

UNIVERSITE KASDI MERBAH- OUARGLA
FACULTE DES HYDROCARBURES, DES ENERGIES
RENOUVELABLES ET DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE
L'UNIVERS

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE
L'UNIVERS.



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En Vue De L'obtention Du Diplôme de Master en Géologie

Option : Hydrogéologie

THEME

***Qualité des eaux des aquifères
de Hassi Messaoud.***

Soutenu publiquement par :

BEDDINE ALLA

Devant le jury :

Président :	M. HOUARI Idir Manad	M.A.A	Univ. Ouargla
Promoteur :	M. BOUSELSAL Boualem	M. C. B	Univ. Ouargla
Examineur :	M. FENAZI Bilal	M.A.A	Univ. Ouargla

Année Universitaire : 2015/2016

Dédicace

A ma mère pour son esprit de sacrifice et son encouragement, affection et conseils, que dieu m'aide à te rendre fière de moi ;

A mon père pour son esprit de conseil et encouragement.

Soyez assuré de mon dévouement et ma gratitude, ainsi que mon amour éternel.

Je dédie également à mes très chers frères et sœurs et à tous les membres de ma famille « HABITA » un par un, pour tous les sacrifices, et les encouragements durant toute période de mes études.

Et mes amies de filière de géologie avec qui j'ai partagé les meilleurs moments de ma vie d'étude.

Aussi à tous les enseignants de l'université d'Ouargla.

ALCA

Remerciements

Langage tout d'abord à Dieu qui nous a donné la force

Pour terminer ce modeste travail.

Toutes nos infinies gratitudees à notre promoteur, Monsieur

BOUSELSAL BOUALEM pour son encadrement et ses

aides précieuses.

Nous remercions aussi les membres de jury qui nous ont fait

l'honneur d'accepter le jugement de notre travail.

Notre sincère reconnaissance à nos enseignants du

département des sciences de la terre et l'univers

*Enfin nous remercions nos parents et tous ceux qui ont
contribués de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste*

travail, trouvent ici l'expression de nos profondes gratitudees

et respects.



SOMMAIRE

Liste des figures	
Liste des tableaux	
INTRODUCTION GENERALE	01
<i>Partie 01: Généralités sur la zone d'étude</i>	
1: SITUATION GEOGRAPHIQUE DE HASSI MESSAOUD	02
2: CONTEXTE SOCIO-ECONOMIQUE	04
3: OCCUPATION DU SOL DANS LA REGION HASSI MESSAOUD	05
3.1: Centre industriel Sud (C.I.S)	05
3.2: Centre industriel Nord (C.I.N.A)	05
4: CONTEXTE CLIMATOLOGIQUE	06
4.1: Introduction	06
4.2: Précipitations	06
4.3: Température	07
4.4: Insolation	08
4.5: Diagramme d'Emberger	09
4.6: Evaporation	09
4.7: Le Bilan hydrique de Hassi Messaoud	10
5: CONTEXTE GEOLOGIQUE	11
5.1: Cadre géologique régionale	11
5.2: Tectonique du Hassi Messaoud	13
5.3: Stratigraphie du Hassi Messaoud	13
5.3.1: Le SOCLE	13
5.3.2: LE PALEOZOIQUE	13
5.3.3: LE MESOZOIQUE	14
5.3.4: LE CENOZOIQUE	16
6: CONCLUSION	17
<i>Partie 02: Etude: Hydrogéologique</i>	
1: PRESENTATION DE SYSTEME AQUIFERE DU SAHARA SEPTENTRIONA	18
1.1. Introduction	18
1.2. Description des principales formations du Sahara septentrional	19
1.2.1: Le Continental intercalaire	19
1.2.2: Le Complexe terminal	22
2: PRESENTATION DES AQUIFERES DE LA REGION DE HASSI MESSAOUD	24
2.1: Aquifère du Complexe Terminal (CT)	25
2.1.1: Lithologie	25
2.1.2: Alimentation de la nappe du Complexe Terminal	26
2.1.3: Ecoulement et exutoire	26
2.1.4: Carte piézométrique de référence de complexe Terminal	27
2.1.5: Carte piézométrique de la nappe de Mio-pliocène de Hassi Messaoud	28
2.2: Aquifère du Continental Intercalaire (CI)	31
3: CONCLUSION	33

SOMMAIRE

Partie 03:Qualité des ressources hydriques de la région de « HMD ».

1:INTRODUCTION	34
2:LES NORMES ALGERIENNES D'EAU POTABLE	34
3:QUALITE DES EAUX DE LA NAPPE DU MIO-PLIOCENE	36
3.1:Facies chimiques des eaux de la nappe du Mio-Pliocène	36
3.2:Potabilité des eaux vis-à-vis aux paramètres physico-chimiques	36
3.2.1: Température de l'eau	36
3.2.2: potentiel d'hydrogène (pH)	37
3.2.3: La conductivité électrique (CE)	37
3.2.4:Le Calcium (Ca⁺²)	37
3.2.5:Le Magnésium (Mg⁺²)	37
3.2.6:Le Sodium (Na)	38
3.2.7:Le Potassium (K⁺)	38
3.2.8:Les Chlorures (Cl⁻)	38
3.2.9:Sulfates (SO₂-4)	38
3.2.10:Bicarbonates (HCO⁻³)	38
3.3:Qualité des eaux pour usage agricole	40
3.3.1:Conductivité	40
3.3.2:La méthode de Richards	40
4:QUALITE DES EAUX DE LA NAPPE CONTINENTAL INTERCALAIRE (CI)	41
4.1:Facies chimiques des eaux de la nappe de CI	41
4.2:Potabilité des eaux vis-à-vis aux paramètres physico-chimiques	42
4.2.1:Température de l'eau	42
4.2.2:Le potentiel d'hydrogène (pH)	42
4.2.3:La conductivité électrique (CE)	42
4.2.4:Calcium (Ca²⁺)	43
4.2.5:Magnésium (Mg²⁺)	43
4.2.6: Sodium (Na⁺)	43
4.2.7: Potassium (K⁺)	43
4.2.8: Chlorures (Cl⁻)	44
4.2.9: Sulfates (SO₂-4)	44
4.2.10:Bicarbonates (HCO⁻³)	44
4.3:Qualité des eaux pour usage agricole	44
4.3.1:Conductivité	44
4.3.2:La méthode de Richards	46
5:CONCLUSION	47
Conclusion générale	48
Bibliographie	49

INTRODUCTION GENERALE

L'eau c'est un élément vital, est le composant prédominant du milieu vivant. Elle est aussi un élément universel, condition de vie, de développement et constitue un facteur de cohésion et de stabilité sociale. Actuellement, l'eau est à l'origine d'importants enjeux stratégiques et risque de devenir dans un proche avenir une source de conflits et de guerre.

Depuis plus d'une cinquantaine d'années, l'Algérie a commencé à exploiter cette réserve d'eau souterraine : les prélèvements sont passés de 600 Hm³/an en 1970 à 2 500 Hm³/an entre 1995 et 2000. Le volume d'eau exploité pour l'activité pétrolière est estimé à 80.3 Hm³ en 2004, dont 63 Hm³ proviennent du Continental Intercalaire, et 17.3 Hm³ du Complexe Terminal.

Le présent travail est pour objectif de déterminer la qualité des eaux des aquifères de Hassi Messaoud (aquifère de Mio-pliocène et aquifère de continental intercalaire (Albien), le sujet est divisé en trois parties :

Partie 01: Généralités sur de la zone d'étude: dans cette partie nous avons définie les caractéristiques géographiques, socio-économiques, climatiques et géologiques de la région d'étude.

Partie 02: Etude Hydrogéologie de la région de Hassi Messaoud: dans cette partie nous avons étudié les particularités hydrogéologiques, piézométriques des aquifères de Hassi Messaoud.

Partie 03:Qualité des eaux des aquifère de Hassi Messaoud : dans cette partienous avons évalué les qualités physico-chimiques de différents aquifères par apport à la norme algérienne et la norme de l'OMS, ainsi que son aptitude à l'irrigation.

A la fin nous avons sortir avec une **conclusion générale** qui présente les résultats acquis à la fin de l'étude.

Partie 01

Généralités sur la zone d'étude .Hassi Messaoud.



Image © 2006 DigitalGlobe

©2005 Google

Pointer 31°40'28.36" N 6°08'31.02" E

Streaming |||||. 65%

Eye alt 4.04 km

1. SITUATION GEOGRAPHIQUE DE HASSI MESSAOUD.

La région de Hassi Messaoud (Fig.1) ; se situe à 650 Km au SE d'Alger et à située à 86 km au sud-est d'Ouargla. Elle est limitée par:

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

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

La région de Hassi Messaoud fait partie du sous-bassin saharien saharien N°4 (Fig.2), sur le plan géomorphologique on distingue :

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

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

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

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

La concession du champ de Hassi Messaoud dont la superficie est de l'ordre de 4200 Km², avait été octroyée le 1^{er} Novembre 1961 à l'association SN REPAL-CFP(A).

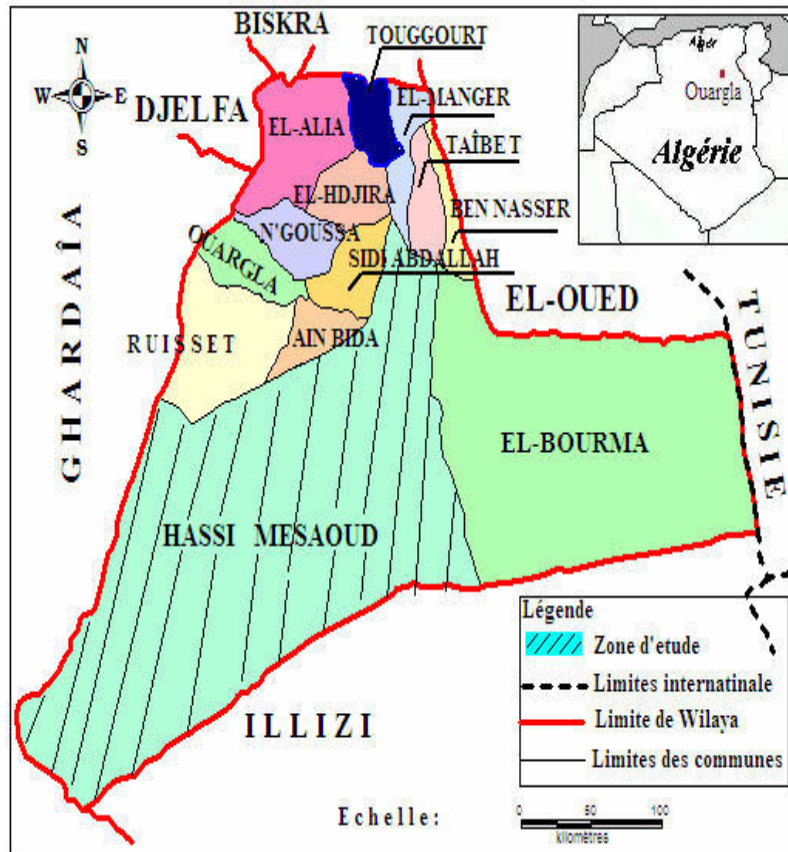


Figure 01 : Carte de situation géographique de Hassi Messaoud.

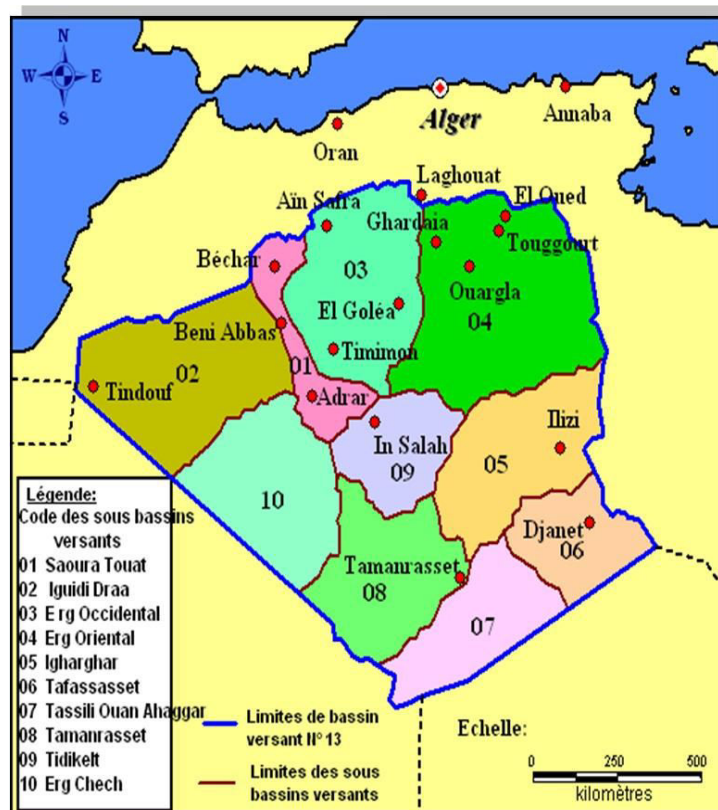


Figure 2 : Carte des sous bassins versants du Sahara algérien (ARNH).

2. CONTEXTE SOCIO-ECONOMIQUE.

La commune de Hassi Messouad compte une population de 53 000 habitants, c'est indiscutablement la commune la plus riche du pays, grâce aux activités du secteur pétrolier. L'économie de la ville est largement tournée vers l'exploitation de son gisement de pétrole. En effet avec 0.15 % de la population nationale, elle contribue à hauteur de 10% dans le produit National Brut (PNB).

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

C'est vers la fin du 19ème siècle qu'ont commencé les premiers travaux d'exploration des hydrocarbures en Algérie, dans le bassin de Cheliff, sur la base d'indices de surface. Les premiers puits sont peu profonds et certains indices d'huiles ont même été exploités par simple creusement de galeries. Ce n'est qu'en 1948 que la première découverte commerciale a été faite à Oued Guétérini (Wilaya de Bouira), à 150 km au Sud d'Alger. La deuxième découverte significative a été enregistrée en 1953 dans la région d'In Salah à l'extrême Sud du Sahara avec un débit de gaz sec à partir d'un forage implanté sur une structure de surface. Une autre structure de surface fut forée plus tard en 1956 à Edjeleh (situé au Sud d'In Amenas) qui a produit de l'huile. Au cours de la même année, fut réalisée la plus importante découverte d'huile en Algérie, à Hassi Messouad sur une structure décelée par la sismique 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 fut réalisé peu de temps après à 7 km au Nord Nord-Ouest du puits MD-1. Il confirmait l'existence d'huile dans les grès du Cambrien. La mise en production avait commencé en 1958 avec 20 puits d'exploitation. Le nombre des forages sont augmenter sans cesse, on compte plus de 1 700 puits jusqu'à ce jour.

Durant plusieurs années d'exploitation du champ de Hassi Messouad, on a pu constater que l'ensemble de puits se comportait de manière indépendante les uns par rapport aux autres, d'où la définition de zone, dont les pressions moyennes évoluent de manières différentes. Après plusieurs années de production, la pression du gisement a énormément chuté ce qui a incité à utiliser les méthodes de récupération secondaire (injection de gaz, d'eau, fracturation, acidification).

3. OCCUPATION DU SOL DANS LA REGION HASSI MESSOUAD.

Le champ de Hassi Messaoud occupe la partie centrale de la province triasique. De par sa superficie et ces réserves, il est le plus grand gisement de pétrole d'Algérie et, s'étend sur près de 2200 Km² de superficie. Il est limité :

- Au NW par les gisements d'Ouargla (Gellala, Ben Kahla et Houd Berkaoui).
- Au SW par les gisements d'El-Gassi, Zotti et El Agreb.
- Au SE par les gisements Rhoude El Baguel et Mesdar.

Le champ pétrolier de Hassi Messouad, considéré par sa production comme l'un des dix plus grands champs pétroliers au monde, avec actuellement 400 000 barils par jour et aurait une durée de vie de 80 ans, il compte plus de mille puits.

