocène	167	16	12	123
MDH-203	06°11'12"E	31°33'58"N	802487	3496501	146	MIO- PLIOCENE	120	18	35	128
NHGAW- 101	5°47'46,01344"E	31°31'18,68165"N	765526	3490561	150	MIO- PLIOCENE	120	14	30	136
OMNH- 108	5°54'14"E	31°46'07"N	775046	3518211	171	MIO- PLIOCENE	132	46	30	125
MDH-201	5°58'42,29"E	31°30'49,81"N	782869	3490128	143	MIO- PLIOCENE	110	12	25	131
MDH-198	5°59'37,95"E	31°31'07,44"N	784322	3490710	147	MIO- PLIOCENE	120	21	20	126
HBJ-101	6°03'22"E	32°17'28"N	787818	3576535	134	Mio-pliocène	151	21.4	30	113
OMF-102	5°57'55"E	31°56'28"N	780344	3537502	146	Mio-Pliocène	120	25	60	121
MDH-159	5°57'58"E	31°35'30"N	781490	3498745	141	Mio-Pliocène	116	9.3	35	132
OMMH- 105	5°55'22"E	31°49'44"N	776656	3524946	139	Mio-Pliocène	99	12	25	127
ONEH- 101	5°55'22"E	31°49'44"N	776656	3524946	139	Mio-Pliocène	120	18	25	121
OMJH- 108	5°55'22,39726"E	31°49'44,71584"N	776656	3524946	139	Mio-Pliocène	120	12	40	127
OMFH- 101	5°55'45"E	31°54'34"N	777020	3533900	156	Mio-Pliocène	130	32	30	124
MDH-179	05°47'04''E	31°39'32''N	764053	3505757	139	Mio-pliocène	120	11	30	128
MDH-174	05°48'35"E	31°36'36"N	766571	3500374	174	Mio-pliocène	131	42	20	132
MDH-153	05°49'29,50064"E	31°36'41,68079"N	768000	3500580	173	Mio-Pliocène	134	44	30	129
HGA-106	05°49'19,13140"E	31°29'27,10631"N	768072	3487187	165	Mio-Pliocène	127	26	40	139
MDH-176	05°50'08"E	31°37'54"N	768974	3502856	152	Mio-pliocène	118	22	30	130
OMIH- 102	05°51'26,45159"E	31°51'18,56392"N	770374	3527672	172	Mio-Pliocène	129	50	25	122

OMKH-118	06°03'08,77"E	31°53'01,95"N	788752	3531360	151	Mio-Pliocène	130	36	25	115
MDH-151	05°53'41'',48086E	31°40'32,88434"N	774454	3507876	154	Mio-Pliocène	120	19	35	135
OMJH-116	05°53'57,26395"E	31°51'08,33826"N	774348	3527462	171	MIO-PLIOCENE	140	48.2	40	123
OMJH-107	05°54'01,61407"E	31°49'52,40736"N	774525	3525126	134	Mio-Pliocène	120	12	45	122
MDH-172	05°54'21"E	31°38'18"N			172	Mio-pliocène	120	42	20	130
HGA-101	05°56'04,00"E	31°27'34,00"N			146	Mio -Pliocène	150	7	100	139
OMNH-106	05°56'38,11095"E	31°46'42,05584"N	778800	3519373	167	Mio - pliocène	130	44.5	30	123
OMJH-104	05°58'04"E	31°52'05"N	780788	3529382	153	Mio-pliocène	131	20	30	133
MDH-143	05°58'04"E	31°52'05"N	780788	3529382	153	Mio-pliocène	141	40	35	113
MDH-173	05°58'18"E	31°35'34"N			142	Mio-pliocène	124	15	20	127
MDH – 206	05°58'32,52"E	31°35'01,37"N	782400	3497869	139	MIO-PLIOCENE	110	16	25	123
OMKH-104	05°59'34"E	31°52'40"N	783129	3530552	171	Mio-pliocène	120	41	35	130
OMGH-101	05°59'55"E	31°55'57"N	789988	3518387	165	Mio-pliocène	132	40	30	125
MDH-177	05°59'59"E	31°35'41"N	784665	3499174	141	Mio-pliocène	120	13,4	20	128
OMOH-111	06°00'35"E	31°44'02"N	796319	3521812	150	Mio-pliocène	124	45	30	105
MDH-170	06°01'49"61472E	31°34'07"68363N	787644	3496359	141	Mio-pliocène	110	9	30	132
HKZ-102	06°01'56,0012"E	31°27'47,9995"N	788136	3484667	170	Mio-Pliocène	143	39	45	131
OMGH-104	06°02'25"E	31°55'07"N	787500	3535185	165	Mio-pliocène	130	45	30	120
MDH-200	6°13'51,26648"E	31°41'18,56567"N	806287	3510179	146	MIO-PLIOCENE	122	21	35	125
MDH-199	6°14'26,9796"E	31°42'35,9157"N	807157	3512590	145	MIO-PLIOCENE	119	19	35	126
ONIH-	6°15'23"E	31°51'09"N	802971	3496850	153	Mio-Pliocène	130	21	30	

104										132
H-18	06°02'42"E	31°44'03"N	220017	3514501	169	Eocène Carbonaté	340	48	60	121
GPL-102	06°03'10,4"E	31°40'18,2"N	789455	3507831	164	EOCENE CARBONATE	350	48	50	116
H-17	06°03'23"E	31°43'58"N	226361	3518401	170	Eocène Carbonaté	350	29	50	141
ERWW-1	06°03'36,90"E	31°54'1,51"N	221962	3532900	167	EOCENE CARBONNATE	360	49	45	118
GPL-101	06°03'40,48"E	31°40'15,86"N	790250	3507783	142	EOCENE Carb	351	47	40	95
DLCC	6°03'12,14"E	31°42'16,53"N	789452	3511443	136	EOCENE CARBONATE	345	49	40	87
SH/AGIP- 101	6°03'24"E	31°43'26"N	221092	3513331	175	Complexe Terminal	355	44	45	131
ENF-2	6°03'30"E	31°41'57"N	221176	3510587	159	Complexe Terminal	120		18	159
ENF-3	6°03'31"E	31°42'02"N	221206	3510739	161	Complexe Terminal	120		18	161
ENTP- 105	6°03'34"E	31°42'45"N			166	Complexe Terminal	350	44	40	122
ENF-8	6°08'39"E	31°38'49"N	229163	3504578	140	Complexe Terminal	120		18	140

Pf : profondeur du puits.

Ns : niveau statique.

Np : niveau piézométrique