Le champ de Hassi Messouad est découpé en 25 zones dites de production, d'extension variable. Ces zones sont relativement indépendantes et correspondent à un ensemble de puits communiquant entre eux et se comportant de la même manière du point de vue pression de gisement. Les puits d'une même zone drainent conjointement une quantité d'huile en place bien établie. Le champ de Hassi Messouad est divisé en deux parties distinctes, le champ Nord et le champ Sud. (Fig.03).

3.1. Centre industriel Sud (C.I.S) : Le centre industriel Sud reçoit le brut directement des puits pétroliers de la partie Sud du champ et le brut prétraité des six unités satellites. Il est constitué d'une unité de traitement du brut, une unité de GPL(1), une unité de GPL(2), une raffinerie, une unité de compression et un laboratoire de centre.

3.2. Centre industriel Nord (C.I.N.A) : Le centre industriel Nailli Abdelhalim (C.I.N.A) reçoit le brut directement des puits pétroliers de la partie Nord du champ et le brut prétraité des deux unités satellites. Ce centre est situé au Nord Ouest du (C.I.S), exploité depuis 1962. Cette installation, peut traiter jusqu'à 300 000 barils par jour, il est constitué d'une unité de traitement, une unité de GPL et une unité de compression.

Vu le développement de la production pétrolière ces dernières années, les centres industriels n'arrivent pas à répondre aux exigences de traitement du point de vue quantitatif.

Ainsi la SONATRACH a décidé de réaliser deux nouvelles unités de traitement de brut sur le champ de Hassi Messouad Sud, dénommée USTBH et Z.CINA au Nord.

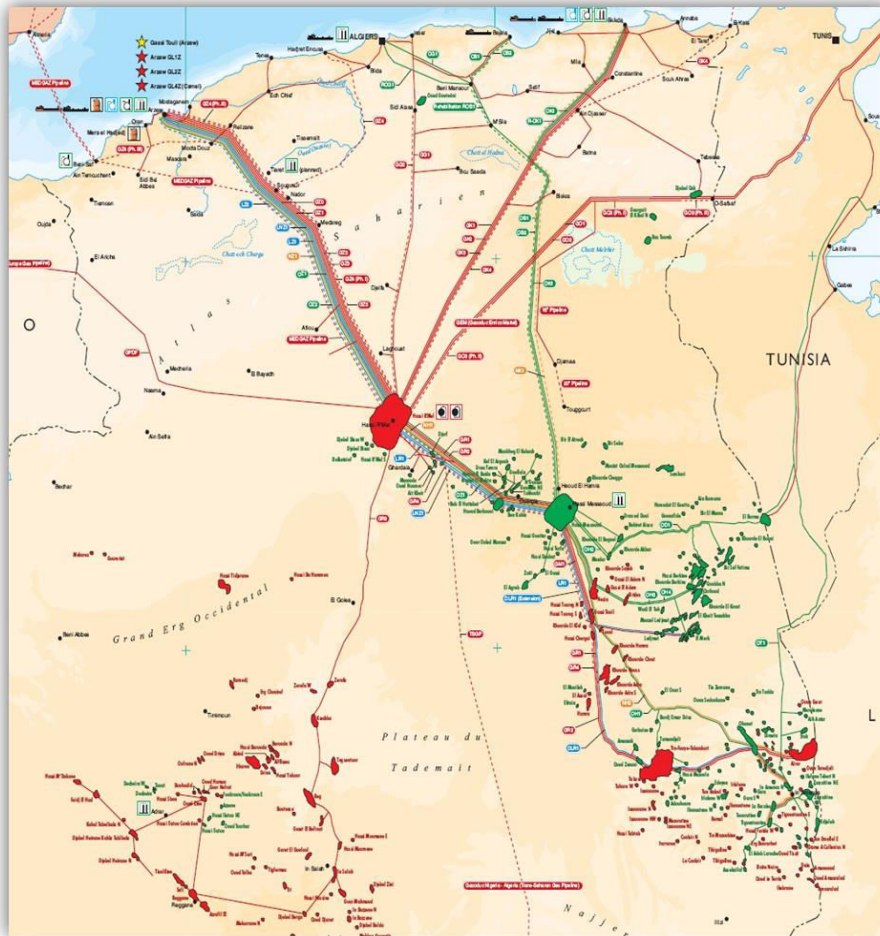


Figure 3 : Occupation du sol dans la région Hassi Messaoud.

4. CONTEXTE CLIMATOLOGIQUE.

4.1. Introduction : Dans ce chapitre, nous sommes intéressés aux principaux facteurs climatiques, indispensables à l'établissement du bilan hydrique, tels que, les précipitations, la température et l'évapotranspiration. Le climat de Hassi Messaoud est de type saharien, caractérisé par un été chaud et sec, un hiver plutôt doux, une faible pluviométrie et une forte évaporation. Les paramètres climatiques utilisés pour cette étude proviennent essentiellement de la station pluviométrique située à l'Aéroport de Hassi Messaoud, s'étalant sur une durée d'observation, de 2002 à 2014.

4.2. Précipitations : Selon les données de tableau (Tab.1), nous avons établi la courbe de variation moyenne mensuelle interannuelle des précipitations (Fig.4). L'histogramme, donne un aperçu sur les variations mensuelles et pluriannuelles des précipitations dans la région d'étude. On constate que le mois de janvier est le plus arrosé avec 7.2 mm, et le mois de juillet

est le moins arrosé avec 0.05 mm. La moyenne interannuelle de précipitation est d'ordre de 34.65 mm.

Tableau 1: Précipitations moyenne mensuelles de Hassi Messaoud (2002/2014).

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

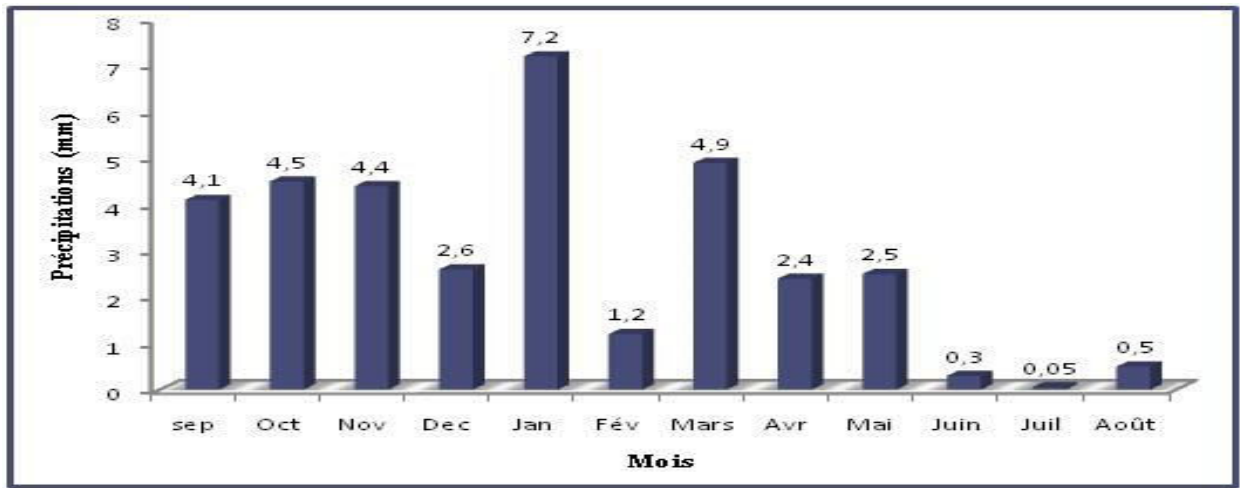


Figure 4: Histogramme de répartition mensuelle des pluies de Hassi Messaoud(2002/2014).

4.3. Température : Durant la période allant de 2002 à 2014, la moyenne annuelle des températures est 23.5°C. Les variations moyennes mensuelles des températures (Fig.5 et Tab.2) montrent qu'elle est maximale au mois d'aout avec une valeur d'ordre de 35.5°C et minimale au mois de janvier avec une valeur d'ordre de 11.3°C.

Tableau 2 -Température moyenne mensuelle de Hassi Messaoud (2002/2014).

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

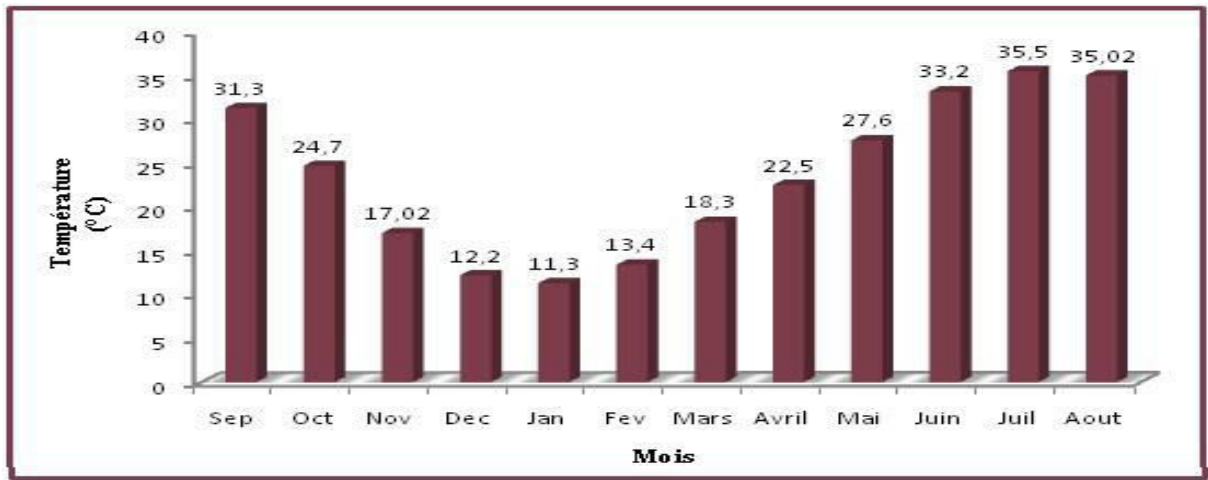


Figure 5 : Histogramme des températures moyennes mensuelles de Hassi Messaoud.

4.4. Insolation : Hassi Messaoud reçoit une quantité de lumière solaire relativement très forte. Le maximum est atteint au mois de juillet avec une durée de 364.84 heures d'insolation et le minimum au mois de décembre avec une durée de 249.96 heures.

Tableau 3 - Insolation moyenne mensuelles de Hassi Messaoud (2002/2014).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Moyenne
Insol(h)	275.54	272.1	263.92	249.96	250.1	255.66	260.3	296.86	334.5	350.6	364.84	350.8	293.73

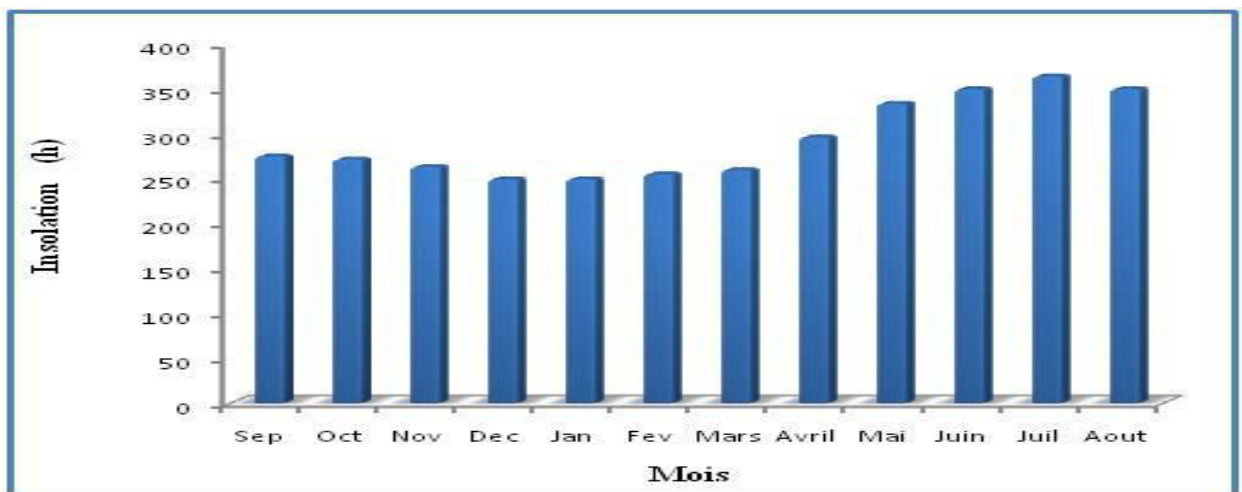


Figure 6 : Histogramme moyenne mensuelles de Hassi Messaoud (2002/2014).

4.5. Diagramme d'Emberger :

Pour déterminer les types de climat de la zone méditerranéenne, L. Emberger (1955) a proposé la détermination d'un quotient pluviométrique Q (Fig.7). Ce quotient dépend de la précipitation moyenne annuelle et les moyennes des températures minima et maxima, respectivement des mois les plus froids et les plus chauds.

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

Q :facteur des précipitations d'Emberger.

P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

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

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

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

Selon la position sur le Diagramme d'Emberger (fig. 07) la zone d'étude est caractérisée par un climat hyper-aride avec un hiver tempéré.

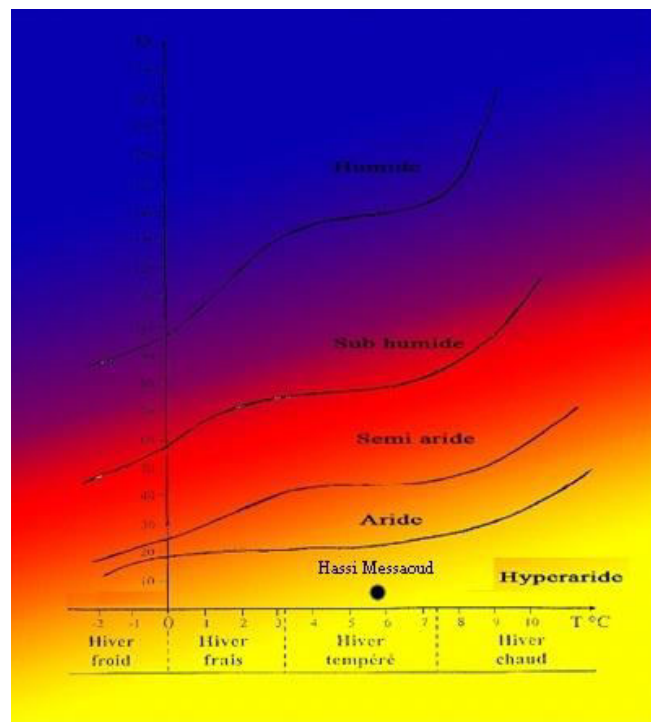


Figure 7 : Diagramme d'Emberger de Hassi Messaoud (2002/2014).

4.6. Evaporation : L'évaporation fournie par la station de Hassi Messaoud Aéroport. Ci-après le tableau incluant l'évaporation moyenne annuelle au cours de la période 2000-2012, nous retenons que la valeur moyenne annuelle de l'évaporation est de 3061.56 mm, le maximum de l'évaporation est enregistré en juillet avec 440.5 mm. La saison sèche a elle

seule représente environ 417.07 mm d'où ce déficit chronique en alimentation des aquifères en eaux de pluie.

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

Tableau 4 : Evaporation moyenne mensuelle de Hassi Messaoud, période : (2000-2012).

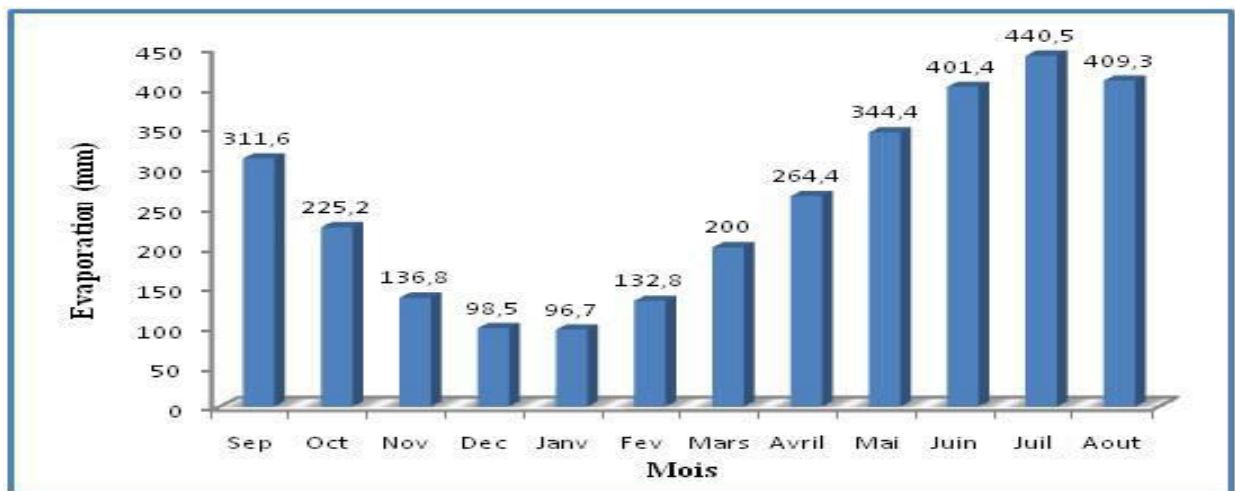


Figure 8 : Histogramme d'évaporation mensuelle de Hassi Messaoud (2000/2012).

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

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

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

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

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

- Si $P \geq ETP$, on pose l'ETP = ETR, la quantité d'eau qui reste (P-ETR) alimentera la RFU jusqu'à la remplir à 50mm. Si elle dépasse cette valeur, il y aura un excès qui part soit sous forme d'infiltration efficace vers la nappe, soit sous forme de ruissellement.
- Si $P < ETP$: on évapore toute la pluie et on prend à la RFU (jusqu'à la vider) l'eau nécessaire pour satisfaire l'ETR soit : $ETP = P + \min(RFU, ETP - P)$.
- Si la RFU est nulle, il va se produire un déficit agricole $Da = ETP - ETR$, ce dernier paramètre représente alors le besoin des cultures à l'irrigation.

Le bilan hydrique de Hassi Messaoud (Tab.5), dans la période ;(2002/2014). suivant la méthode de Thorntwaite est déficitaire, la quantité d'eau précipitée sera vite évaporée parce que évapotranspiration potentiel (ETP) est plus importante que les précipitations, sauf au mois de janvier, le réserve facilement utilisable est nulle pendant les deuze mois de l'année. Le déficit agricole est présent pendant toute l'année, elle atteindra son maximum au mois de juillet 257.23mm. Le bilan hydrique de la région de Hassi Messaoud montre que la recharge par la pluie efficace est négligeable.

Tableau 5 : Bilan hydrologique de Thorntwaite de Hassi Messaoud (2002/2014).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Av	Mai	Juin	Juil	Août	Total
P	4.1	4.5	4.4	2.6	7.2	1.2	4.9	2.4	2.5	0.3	0.05	0.5	34.65
ETP _C	161.5	83.1	28.48	11.3	9.65	14.62	39.72	70.16	130.84	211.5	257.28	244.4	1262.55
ETR	4.1	4.5	4.4	2.6	7.2	1.2	4.9	2.4	2.5	0.3	0.05	0.5	34.65
P-ETP	-157	-78.6	-24.08	-8.7	-2.45	-13.42	-34.82	-67.76	-128.34	-211.2	-257.23	-243.9	—
RFU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EX	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DA	157.4	78.6	24.08	8.7	2.45	13.42	34.82	67.76	128.34	211.2	257.23	243.9	1227.9

5. CONTEXTE GEOLOGIQUE.

5.1. Cadre géologique régionale :

En Sahara algérien, les travaux de G. Busson (1963, 1967 et 1970) et de J. Fabre (1976) constituent les références de base pour une bonne compréhension de la géologie du Sahara

algérien. Toutefois, un complément d'information est recherché dans les différentes cartes géologiques qu'ont couvrant cette région(Fig.9) (SASS 2002). Des études récentes sont réalisés par SONATRACH et ENAGEO, ces auteurs ont travaillé et publiés des articles et des ouvrages sur la géologie du bassin sédimentaire du Sahara septentrional, surtout dans le cadre de la géologie pétrolière.

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

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

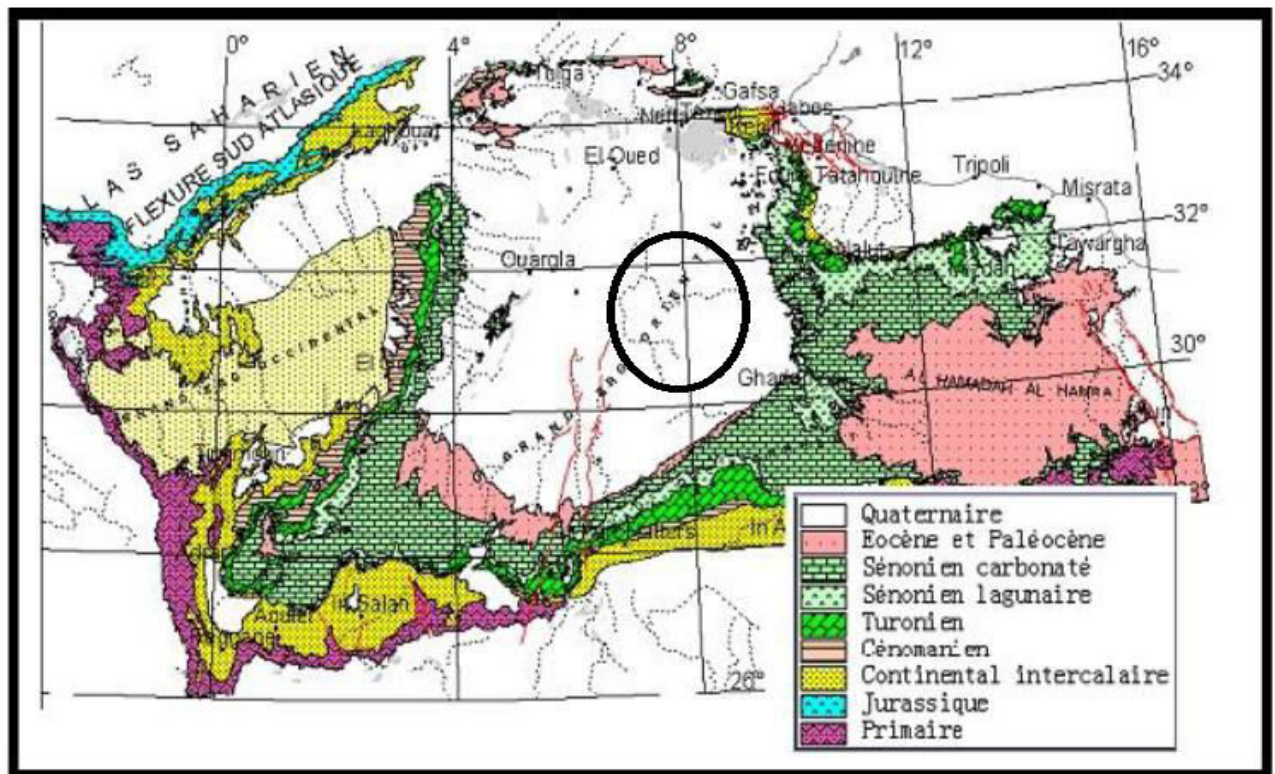


Figure 9: cartes géologiques de l'Algérie (OSS 2003).

5.2. Tectonique du Hassi Messaoud : La structure du champ de Hassi Messaoud (Fig.10) ; se présente comme un vaste dôme anticlinal aplati, de direction générale Nord-Est – Sud-Ouest. Les accidents affectant le réservoir sont de deux types :

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

Le dôme de Hassi Messaoud est le résultat d'une histoire paléotectonique assez compliquée, c'est le prolongement de la dorsale d'Amguid El Biod qui a plus de 800 km de long. Sa structure fait partie d'un ensemble de structures formant la province triasique Nord orientale.

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

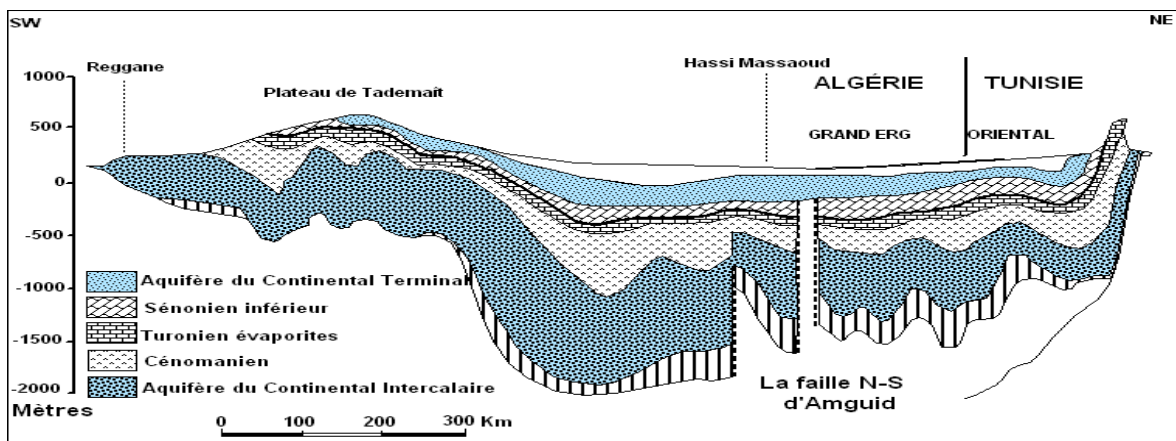


Figure 10 : Coupe géostructurale transversale régionale du Sahara (WEC, 2007).

5.3. 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 centre 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: fig. (11).

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

5.3.2. LE PALEOZOIQUE :

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

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

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

➤ **Zone des alternances :** Son épaisseur moyenne est de 20 mètres.

Désignée ainsi en raison de la présence de nombreuses passées d'argiles indurées alternantes avec des bancs quartzites fins isométriques.

➤ **Argile d'El Gassi :** Son épaisseur moyenne est d'environ 50 mètres.

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

➤ **Les grès d'El Atchane :** Son épaisseur moyenne varie de 12 à 25 mètres.

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

➤ **Les quartzites de Hamra :** Son épaisseur moyenne varie de 12 à 75 mètres.

Ce sont des grès quartzitiques fins, à rares intercalations d'argiles.

5.3.3. LE MESOZOIQUE :

a) 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 .

b) Le Jurassique: Son épaisseur moyenne est 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) .

➤ **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.

➤ **Le Dogger :** Son épaisseur moyenne est de 320 mètres.

Le Dogger est subdivisé en deux (2) formations, le Dogger lagunaire à la base et le Dogger argileux au sommet.

Ere/Sy	ETAGES	LITHO	Ep(m)	DESCRIPTION		
C7 NEO CRETACE MESOZOIQUE	MIO PLIOCENE		239	SABLE, CALCAIRE		
	EOCENE		122	CALCAIRE		
	<i>Discordance alpine</i>					
	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		
	JURASSIQUE	MALM		226	ARGILE, MARNE, CALCAIRE	
		DOGGER	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	
TRIAS		D2		46	ANHYDRITE, ARGILE	
		TS2		189	SEL, ARGILE, ANHYDRITE	
		TS3		202	SEL MASSIF	
	ARGILEUX		113	ARGILE		
	GRESEUX		0 à 35	GRES, ARGILE		
<i>Discordance hercynienne</i>						
P ORDOVICI LEOZ CAMBRIEN ZOIQU	ERUPTIF		0 à 92	ANDESITE		
	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 2		100	GRES Grossiers, Argile		
	R 3		370	GRES Grossiers, Argiles		
	PROTEROZOIQU	Infra Cambrien		45	GRES Argileux rouge	
	SOCLE			Granite porphyroïde rose		

Figure 11 : Colonne lithostratigraphique du champ de HASSI MESSAOUD

< Document Sonatrach >.

- **Le Malm** : Son épaisseur moyenne est de 225 mètres.

Il est caractérisé par les dépôts d'argiles et de marne avec des intercalations des bancs de calcaire et dolomie accompagnés de quelques traces d'anhydrite.

- c) Le Crétacé** : Son épaisseur moyenne est de 1620 mètres.

Il est constitué de sept étages, de la base au sommet on distingue :

- **Le Néocomien** : Son épaisseur est de 1620 mètres.

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

- **Le Barrémien** : Son épaisseur moyenne est de 280 mètres.

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

- **L'Aptien** : Son épaisseur est de 25 mètres.

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

- **L'Albien** : Son épaisseur moyenne est de 350 mètres.

Constitué de grès et sable fin, avec des intercalations d'argile silteuse , il représente une immense nappe aquifère .

- **Le Cénomanién** : Son épaisseur moyenne est de 145 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 .

- **Le Turonien** : Son épaisseur moyenne varie de 70 à 120 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.

- **Le Sénonien** : Son épaisseur moyenne est de 230 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 .

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

6. CONCLUSION.

La région de Hassi Messaoud située à environ 650 km Sud-est d'Alger, elle appartient au Sahara algérien oriental, cette partie est occupée par le Grand Erg Oriental qui est une vaste étendue de dunes de sables de couleur beige clair, dépassant 200 m d'altitude. Elle compte une population de 53 000 habitants, avec une activité principale tournée vers l'exploitation des gisements de pétrole. la zone d'étude est caractérisée par un climat hyper-aride avec un hiver doux, la quantité d'eau précipitée sera vite évaporée parce a cause de la forte évapotranspiration potentiel (ETP). Le bilan hydrique de la région de Hassi Messaoud montre que la recharge par la pluie efficace est négligeable.

La série stratigraphique repose sur un socle à environ 4393 m d'épaisseur. Cette série est incomplète, elle est marquée par l'absence du Silurien, Dévonien, Carbonifère et Permien. La discordance hercynienne se manifeste plus accentuer au centre de la structure, où les dépôts argilo-gréseux et salifères du Trias reposent directement sur le Cambrien. En allant vers la périphérie, cette discordance tronque des termes ordoviciens de plus en plus récents.



Partie 02

Etude hydrogéologique

C'est à l'endroit où l'eau est la plus profonde qu'elle est le plus calme

(William Shakespeare)

1. PRESENTATION DE SYSTÈME AQUIFÈRE DU SAHARA SEPTENTRIONAL.

1.1. Introduction :

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional « SASS » (OSS, 2003) s'étend sur une vaste zone dont (Fig.13) les limites sont situées en Algérie, Tunisie et Libye. Ce bassin renferme une série de couches aquifères qui ont été regroupées en deux réservoirs appelés le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT). Le domaine du SASS couvre une superficie d'environ 1.000.000 de km² et s'étend du Nord au Sud, depuis l'Atlas saharien jusqu'aux affleurements du Tidikelt et du rebord méridional du Tinrhert, et d'Ouest en Est depuis la vallée du Guir-Saoura jusqu'au Graben de Hun en Libye. Ce bassin se subdivise en trois sous-entités : les deux sous-bassins du Grand Erg Occidental et du Grand Erg Oriental qui sont des cuvettes à écoulement endoréique aboutissant dans des dépressions fermées «chotts et sebkhas», et le plateau de la Hamada El Hamra. Il sera procédé, ici, à la description des principales formations géologiques du Sahara septentrional, à la schématisation du multicouche saharien et à l'estimation des réserves.

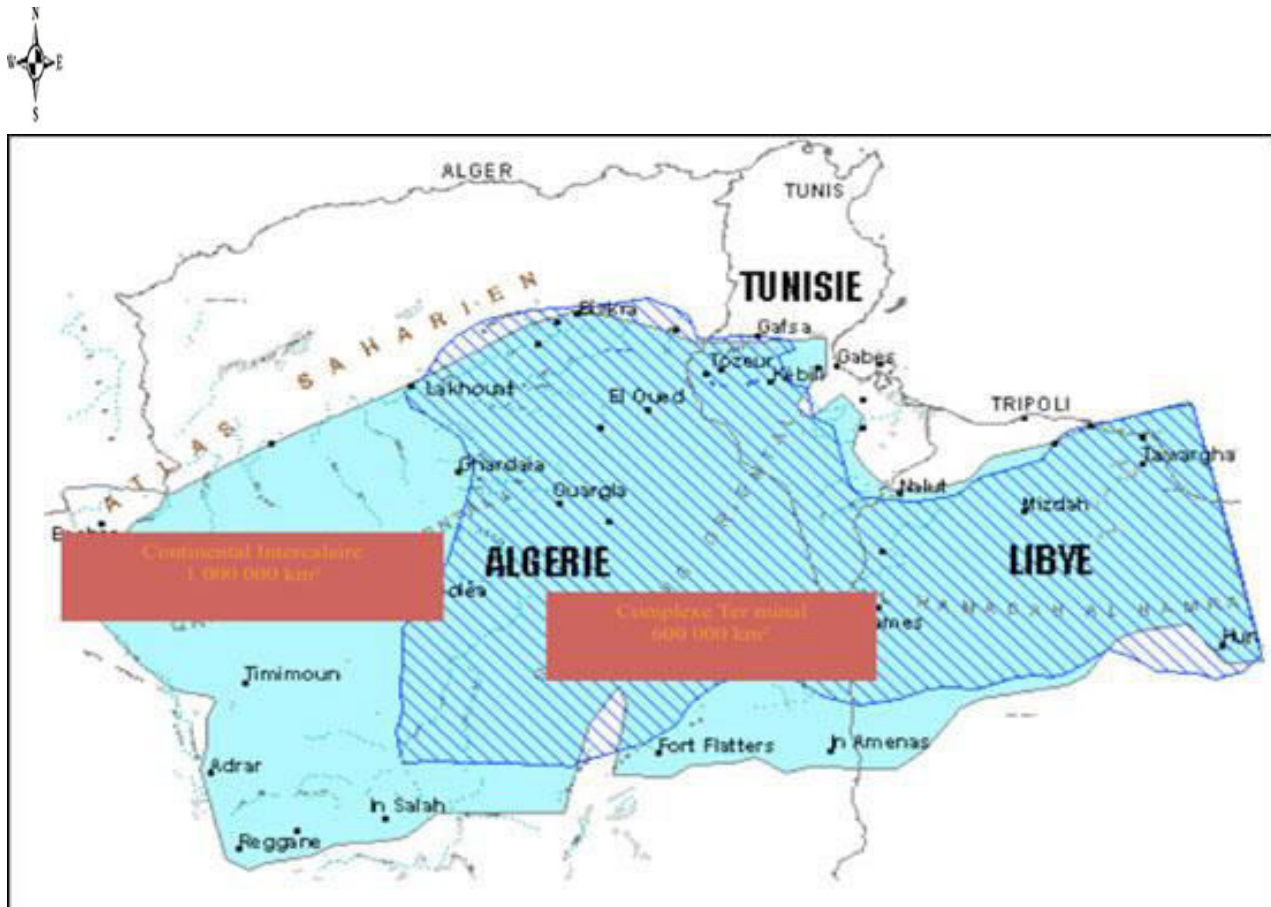


Figure 13 : Carte Extension de Système Aquifère du Sahara Septentrional « SASS » (OSS, 2003).

1.2. Description des principales formations du Sahara septentrional :

Les rapports OSS (2003a et b) présentent bien les nappes du CI et du CT et contiennent une bonne synthèse géologique tirée de différentes études. Nous rappelons ci dessous les définitions des nappes du CI et du CT et résumons cette synthèse géologique tout en rappelant les sources.

Le terme « Continental Intercalaire » désigne un épisode continental localisé entre deux cycles sédimentaires marins à la base, le cycle du Paléozoïque qui achève l'orogénèse hercynienne et au sommet, le cycle du Crétacé supérieur, résultat de la transgression cénomanienne.

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

1.2.1. Le Continental intercalaire :

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

L'examen de la carte des affleurements géologiques (Fig.13) permet donc de définir le Continental Intercalaire comme l'ensemble continental compris entre les plissements hercyniens, qui ont chassé la mer de la plate-forme saharienne, et l'invasion marine du Crétacé supérieur. Cet ensemble comprend majoritairement les formations continentales grésos-argileuses du Crétacé inférieur, auxquelles l'étude des coupes de forages a permis d'associer des sédiments marins ou lagunaires, post-paléozoïques et anté-cénomaniens intercalés au sein du CI.

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

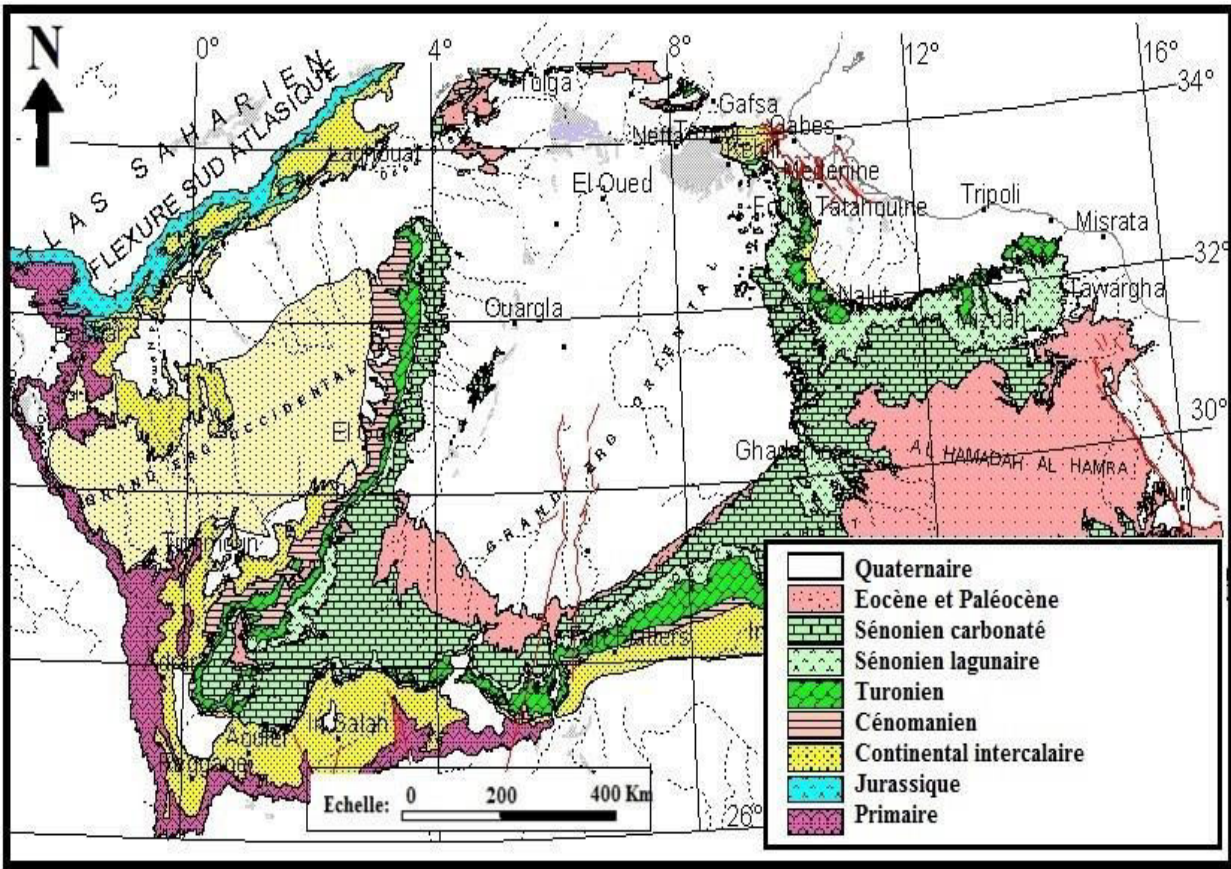


Figure 14: Carte géologique du Sahara (OSS 2003).

- Au Nord-Ouest, le versant Sud de l'Atlas saharien, marqué en affleurement par le contact Albien-Cénomaniens
- A l'Ouest-Sud-Ouest, la limite des affleurements paléozoïques de l'Ougarta, marqués par le cours des oueds Zousfana et Saoura.
- Au Sud, la limite des affleurements du CI sur le Paléozoïque, allant en continuité d'Adrar à Hun, décrivant les limites septentrionales des Tassilis et du Jebel Hassawna.
- Au Nord, l'accident sud Atlasique au Nord des Chotts, relayé vers le golfe de Gabès par la faille d'EL Hamma – Médenine.
- Au Nord-Est, les affleurements du Continental Intercalaire au pied de la falaise du Dahar et du Jebel Nefussa.
- A l'Est, les formations aquifères du Crétacé inférieur se prolongent bien au-delà du graben de Hun. Mais à l'Est du méridien 16° et en passant au bassin de Syrte, les eaux du CI deviennent

saumâtres : c'est ce passage qui a été adopté comme limite de la zone d'étude de la nappe d'eau douce du CI (OSS, 2003). (Fig.14).

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

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

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

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

Le Jurassique : Le Jurassique inférieur et moyen (Lias-Dogger) comprend principalement des couches évaporitiques constituées essentiellement de sel, d'anhydrite et d'argiles auxquelles se superposent des couches franchement marines et qui se présentent sous forme de calcaires et argiles avec des bancs d'anhydrite. La transgression jurassique couvre tout le bassin du Grand Erg Oriental, et les dépôts y sont épais.

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

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

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

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

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

□ **L'Albien** est caractérisé par un remarquable retour de la sédimentation terrigène. Cet étage regroupe la masse des sables et argiles comprise entre la barre aptienne et l'horizon argileux sous-jacent attribué au Cénomaniens.

On remarque que le changement du régime sédimentaire et l'arrivée en masse de sédiments détritiques s'est produit entre le Néocomien et le Barrémien (FABRE, 1976) et au cours de l'Albien.

Le Cénomaniens est formé par une alternance de bancs de dolomie, de calcaire dolomitique, d'argiles et d'évaporites (anhydrite ou sel). Son faciès varie : au Sud d'Ouargla, les argiles et les évaporites dominant, au Nord, au contraire, les bancs de calcaire et de dolomie sont majoritaires. De plus, l'épaisseur augmente du Sud vers le Nord (de 50 m dans le Tademaït à 350 m dans le Bas-Sahara). La présence de nombreux bancs d'évaporites et d'argiles rendent le Cénomaniens imperméable (BEL et CUCHE, 1969). Le Cénomaniens inférieur à moyen est argileux dans le Tinrhert et le Bas Sahara. Le Cénomaniens supérieur y est calcaire (BUSSON, 1970).

1.2.2. Le Complexe terminal :

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

C'est avec le projet ERESS que l'on verra apparaître la notion de « Complexe Terminal », appellation publiée pour la première fois par BEL et CUCHE (1969): ce terme de « nappe du Complexe Terminal » qui groupe sous une même dénomination plusieurs aquifères situés dans

des formations géologiques différentes, a été retenu car ces nappes font bien partie d'un même ensemble hydraulique. Les intercommunications entre Sénonien, Eocène et 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. La nappe turonienne est plus individualisée par suite de la couverture imperméable du Sénonien lagunaire. Cependant, ses niveaux concordent avec ceux du Sénonien ou du Mio-pliocène sur la bordure du bassin ».

Le Complexe terminal affleure aux endroits suivants :

- au Nord, dans le sillon des chotts algéro-tunisiens
- à l'Est, le long du flanc oriental du Dahar et du J. Nafusa,
- au Sud, sur les plateaux de Tinrhert et de Tademaït,
- à l'Ouest, sur la dorsale du M'zab.

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

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

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

- au Sud du parallèle d'El Goléa, il est calcaro-marneux.
- entre El Goléa et Djamaâ, il est essentiellement calcaire.
- au Nord de Djamaâ, il est à nouveau calcaro-marneux. Son épaisseur moyenne varie entre 50 et 100 m. Elle augmente cependant dans la région des chotts où elle dépasse 300 m.

Le Sénonien : il s'individualise en deux faciès :

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

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

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

Le Mioplio-Quaternaire : Dans la partie algérienne du système, le Tertiaire continental du Sahara peut être relativement épais (150m). Il se présente sous forme d'un faciès sableux et argileux avec du gypse. Dans le Bas-Sahara, la sédimentation lacustre se présente sous forme de séries sableuses et argileuses connues sous le nom du Continental terminal (Mio-Pliocène) dont l'épaisseur peut atteindre, dans la région des Chotts algérotunisiens, quelques centaines de mètres. On y identifie, dans la région de Oued Rhir, deux niveaux aquifères au sein des sables qui sont séparés par une couche argileuse au milieu (première et deuxième nappe de Oued Rhir). L'ensemble est surmonté par le Plio- Quaternaire argilo-sableux et gypseux qui résulte de la sédimentation en milieu lacustre durant la phase d'assèchement des lagunes des chotts (BUSSON, 1970).

2. PRESENTATION DES AQUIFERES DE LA REGION DE HASSI MESSAOUD.

Les aquifères de Hassi Messaoud fait partie de système aquifère du Sahara septentrional (SASS), ce dernier est composé d'une superposition de deux principales couches aquifères; la formation du Continental Intercalaire, CI, la plus profonde et celle du Complexe Terminal, CT (Fig.15).

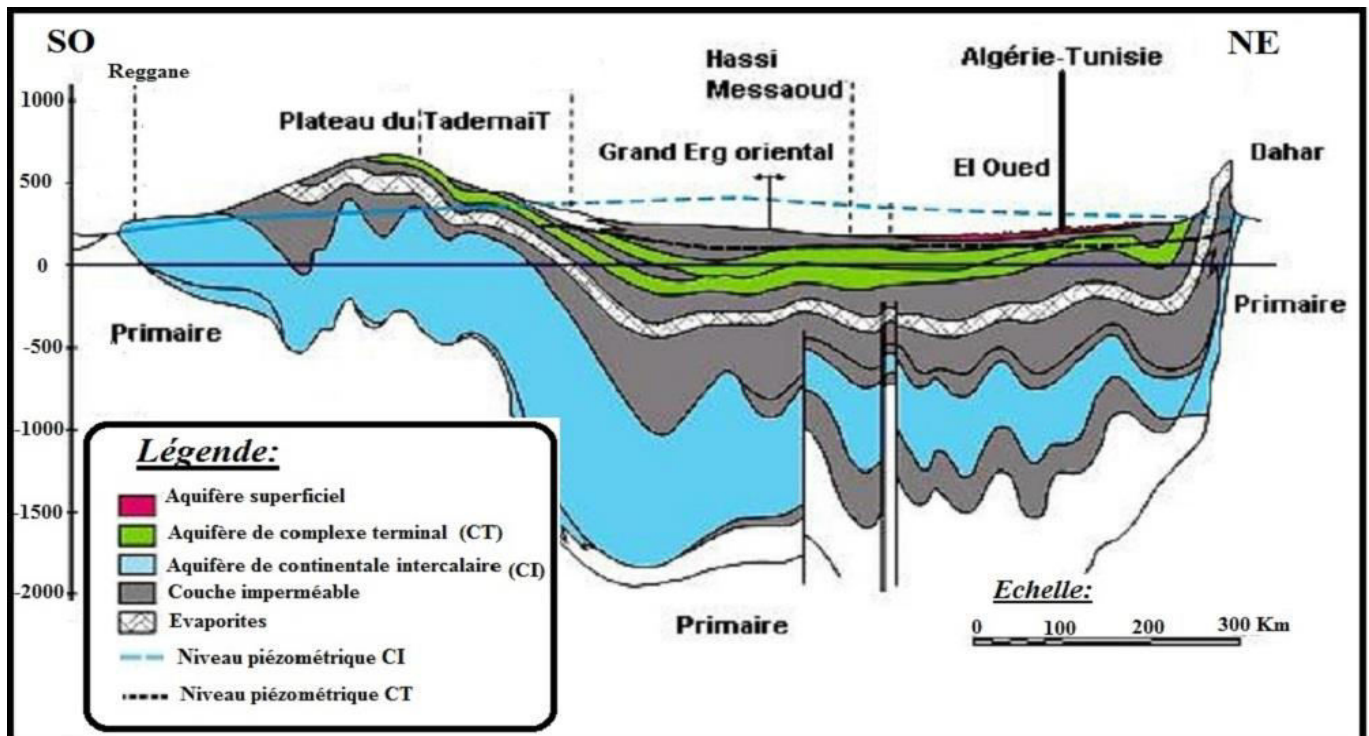


Figure 15: Coupe hydrogéologique des aquifères du Sahara septentrionale (UNESCO 1972).

2.1. Aquifère du Complexe Terminal (CT) :

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

2.1.1. Lithologie :

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

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

L'aquifère de Complexe Terminal, dans la région de Hassi Messaoud, regroupe trois formations :

- La nappe de Mio-Pliocène : qui est essentiellement constituée de sable avec une présence de calcaire et des argiles, d'une épaisseur moyenne de 230m.
- La nappe du Sénono-Eocène carbonaté est formée de calcaire dolomitique d'épaisseur moyenne de 220m.

- La nappe du Turonien carbonaté dolomitique d'épaisseur moyenne de 90m, elle est séparée des deux nappes sous-jacentes par la formation du Sénonien lagunaire qui constitue un écran imperméable entre elle ;

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

2.1.2. Alimentation de la nappe du Complexe Terminal :

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

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

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

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

2.1.3. Ecoulement et exutoire :

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

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

2.1.4. Carte piézométrique de référence de complexe Terminal :

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

L'ensemble de ces travaux a permis de dresser une carte piézométrique initiale en 2003 peu influencée par le pompage, à l'échelle du bassin du Sahara Septentrional (Figure 10). Cette piézométrie a concerné les formations calcaires sénoniennes et éocènes ainsi que les sables du Pontien (O. Rhir et Djérid). Elle permet d'avoir la continuité de l'écoulement souterrain en passant d'une zone à l'autre (OSS, 2003). L'examen de cette carte piézométrique met en évidence les zones d'alimentation, à savoir : L'Atlas Saharien au Nord-Ouest, le Dahar à l'Est, le Tinrhert au Sud et les monts du M'Zab.

L'existence d'une alimentation permanente actuelle, équivalente à 750 hm³/an (M. Baba Sy, 2005) du réservoir est vraisemblable dans plusieurs régions :

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

L'écoulement de cette nappe se produit

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

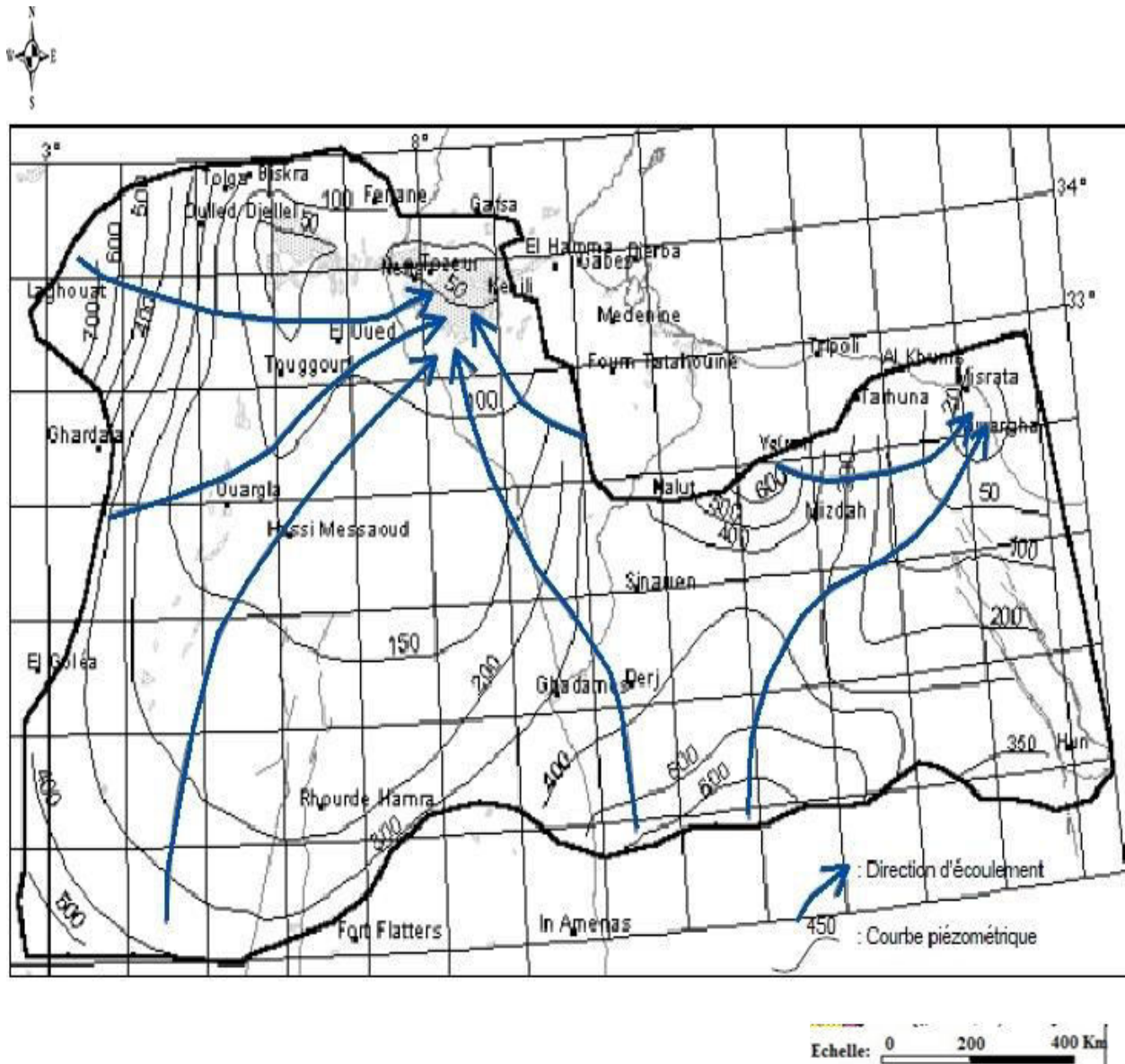


Figure 16: Carte piézométrique de référence du Complexe Terminal (OSS, 2003).

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

La carte piézométrique de la nappe Mio-Pliocène a été réalisée par le logiciel Surfer 10. Cette carte fait ressortir quelques aspects piézométriques (Fig.16):

- Le niveau piézométrique de notre région d'étude varie entre 105 à 140 m.
- L'écoulement régional des eaux souterraines s'effectue du Sud-ouest au Nord-est, ce qui concorde parfaitement avec ce qui a été mis en évidence dans les travaux antérieurs, particulièrement la piézométrie établie par le SASS

- On remarque également l'existence d'un écoulement local sous forme de dépressions piézométriques où les iso pièzes sont serrées au Sud-ouest et moins serrés au Sud-est. Cela peut s'expliquer par un épisode de pompage d'eau plus ou moins intense, surtout au niveau du forage HGA-102, pompé à $120 \text{ m}^3/\text{h}$ (Fiche technique HGA-102). A ce propos, nous avons calculé les gradients hydrauliques de la piézométrie réalisée, représentatifs de 3 zones distinctes.

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

- Zone à gradient élevé, située au Sud-Ouest et centrée autour des puits HGA-102 et MDH-160. Elle correspond à un gradient de l'ordre de 10^{-3} ,
- Zone à gradient moyen, située au Sud-est et centrée autour du puits HTF-105, le gradient est de l'ordre de $5 \cdot 10^{-4}$,
- Zone à faible gradient, partout ailleurs, les courbes sont plus ou moins espacées, le gradient est de l'ordre $1,81 \cdot 10^{-4}$,

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

- Un axe de drainage qui se manifeste, au Nord de direction Sud-Nord.
- Nous avons des forages à débits exceptionnellement élevés tels que HGA-102 avec en moyenne $120 \text{ m}^3/\text{s}$ et d'autres forages dont les débits sont plus faibles et variant de 20 à 70 m^3 tels que HTF-105 et MDH-160.

Ces débits sont général très importants en raison du grand potentiel hydraulique prouvé par les études hydrogéologiques antérieures. (Fig.17).

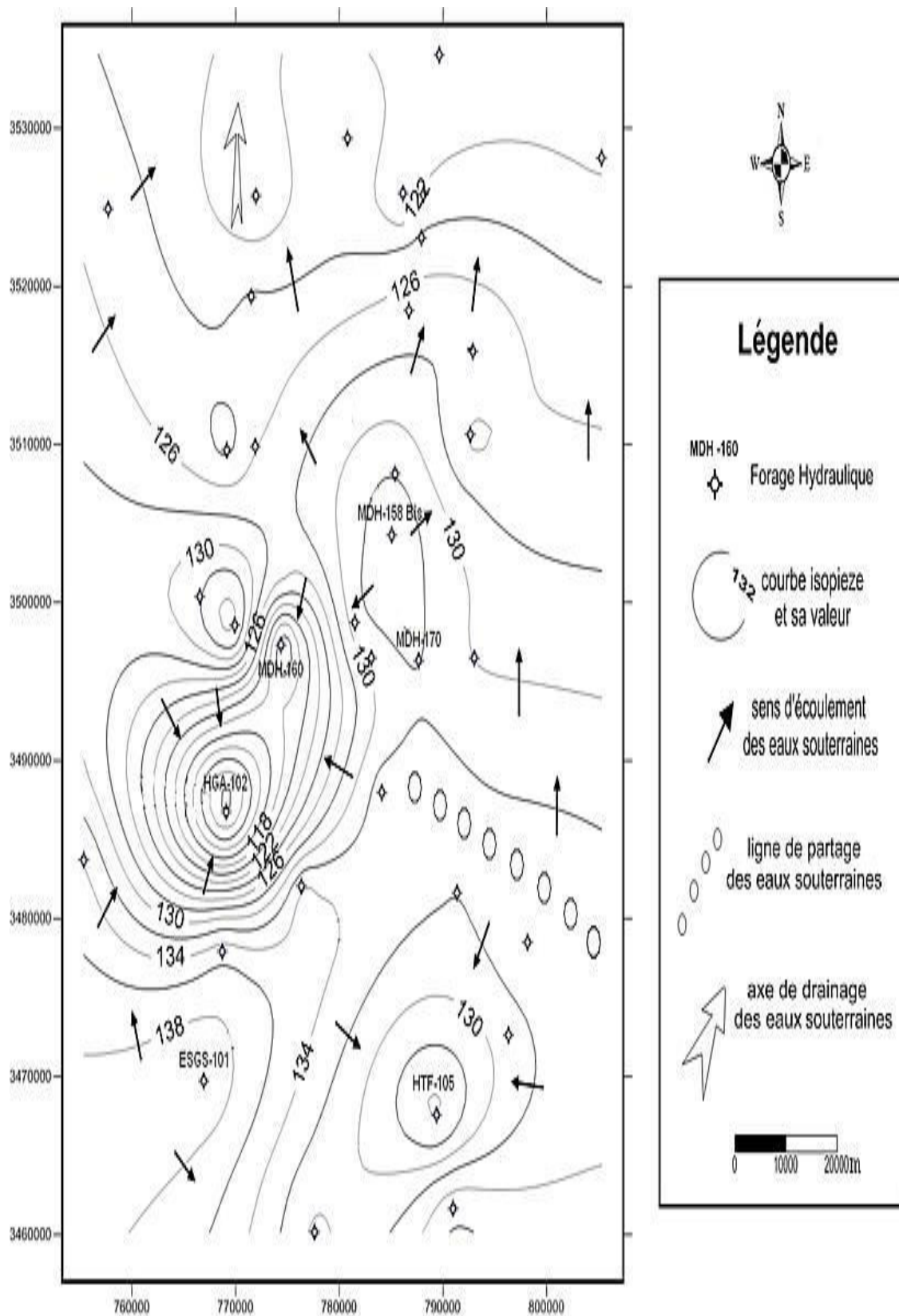


Figure 17 : Carte piézométrique du Complexes Terminal du champ de Hassi Messaoud.

2.2. Aquifère du Continental Intercalaire (CI) :

Les études de CORNET (1964), ERESS (1972b), PALLAS (1978b), GEOMATH (1994), ont ainsi été mises à contribution pour l'élaboration de la carte piézométrique du Continental intercalaire (fig. 18). Cette carte définit les écoulements de la nappe du Continental Intercalaire à l'état « naturel », peu ou pas influencé par les pompages. L'examen de cette carte met en évidence les zones d'alimentation, indiquées par les directions d'écoulement. Il s'agit :

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

L'essentiel de ces réserves aquifères correspond à de l'eau infiltrée au cours des périodes pluvieuses du Quaternaire. Toutefois, une recharge actuelle, estimée globalement à 400 hm³/an, s'effectue :

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

L'écoulement de cette nappe se produit :

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

l'écoulement dans les sous-bassins occidental et oriental en ces deux directions distinctes précitées (N-S et S-N).

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

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

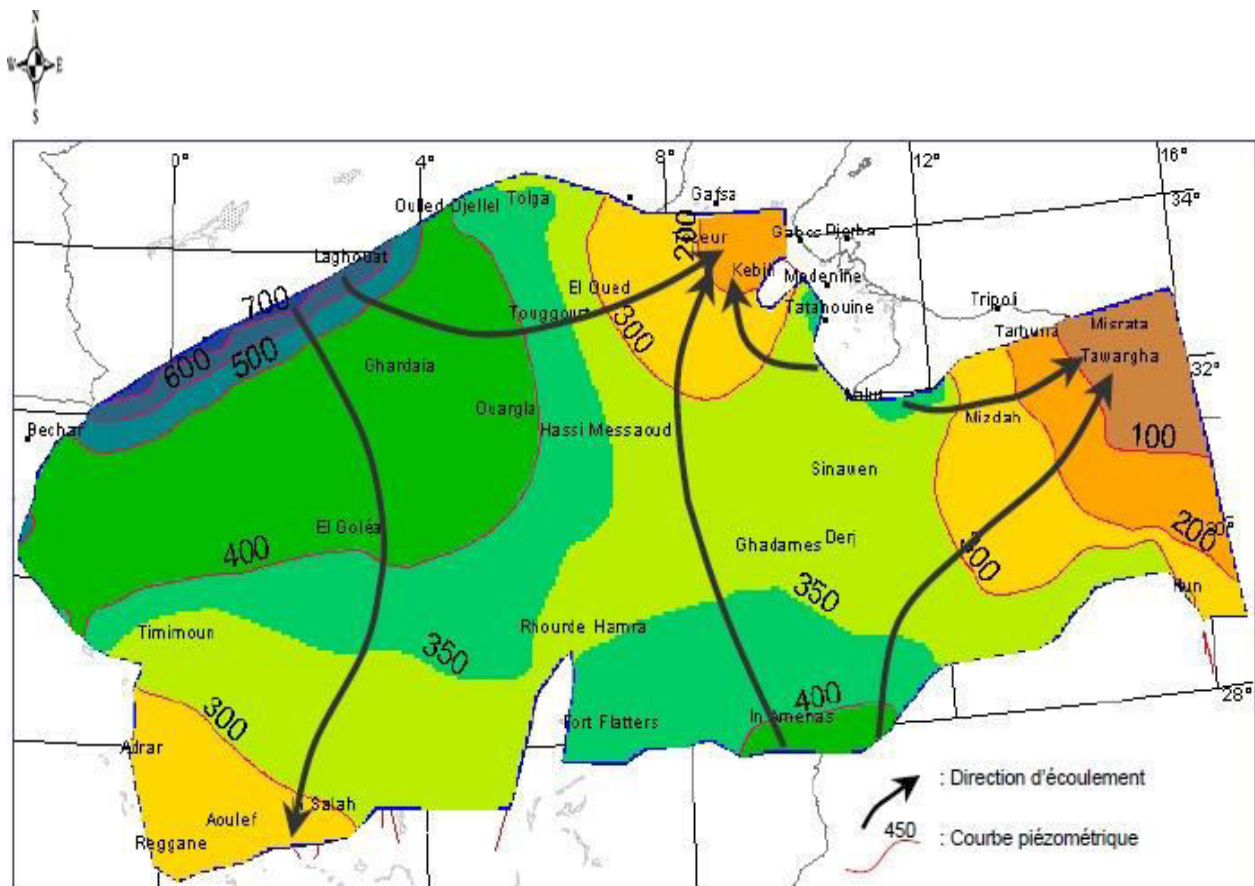


Figure 18 : Carte piézométrique de référence du Continental Intercalaire.

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

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

3. CONCLUSION.

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

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

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

Partie 03



Qualité des ressources hydriques de la région de Hassi Messaoud

Quand l'eau courbe un bâton, ma raison le redresse

(Jean de la fontaine)

1. INTRODUCTION.

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

Nous avons choisi d'établir une synthèse qualitative à partir des résultats de l'analyse d'échantillons de la nappe du Mio-pliocène, et la nappe de l'albien, on réfère aux normes algériennes de l'eau potable.

Les analyses des échantillons ont été effectuées au niveau du Département Techniques Production (IRARA/EP) (2015), portés sur les éléments suivants : (*CE* (μS), *pH*, *T*[°], *Ca*⁺⁺, *Mg*⁺⁺, *Na*⁺, *K*⁺, *Cl*⁻, *HCO*₃⁻, et *SO*₄⁻²).

2. LES NORMES ALGERIENNES D'EAU POTABLE.

Pour être consommée, l'eau doit répondre à des critères de qualité très stricte fixée par les responsables de la santé. Les normes définissant une eau potable sont variables suivant la législation en vigueur et selon le degré de développement des pays, c'est pour cette raison que les normes des pays développés (les Etats unis, Canada, l'Union Européen etc.) sont plus sévère en comparaison avec les pays en voie de développement (Algérie, Egypte, Tunisie etc.), où les moyens techniques de traitement des eaux sont moins disponibles. L'OMS fixe des normes moins sévères que celles des pays développés. Il existe ainsi près de 63 critères pour une eau propre à la consommation : ces critères, décidés selon le principe de précaution maximale qui permet de protéger les personnes dont la santé est la plus fragile, portent sur plusieurs paramètres fixés avec l'aide de l'U.E. En Algérie, l'article 10 du 26 juillet 2000 fixe la norme algérienne pour l'eau potable (Tab.6).

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

Tableau 6: Normes algériennes pour l'eau minérale naturelle et l'eau de source.

Arrêté du 26 juillet 2000 (JO n° 51/00).

Paramètres	Teneur	Unité
PARAMETRES ORGANOLEPTIQUES		
Couleur	25	mg/l
Odeur	Doit être accessible	Taux de dilution
Turbidité	1 - 2	NTU
Saveur	Doit être accessible	Taux de dilution
PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES		
Température	25	°C
pH	6.5 - 8.5	-
Conductivité électrique	2 800	μS.cm ⁻¹
Résidu sec (110 °C)	2 000	mg/l
Calcium	75 - 200	mg/l
Magnésium	150	mg/l
Sodium	200	mg/l
Potassium	20	mg/l
Chlorures	200 - 500	mg/l
Sulfates	200 - 400	mg/l
Carbonates - bicarbonates	-	-
SUBSTANCES INDESIRABLES		
Aluminium	0.2	mg/l
Nitrates	50	mg/l
Nitrites	0.1	mg/l
Ammonium	0.05 - 0.5	mg/l
Phosphates	0.5	mg/l
MO (permanganate)	3.5	mg/l
Bore	0.3	mg/l
Fer	0.3	mg/l
Cuivre	0.05 - 1.5	mg/l
Zinc	1 - 5	mg/l
Manganèse	0.5	mg/l
Baryum	0.7	mg/l
Phénols	-	-
Fluorures	0.8 - 2	mg/l
Argent	-	-
COT	-	-
Azote Kjeldahl	2	mg/l
SUBSTANCES TOXIQUES		
Arsenic	0.05	mg/l
Cadmium	0.01	mg/l
Cyanure	0.05	mg/l
Mercure	0.001	mg/l
Plomb	0.05	mg/l
Chrome	0.05	mg/l
Nickel	0.02	mg/l
Antimoine	0.005	mg/l
Sélénium	0.01	mg/l

3. QUALITE DES EAUX DE LA NAPPE DU MIO-PLIOCENE.

3.1. Facies chimiques des eaux de la nappe du Mio-Pliocène :

La projection des différents points sur le diagramme (Piper), nous donne une vue d'ensemble sur la répartition spatiale des faciès géochimiques au niveau de la nappe du Mio-Pliocène. Pour les analyses chimiques effectuées sur les 17 forages captant le CT en 2015. Il apparait que le faciès le plus dominant est chloruré sodique (94 % des échantillons) et à un degré moindre le faciès sulfaté sodique (6 % des échantillons). (Fig.19).

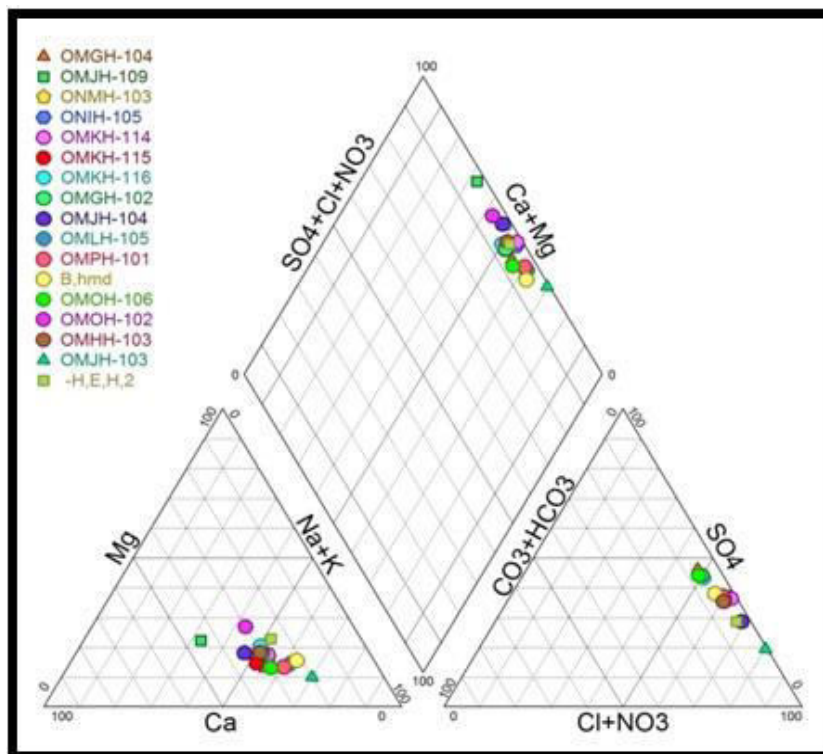


Figure 19: Le diagramme de Piper des eaux de la nappe CT (2015).

3.2. Potabilité des eaux vis-à-vis aux paramètres physico-chimiques : (Fig. 20) ;

3.2.1. Température de l'eau :

La température de l'eau varie en fonction de la température extérieure (l'air), des saisons, de la nature géologique et de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol. Le gradient de température géothermale est de 3°C par 1 kilomètre. Cela signifie que les eaux souterraines sont d'autant plus chaudes qu'elles sont profondes.

Les températures de l'eau de la nappe du Mio-Pliocène (CT) sont fortement influencées par la profondeur de l'eau sous le sol.

Les températures de l'eau de la nappe (CT) sont fortement influencées par la profondeur de l'eau sous le sol. La valeur maximale est de l'ordre de 33°C dans le point de mesure OMJH-104, alors que la valeur minimale est d'ordre de 27°C, mesurée dans le forage Base de vie HMD, OMLH-105, et OMOH-102. Toutes les mesures dépassent la norme algérienne de l'eau potable (25°C).

3.2.2. Le potentiel d'hydrogène (pH) :

Pour les eaux de la nappe du Mio-Pliocène, le pH varie entre 7,01 et 8,79. Les points de mesure ne dépassent pas la norme algérienne de l'eau potable (6.5 à 8.5), sauf le point OMJH-103 (pH=8,79).

3.2.3. La conductivité électrique (CE) :

La conductivité traduit la minéralisation totale de l'eau, sa valeur varie en fonction de la température. On peut classer la minéralisation d'une eau à partir de la conductivité.

- 50 à 400 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) : qualité excellente.
- 400 à 700 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) : bonne qualité.
- 750 à 1 500 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) : qualité médiocre.
- $\geq 1 500$ ($\mu\text{S}/\text{cm}$) : forte minéralisation.

La conductivité mesurée varie de 2320 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aux puits OMGH-104 à 6350 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au puits ONIH-105. Il est à noter que la conductivité augmente en fonction de la salinité et ces deux paramètres sont intimement liés. Les eaux de la nappe du Mio-Pliocène affichent des conductivités électriques très élevées dépassant dans la plus part des cas la norme algérienne de l'eau potable (2800 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$).

3.2.4. Le Calcium (Ca^{+2}) :

Le calcium est un élément alcalino-terreux, il peut provenir des formations gypsifères ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$) et la dissolution de calcaire (CaCO_3).

La teneur en calcium dans les eaux de la nappe du Mio-Pliocène, dépasse la norme algérienne de l'eau potable (200 mg/l), elle varie entre 160,32 mg/l et 495,39 mg/l, sauf les points Base de vie HMD, OMOH-106, OMKH-116, OMGH-102 ($\text{Ca} = 160,32 - 168 - 179,88 - 180,2$).

3.2.5. Le Magnésium (Mg^{+2}) :

Les eaux de la nappe du (CT) renferment les concentrations de Mg élevées dépassant dans la majorité la norme algérienne de l'eau potable (150mg/l); la teneur maximale est de l'ordre de 168,29 mg/l alors la valeur minimale est de 44mg/l.

3.2.6. Le Sodium (Na⁺) :

Le sodium est le sixième élément le plus abondant dans la croûte terrestre, il représente 2.83% sous toutes ses formes. Il provient essentiellement de la dissolution de l'Halite. Le sodium est nécessaire pour le fonctionnement des muscles et des nerfs.

Les eaux de la nappe du Mio-Pliocène renferment les concentrations de sodium très élevées dépassant la norme algérienne de l'eau potable (200mg/l) ; la teneur maximale est de l'ordre de 1103 mg/l mesurée au point OMJH-103 alors que la valeur minimale est de 337 mg/l mesurée dans le puits OMKH-116.

3.2.7. Le Potassium (K⁺) :

Le potassium est un élément chimique, sa réaction avec l'eau est d'ailleurs bien plus forte que celle du sodium. Dans la zone d'étude on le retrouve dans les évaporites comme le Sylvite et les produits chimiques utilisés en agriculture (le sulfate de potassium).

Tous les puits, renferment les concentrations de potassium dépassant la norme algérienne de l'eau potable (20mg/l); la teneur maximale est de l'ordre de 47 mg/l alors la valeur minimale est de 22,8 mg/l.

3.2.8. Les Chlorures (Cl⁻) :

L'ion chlorure existe toujours dans les eaux naturelles à des concentrations très variable. C'est un traceur conservatif dans les environnements naturels, car il ne participe pas aux réactions d'oxydo-réduction et il ne forme pas de précipité insoluble. Son origine probable dans la zone d'étude est liée principalement à la dissolution des formations salifères (NaCl) et au lessivage des amendements agricoles riche en chlorure tel que les chlorures de potassium.

La concentration de cet élément chimique présente des teneurs variables et souvent très fortes varient entre 495mg/l dans le puits OMOH-106 et 2046mg/l dans OMJH-103.

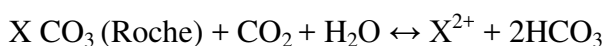
Sauf le puits OMOH-106 tous les points de mesure dépassent la norme algérienne de l'eau potable qu'est 500 mg/l.

3.2.9. Sulfates (SO₄²⁻) :

Les sulfates sont toujours présents dans les eaux naturelles, leur présence provient soit d'une légère solubilité des sulfates de calcium (CaSO₄) des formations gypseuses, soit du lessivage des terrains argileux est marneux, la teneur admissible des sulfates dans l'eau est de 400 mg/l, les analyses des eaux obtenues montrent la forte concentration des sulfates dans ces eaux dépassant les normes, leurs valeurs varient entre 1480 à dans le puits ONIH-105 et 620 mg/l dans OMKH-116.

3.2.10. Bicarbonates (HCO₃⁻) :

Ce sont les résultats de l'équilibre calco-carbonique de l'eau et le gaz carbonique selon l'équation :



Ils proviennent de la dissolution des roches carbonatées dans l'eau, en fonction de la teneur en CO₂ 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 ONIH-105 avec une teneur de 128,16 mg/l, alors que la valeur minimale est d'ordre de 27mg/l dans le puits OMJH-103. Les points de mesure ne dépassent pas la valeur guide de l'OMS pour l'eau de boisson (300 mg/l).

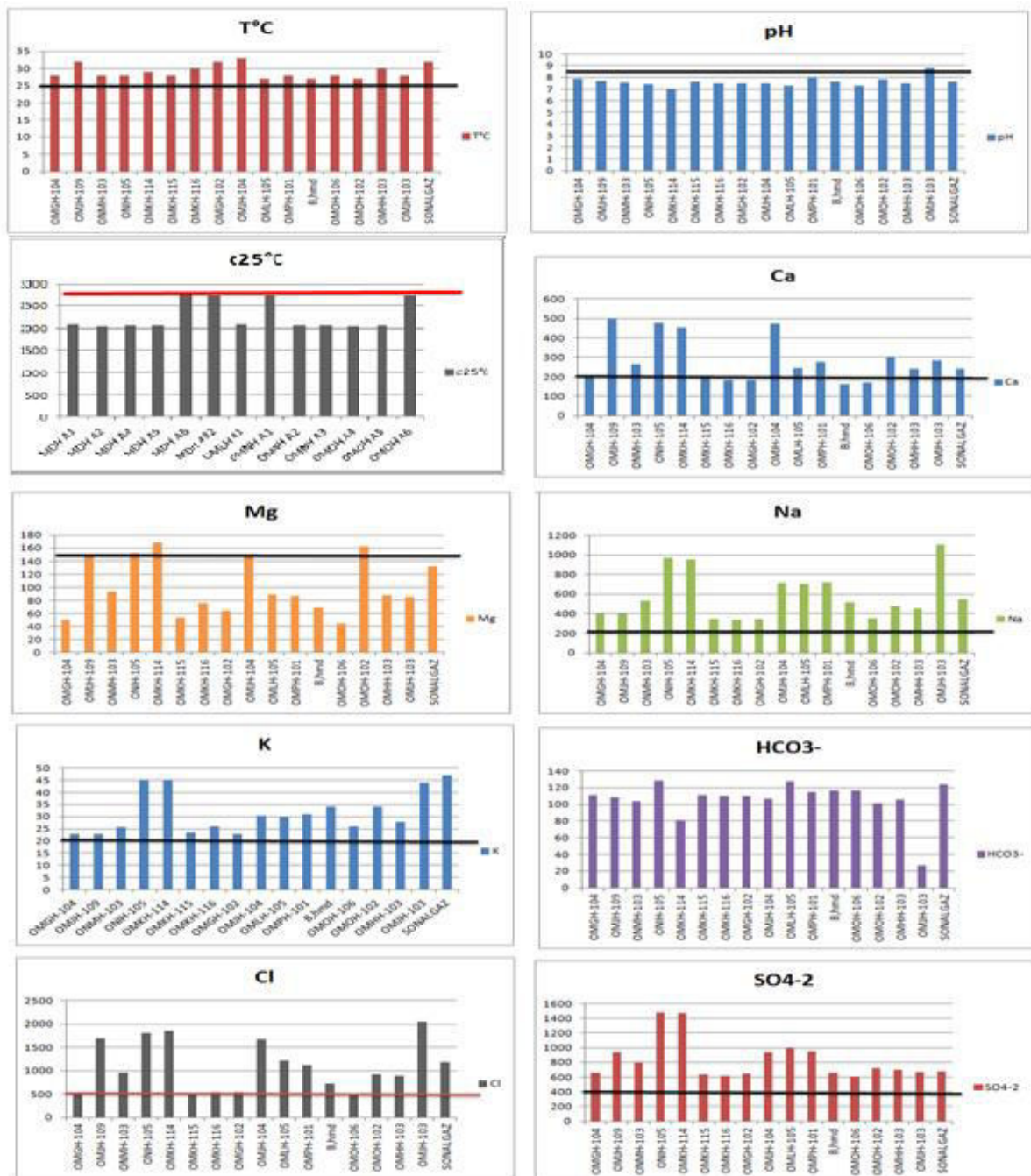


Figure 20 : les paramètres physico-chimiques des eaux de la nappe du Mio-Pliocène de Hassi Messaoud 2015.

3.3. Qualité des eaux pour usage agricole :

Les sels minéraux contenus dans l'eau en quantités ont des effets néfastes sur le sol et les plantes. Ils peuvent perturber le développement des plantes, agissent sur le processus osmotique, en causant des réactions métaboliques, ils causent également des changements dans la structure du sol (sur sa perméabilité et son aération), affectant directement le développement de la plante (Person, 1978; Sedrati, 2011). Donc il est impératif dans ce cas d'étudier les paramètres définissant les eaux destinées à l'irrigation, tel que:

- la concentration totale du sel dissous dans l'eau.
- la concentration réelle de Na^+ par rapport aux autres cations.
- la concentration des éléments toxiques.
- dans certains cas la concentration de HCO_3^- par rapport au Ca^{+2} et Mg^{+2} .

3.3.1. Conductivité :

Les sels contenus dans les eaux d'irrigation, s'accumulent dans la zone racinaire après que la plante ait prélevé l'eau. Ces sels s'épaississent et limitent la disponibilité de l'eau dans le sol pour la culture. Pour éviter ce risque, on doit déterminer la valeur de la conductivité et la classer suivant les valeurs seuils suivantes :

- inférieure à $250 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ l'eau ne présente aucun risque.
- varie entre 250 et $750 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ l'eau peut être utilisée que s'il y a de drainage.
- supérieure à $2250 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ l'eau est considérée impropre à l'irrigation.

Les eaux de la nappe du (CT) (Fig.21) affichent des conductivités supérieures à $2250 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, donc cette ils sont impropre à l'irrigation.

3.3.2. La méthode de Richards :

Le SAR : est un indice qui évalue le danger que présente l'existence d'une teneur donnée en sodium; il est calculé par l'équation :

$$SAR = \frac{\text{Na}^+}{(\text{Mg}^{++} + \text{Ca}^{++})^{1/2}}$$

- SAR: Sodium Adsorption Ratio.
- Na^+ , Ca^{+2} , et Mg^{+2} représentent les concentrations en mg/l, les valeurs de SAR ont été calculées à partir des données des analyses chimiques.

La méthode de Richards (1954) est basée sur la combinaison des deux méthodes: du SAR et de la conductivité électrique.

Les résultats de la classification de la qualité chimique des eaux de la nappe du Mio-Pliocène (CT) d'après le diagramme de Richards, montre que nos échantillons s'arrangent selon 2 classes:

a. *eaux médiocres* (C_4S_2): les eaux faisant partie de cette classe sont fortement chargées en sels. Elles sont susceptibles de convenir à l'irrigation des plantes tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.

b. *eaux mauvaises* (C_4S_3): les eaux qui font partie de cette classe ne conviennent pas à l'irrigation, Leur utilisation pour l'irrigation doit être soumise certaines conditions: sols très perméables, bon lessivage, plantes très tolérantes au sel.

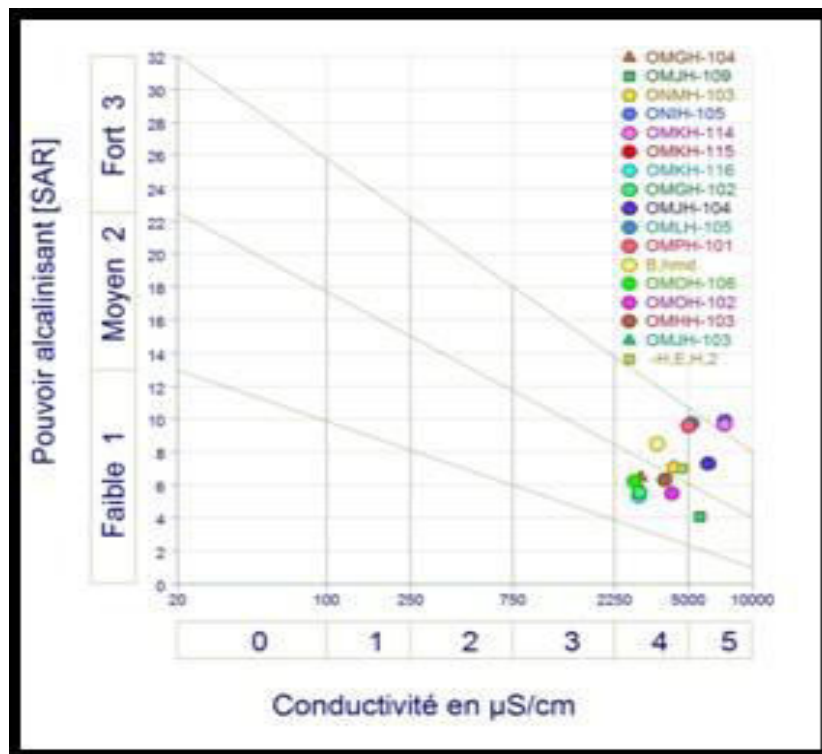


Figure 21: Le diagramme de Richards des eaux de la nappe du Mio-Pliocène (CT).

4. QUALITE DES EAUX DE LA NAPPE CONTINENTAL INTERCALAIRE (CI).

4.1. Facies chimiques des eaux de la nappe de CI :

La projection des différents points sur le diagramme Piper, nous donne une vue d'ensemble sur la répartition spatiale des faciès géochimiques au niveau de la nappe du CI. Les analyses chimiques effectuées sur les 13 forages captant le CI dans la zone d'étude en 2015 montrent que tous les forages présentant un faciès chimique chloruré calcique (Fig.22).

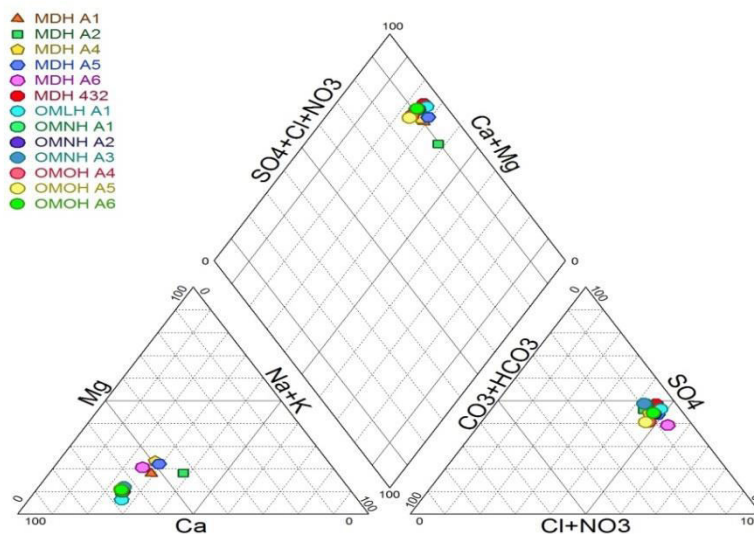


Figure 22: Le diagramme de Piper des eaux de la nappe CI (2015).

4.2. Potabilité des eaux vis-à-vis aux paramètres physico-chimiques : (Fig.23).

4.2.1. Température de l'eau :

La température de l'eau varie en fonction de la température extérieure (l'air), des saisons, de la nature géologique et de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol. Le gradient de température géothermale est de 3°C par 1 kilomètre. Cela signifie que les eaux souterraines sont d'autant plus chaudes qu'elles sont profondes.

Les températures de l'eau de la nappe (CI) sont fortement influencées par la profondeur de l'eau sous le sol. La valeur maximale est de l'ordre de 47°C dans le point de mesure MDH 432 et, alors que la valeur minimale est d'ordre de 22°C, mesurée dans le forage MDH A4, MDH A5. Toutes les mesures dépassent la norme algérienne de l'eau potable (25°C).

4.2. 2. Le potentiel d'hydrogène (pH) :

Pour les eaux de la nappe de CI, le pH varie entre 7,1 et 7,8. Les points de mesure ne dépassent pas la norme algérienne de l'eau potable (6.5 à 8.5).

4.2.3. La conductivité électrique (CE) :

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface, et séparé l'une de l'autre de 1 cm, exprimés en $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

La conductivité traduit la minéralisation totale de l'eau, sa valeur varie en fonction de la température. On peut classer la minéralisation d'une eau à partir de la conductivité.

- 50 à 400 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) : qualité excellente.

- 400 à 700 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) : bonne qualité.
- 750 à 1 500 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) : qualité médiocre.
- $\geq 1 500$ ($\mu\text{S}/\text{cm}$) : forte minéralisation.

La conductivité électrique exprime la salinité de l'eau, son élévation traduit une salinité élevée et inversement. Pour la nappe de CI, la conductivité varie de 2050 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aux puits MDH A2 à 2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au puits MDH A6. Alor ce paramètre ne dépasse pas la norme algérienne de l'eau potable (2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

4.2.4. Calcium (Ca^{2+}) :

Le calcium provient de la dissolution des roches carbonatées due à la présence de gaz carbonique dans l'eau qui s'infiltré à travers ces formations. Le calcium peut aussi provenir des terrains gypseux (CaSO_4). La teneur minimale est égale à 223 mg/l au puits MDH A2 et celle maximale est de 914mg/l au puits OMLH A1. Ce qu'ils signifient que toutes les mesures dépassent la norme algérienne de l'eau potable (200 mg/l).

4.2.5. Magnésium (Mg^{2+}) :

Le magnésium peut être apporté par la dissolution des dolomies (MgSO_4) dans les terrains gypsifères, où par des formations dolomitiques libérant le magnésium par l'attaque des eaux en présence de gaz carbonique. D'après les résultats des analyses, la valeur minimale est de 52mg/l au puits OMLH A1 et celle maximale est de 79 mg/l au puits MDH A6. Ce qu'ils signifient que toutes les mesures ne dépassent pas la norme algérienne de l'eau potable (150mg/l).

4.2.6. Sodium (Na^+) :

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 minimale est de 116 mg/l au puits MDH A4 tandis que le maximal est de 360 mg/l au puits OMLH A1. Tous les puits renferment les concentrations de sodium dépassant la norme algérienne de l'eau potable (200mg/l), sauf deux puits (MDH A4 et MDH A2).

4.2.7. Potassium (K^+) :

Pour le potassium, il est beaucoup moins abondant que le sodium sa valeur minimale est relevée du puits OMOH A4 de 28mg/l et la maximale est de 99mg/l au puits OMLH A1. Tous les puits renferment les concentrations de potassium dépassant la norme algérienne de l'eau potable (20mg/l).

4.2.8. Chlorures (Cl⁻) :

Les chlorures rencontrés en grande quantité dans les eaux souterraines, proviennent de la dissolution et lessivage des terrains salifères et le rejet des eaux d'origine industrielle (accidentelle). Les valeurs mesurées sont nettement supérieures à la norme algérienne de l'eau potable (500mg/l), Sauf le puits MDH A2. La valeur maximale est de l'ordre de 737mg/l est relevée dans le puits MDH A6, la minimale est relevée dans le puits MDH A4 avec une valeur de 503 mg/l.

4.2. 9. Sulfates (SO₄²⁻) :

Les sulfates sont toujours présents dans les eaux naturelles, leur présence provient soit d'une légère solubilité des sulfates de calcium (CaSO₄-2) des formations gypseuses, soit du lessivage des terrains argileux et marneux, la teneur admissible des sulfates dans l'eau est de 400 mg/l, les analyses des eaux obtenues montrent la forte concentration des sulfates dans ces eaux dépassant les normes, leurs valeurs varient entre 611 à 1031mg/l.

4.2. 10. Bicarbonates (HCO₃⁻) :

Les analyses des eaux ont montré que la valeur maximale est atteinte dans le puits OMOHA5 avec une teneur de 299 mg/l, alors que la valeur minimale est d'ordre de 134,2 mg/l dans le puits MDH 432. Elles ne dépassent pas donc la norme de l'OMS pour l'eau potable.

4.3. Qualité des eaux pour usage agricole :

4.3.1. Conductivité :

Les sels contenus dans les eaux d'irrigation, s'accumulent dans la zone racinaire après que la plante ait prélevé l'eau. Ces sels s'épaississent et limitent la disponibilité de l'eau dans le sol pour la culture. Pour éviter ce risque, on doit déterminer la valeur de la conductivité et la classer suivant les valeurs seuils suivantes :

- inférieure à 250 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ l'eau ne présente aucun risque.
- varie entre 250 et 750 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ l'eau peut être utilisée que s'il y a de drainage.
- supérieure à 2250 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ l'eau est considérée impropre à l'irrigation.

Les eaux de la nappe du (CI) (Fig.) affichent des conductivités supérieures à 2250 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, donc elles sont impropre à l'irrigation.



Figure 23 : les paramètres physico-chimiques des eaux de CI de Hassi Messaoud (2015).

4.3.2. La méthode de Richards :

Le SAR : est un indice qui évalue le danger que présente l'existence d'une teneur donnée en

sodium; il est calculé par l'équation :
$$SAR = \frac{Na^+}{(Mg^{++} + Ca^{++})^{1/2}}$$

- SAR: Sodium Adsorption Ratio.
- Na^+ , Ca^{+2} , et Mg^{+2} représentent les concentrations en mg/l, les valeurs de SAR ont été calculées à partir des données des analyses chimiques.

La méthode de Richards (1954) est basée sur la combinaison des deux méthodes: du SAR et de la conductivité électrique.

Les résultats de la classification de la qualité chimique des eaux de la nappe du Mio-Pliocène (CI) d'après le diagramme de Richards(Fig.24). Montre que nos échantillons s'arrangent selon 2 classes:

a. eaux médiocres (C_4S_1): elles représentent les eaux médiocres fortement minéralisées, susceptibles de convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés et lessivés.

a. eaux Admissibles (C_3S_1): En général, il s'agit d'une eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes au sel, sur des sols bien drainés. Cependant, l'évolution de la salinité doit être contrôlée.

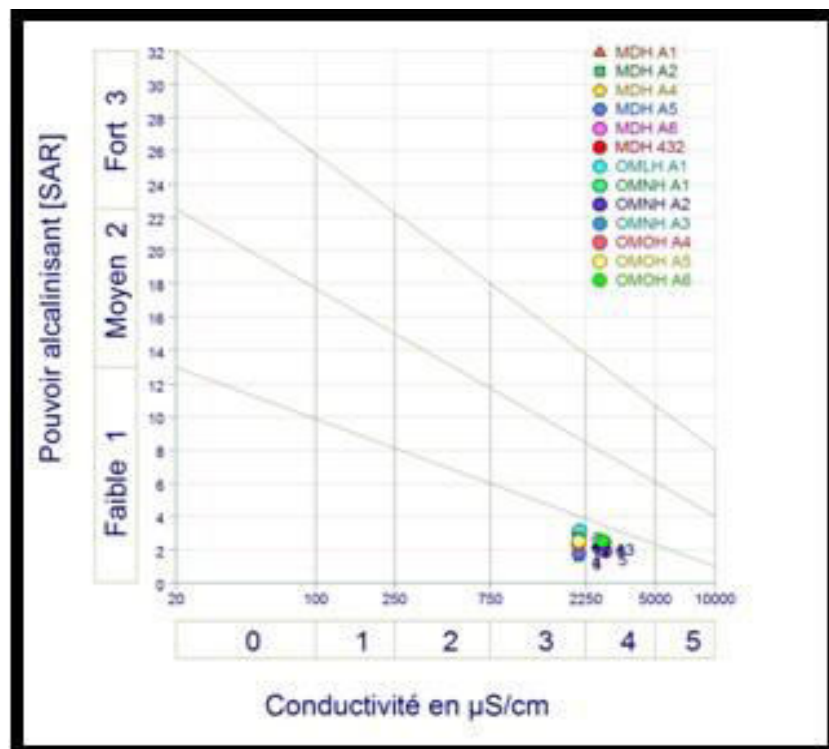


Figure 24: Le diagramme de Richards des eaux de la nappe CI.

5. CONCLUSION.

L'interprétation des analyses chimiques des eaux de la nappe de (CT et CI), montre la dominance des faciès évaporitiques (sulfaté calcique, sulfaté sodique, chloruré sodique et chloruré calcique).

L'étude de la qualité des eaux souterraines de la nappe de Mio-pliocène et de continentale intercalaire de Hassi Messaoud montre que ces eaux sont non-potables d'après les normes de l'OMS et les normes algériennes des eaux potables, car elles sont très dures et présentent une minéralisation élevée due au lessivage des formations géologiques telles que les calcaires, dolomie et gypse. Elles nécessitent un traitement avant l'utilisation. Ils sont aussi de qualité médiocre à mauvaise pour l'irrigation,

Les eaux de l'aquifères de complexe terminal sont de qualité médiocre à mauvaise pour l'irrigation, ils se trouvent dans les classes de C_4S_2 et de C_4S_3 dans le diagramme de Richards. Pour les eaux Continental Intercalaire, elles se trouvent dans les classes de C_3S_1 et de C_4S_1 dans le diagramme de Richards, qui désignant des eaux de qualité admissible à médiocre pour l'irrigation.

CONCLUSION GENERALE

La région de Hassi Messaoud située à environ 650 km SE d'Alger, elle appartient au Sahara algérien oriental, cette partie est occupée par le Grand Erg Oriental qui est une vaste étendue de dunes de sables de couleur beige clair, dépassant 200 m d'altitude. Elle compte une population de 53 000 habitants, avec une activité principale tournée vers l'exploitation des gisements de pétrole. La zone d'étude est caractérisée par un climat hyper-aride avec un hiver doux, la quantité d'eau précipitée sera vite évaporée parce à cause de la forte évapotranspiration potentiel (ETP). Le bilan hydrique de la région de Hassi Messaoud montre que la recharge par la pluie efficace est négligeable.

La série stratigraphique repose sur un socle à environ 4393 m d'épaisseur. Cette série est incomplète, elle est marquée par l'absence du Silurien, Dévonien, Carbonifère et Permien. La discordance hercynienne se manifeste plus accentuer au centre de la structure, où les dépôts argilo-gréseux et salifères du Trias reposent directement sur le Cambrien. En allant vers la périphérie, cette discordance tronque des termes ordoviciens de plus en plus récents.

L'étude hydrogéologique de la région HMD a montré l'existence de deux aquifère ; l'aquifère du Complexe Terminal, présenté dans la région par la nappe de Mio-pliocène la plus exploitée, son niveau statique varie de 25 à 32 m et l'aquifère de continental Intercalaire constitue de sable et de grès à quelque passées calcaires. Les forages captant essentiellement la formation de l'albien qui se trouvent à une profondeur d'environ 1000m, ils sont fortement artésiens qui peuvent dépasser 200m, l'écoulement général se faisant toujours vers le SE.

L'interprétation des analyses chimiques des eaux de CT et CI, montre la dominance des faciès évaporitiques (sulfaté calcique, sulfaté sodique, chloruré sodique et chloruré calcique). L'étude de la qualité des eaux souterraines de la nappe de Mio-pliocène et de continentale intercalaire de Hassi Messaoud montre que ces eaux sont non-potables en référence aux normes de l'OMS et aux normes algériennes des eaux potables, car elles sont très dures et présentent une minéralisation élevée due au lessivage des formations géologiques telles que les calcaires, dolomie et gypse. Elles nécessitent un traitement avant l'utilisation.

Les eaux de l'aquifères de complexe terminal sont de qualité médiocre à mauvaise pour l'irrigation, ils se trouvent dans les classes de C_4S_2 et de C_4S_3 dans le diagramme de Richards. Pour les eaux Continental Intercalaire, elles se trouvent dans les classes de C_3S_1 et de C_4S_1 dans le diagramme de Richards, qui désignant des eaux de qualité admissible et médiocre pour l'irrigation.

BIBLIOGRAPHIE

ABID SAAD. 2013. l'impact des bourbiers des forages et les unités de production sur la nappe aquifère du complexe terminal dans la region de hassi messaoud.Mémoire de magistère. Unv KM Ouargla. 116p.

Achour, S. 1990. La qualité des eaux du Sahara Septentrional en Algérie. Etude de l'excès en fluor. Tribune de l'eau, Cebedeau, 42 (542), 53-57.

ANRH. (2004). Données sur les Logs stratigraphiques des forages de la Wilaya de Ouargla. Algérie. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques. Direction régionale Sud, Ouargla.

Beicip, F. (1979) : Zone périphérique du champ de Hassi Messaoud, réservoir cambro-ordovicien. Rapport Interne CRD Sonatrach, 21p.

Bel. F., et Demargne F. 1966 : Etude géologique du Continental Terminal ; DEC, ANRH, Alger, Algérie, 24 planches, 22p.

BELLAOUEUR ABD EL-AZIZ, (2008)," Etude hydrogéologique des eaux souterraines de la de Ouargla soumises à la remontée des eaux de la nappe phréatique et perspectives de palliatives (Sahara Nord-est Septentrional –Algérie) ", Mémoire Magistère, Université de Batna, 50p.

Besbes, M. et Jarraya, H.F. 2007. Définition d'un réseau de surveillance piézométrique du système aquifère du Sahara septentrional. Sécheresse 2007 ; 18 (1) : 13-22.

BUSSON, G. 1967. Le Mésozoïque saharien. 1ère partie : L'Extrême Sud-tunisien. Edit., Paris, « Centre Rech. Zones Arides », Géol., 8, 194 p. Ed. C.N.R.S.

Busson, G. 1970 : Le Mésozoïque saharien. 2ème partie : Essai de synthèse des données des sondages algéro-tunisiens. Edit., Paris, « Centre Rech. Zones Arides », Géol., 11, 811p. Ed. C.N.R.S.

Busson, G. 1971. Principes, méthodes et résultats d'une étude stratigraphique du Mésozoïque saharien. Edit., Paris, 464p.

CASTANY, G. 1982. Principes et méthodes de l'Hydrogéologie. Dunod Edit. Paris, 334p.

Cornet, A. 1964. Introduction à l'hydrogéologie saharienne. Géographie Physique et Géologie Dynamique. Vol.VI. 1964. fascl,pp.5-72.

Djidjel, M. 2008. Pollution minérale et organique des eaux de la nappe superficielle de la cuvette d'Ouargla (Sahara septentrional, Algérie). Th. Doctorat, Univ. d'Annaba, 208 p.

- Emberger, L. 1955.** Une classification biogéographique des climats. Trav. Inst. Bot. Montpellier, 7, 3-43.
- Fabre, J. 1976.** Introduction à la géologie du Sahara d'Algérie et des régions voisines. SNED, Alger, 421p.
- Guendouz A, Moulla A.S, Remini, B, Michelot J.L. 2006.** Hydrochemical and isotopic behaviour of a Saharan phreatic aquifer suffering severe natural and anthropic constraints (case of Oued- Souf region, Algeria). Hydrogeol J 14:955–968.
- KILIAN. C. 1931.** Les principaux complexes continentaux du Sahara. C.R. Soc. Géol. Fr. Paris.
- Nezli Imed Eddine. 2009.** Approche hydrogéochimique a l'étude des aquifères de la basse vallée de l'oued m'ya (Ouargla). th. Doctorat, univ.de Biskra, 143 p.
- OMS. 2002.** "Fluoride in drinking water." Environmental health information section, WHO Headquarters Office in Geneva, 20 Avenue Appia, 12 1 1 Geneva 27, Switzerland.
- OSS (Observatoire Sahara et Sahel). 2003.** Système aquifère du Sahara septentrional: gestion commune d'un bassin transfrontière. Rapport de synthèse. OSS, Tunisie.
- Person. 1978.** Physico-chemical parameters influencing faecal bacterial survival in waste stabilization ponds. Water Science and Technology 1978; 19 (12):145-152.
- Piper, A.M. 1994.** Graphical interpretation of water analysis, Transactions of the American Geophysical Union. 25:914 -928.
- Richard L.A., 1954.** Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agricultural handbook 60. Washington, DC: USDA, 160p.
- Rodier, J. 1980.** Analyse de l'eau 6^{ème} Ed. Dunod. P 218-228.
- RODIER. J. 1984.** L'analyse de l'eau, 7^{ème} édition DUNOD, 1353p.
- Rodier J. 1996.** L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8^{ème} édition Dunod, Paris.
- Scholler, H. 1956.** Géochimie des eaux souterraines : Application aux eaux de gisement de pétrole. Paris, 213p.
- Schoeller, H. 1962.** Les eaux souterraines. Hydrologie dynamique et chimique. Recherche, exploitation et évaluation des ressources Masson et Cie. Editions, 642 pages.

Sedrati, Nassima. (2011). origines et caractéristiques physico-chimiques des eaux de la wilaya de Biskra-sud est algérien. Thèse doctorat. Univ Annaba. 252p.

Shemes, G.P. 1999. Depratment of the Environment and Local Government, E.P.A.a.G.S.o.I. Dublin. Ireland. 24.

Sonatrach. (2008) : Synthèse tectonique de HMD et l'évolution intrusive intra Cambrienne. Rapport interne, Division Forage, 26p.

UNESCO. 1972. Etude des Ressources en Eau de Sahara Septentrional. (7 vols. et

WCCR (Water Contamination Control Regulations), 1991. Official Paper. Ankara, No. 19919.

Wilcox, L.V. 1948. "The quality of water for irrigation use". Technical Bulletin 962. Washington, U.S. Department of Agriculture, 40p.

World Health Organisation (WHO). 2006. Guidelines for Drinking-water Quality. Recommendations, 3rd edition, vol. 1. WHO, ISBN 92 4 154696 4, 595 pp.

Figure	Liste des figures	Pages
Figure n°1:	Carte de situation géographique de Hassi Messaoud	03
Figure n°2:	Carte des sous bassins versants du Sahara algérien (ARNH)	03
Figure n°3:	Occupation du sol dans la région Hassi Messaoud	06
Figure n°4:	Histogramme de répartition mensuelle des pluies de Hassi Messaoud(2002/2014)	07
Figure n°5:	Histogramme des températures moyennes mensuelles de Hassi Messaoud	08
Figure n°6:	Histogramme moyenne mensuelles de Hassi Messaoud (2002/2014)	08
Figure n°7:	Diagramme d'Emberger de Hassi Messaoud (2002/2014)	09
Figure n°8:	Histogramme d'évaporation mensuelle de Hassi Messaoud (2000/2012)	10
Figure n°9:	Cartes géologiques de l'Algérie (OSS 2003)	12
Figure n°10:	Coupe géostructurale transversale régionale du Sahara (WEC, 2007)	13
Figure n°11:	Coupe lithostratigraphique du champ de Hassi Messaoud < Document Sonatrach>	15
Figure n°12:	Coupe géologique Est–Ouest de la structure de Hassi Messaoud	16
Figure n°13:	Extension de Système Aquifère du Sahara Septentrional «SASS» (OSS, 2003)	18
Figure n°14:	Carte géologique du Sahara (OSS 2003)	20
Figure n°15:	Coupe hydrogéologique des aquifères du Sahara septentrionale (UNESCO 1972)	24
Figure n°16:	Carte piézométrique de référence du Complexe Terminal (OSS, 2003)	28
Figure n°17:	Carte piézométrique du Complexes Terminal du champ de Hassi Messaoud	30
Figure n°18:	Carte piézométrique de référence du Continental Intercalaire	32
Figure n°19:	Le diagramme de Piper des eaux de la nappe.CT (2015)	36
Figure n°20:	Les paramètres physico-chimiques des eaux de la nappe du Mio-Pliocène de Hassi Messaoud (2015)	39
Figure n°21:	Le diagramme de Richards des eaux de la nappe du Mio-Pliocène. (CT)	41
Figure n°22:	Le diagramme de Piper des eaux de la nappe.CI (2015)	42
Figure n°23:	Les paramètres physico-chimiques des eaux de CI de Hassi Messaoud (2015)	45
Figure n°24:	Le diagramme de Richards des eaux de la nappe.CI	46

Tableau	liste des tableaux	Pages
Tableau n°1:	Précipitations moyenne mensuelles de Hassi Messaoud (2002/2014).....	07
Tableau n°2:	Température moyenne mensuelle de Hassi Messaoud (2002/2014).....	07
Tableau n°3:	Insolation moyenne mensuelles de Hassi Messaoud (2002/2014).....	08
Tableau n°4:	Evaporation moyenne mensuelle de Hassi Messaoud, période : (2000-2012).....	10
Tableau n°5:	Bilan hydrologique de Thorntwaite de Hassi Messaoud (2002/2014).....	11
Tableau n°6:	<i>Normes algériennes pour l'eau minérale naturelle et l'eau de source. Arrêté du 26 juillet 2000 (JO n° 51/00).....</i>	35

RESUME

La région de Hassi Messaoud située à environ 650 km Sud-est d'Alger, L'étude hydrogéologique de la région de Hassi Messaoud a montré l'existence de deux aquifère ; L'aquifère du Complexe Terminal, et l'aquifère de continental Intercalaire. L'interprétation des analyses chimiques des eaux de la nappe de la nappe de (CT et CI), montre la dominance des faciès évaporitiques, La qualité des eaux souterraines de la nappe de Mio-pliocène et de continentale intercalaire de Hassi Messaoud sont non-potables en référence aux normes de l'OMS et aux normes algériennes des eaux potables, car elles sont très dures et présentent une minéralisation élevée.

Les eaux de l'aquifères de complexe terminal sont de qualité médiocre à mauvaise pour l'irrigation, Alor que les eaux de CI sont de qualité admissible et médiocre pour l'irrigation.

Mots clés: Complexe Terminal, Continental Intercalaire, norme algérienne d'eau potable, diagramme de Richard.

Abstract

The Hassi Messaoud region located about 650 km south-east of Algiers, The hydrological study of the region of Hassi Messaoud show the existence of two aquifer; The aquifer of the Terminal Complex, and aquifer continental Intercalaire. The interpretation of chemical analyzes of water from the web of the web (CT and CI) shows the dominance of evaporite facies, The groundwater quality of the sheet of Mio-Pliocene and infill continental Hassi Messaoud shows that this water is not drinkable in reference to WHO standards and Algerian standards of drinking water, since they are very hard and have high mineralization. The waters of the terminal complex aquifers are in bad poor quality for irrigation, Alor that CI waters are permissible and poor quality for irrigation.

Keywords: Terminal Complex, Continental Intercalary, Algerian standard of drinking water, Richard diagram.

ملخص

منطقة حاسي مسعود تقع على بعد حوالي 650 كلم جنوب شرق الجزائر العاصمة، أظهرت الدراسة الهيدروجيولوجية للمنطقة حاسي مسعود وجود اثنين من طبقة المياه الجوفية ; طبقة المياه الجوفية من مجمع المحطة الطرفية، والمياه الجوفية من الطبقة التحليل الكيميائي لمياه الطبقتين بينت إن الصخور الحاوية للمياه. هي صخور تبخريه، مع دراسة نوعية المياه لطبقتين ; لطبقة الميو بليوسان، وكذا الالبية الغير قابلة للشرب حسب معايير المنظمة العالمية للشرب « OMS ». وحسب المعايير الجزائرية ; لأنها مياه حاوية لعدد من المعادن.

طبقات المياه الجوفية من مجمع المحطة الطرفية، هي ذات نوعية ضعيفة إلى رديئة للري، وأما بالنسبة لطبقة الالبية، هي ذات نوعية مقبولة إلى متوسطة للري.

مفتاح: المنطقة المياه الجوفية لميو بليوسان- " المحطة الطرفية"، المنطقة المياه الجوفية الالبية. معيار جزائري للمياه الشرب في تصنيف رتشر.