

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA -

FACULTE DES HYDROCARBURES, DES ENERGIES RENOUVELABLES ET DES
SCIENCES LA TERRE ET DE L'UNIVERS

Département 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

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE CONTINENTAL INTERCALAIRE DANS LA REGION DE GHARDAIA

Soutenu publiquement par :

BENGUELIA Rabie

HADJ BRAHIM Abla

Devant le jury

Président :	Mr. BELKSIER Mohamed Salah	M.C.B	Univ. Ouargla
Promoteur :	Mr. BOUSELSAL Boualem	M.C.A	Univ. Ouargla
Examineur :	Mr. HOUARI Idir Menad	M.A.A	Univ. Ouargla

Année Universitaire : 2017/2018

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
خَلَقَ الْمَوَدَّعَةَ
وَالْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
خَلَقَ الْمَوَدَّعَةَ
وَالْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
خَلَقَ الْمَوَدَّعَةَ

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail ;

*À mes très chers parents, pour leurs soutiens,
encouragements et sacrifices. Sans eux je n'aurai pas
pu arriver à ce stade, que Allah les garde pour moi ;*

À mes très chers frères

À mes très chères sœurs

À mes amis et collègues : Salim, Laid, Ahmed et Moussa.

À toute ma promotion du Master hydrogéologie 2017- 2018

*À tous les enseignants qui ont contribué à l'aboutissement de ce
Travail ;*

Bousalsal Boualem

Achour Mansour

Et pour Abba & Wiza.

À..... Rabie



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail ;

*A la mémoire de mon père Mohamed que Allah
L'accueille dans son vaste paradis,*

*A ma mère qui a beaucoup sacrifié à mon
bonheur, qui m'a encouragé à terminer mes études et à faire
cette formation à La Master (Hydrogéologie) ;*

*A mes frères, Bouhafes, Boubaker, Yacine, Ahmed, Aissa, Omar,
Abderrahmane et Abdelmadjid ;*

A ma nièce Ranya, et mes belles sœurs ;

*A mes amies, Daouya, Halima, Sihem,
Fatima et Amel.*

*A toute la promotion 2017- 2018
du Master hydrogéologie*

*A vous tous, je dédie ce modeste
travail avec Amours et Tendresses.*

✍..... Abla



Remerciements

Au terme de ce travail, il nous est très agréable d'adresser nos vifs remerciements à tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à la réalisation de ce mémoire.

Tout d'abord, nous tenons à exprimer notre gratitude envers Monsieur **BOUSALSAL B.**, Maître de Conférences à l'université de Ouargla, notre promoteur, qui nous a fait confiance et nous a proposé ce sujet et a bien voulu nous encadrer. Nous le remercions de nous avoir fait bénéficier de ses connaissances et de ses critiques qui nous ont beaucoup aidés à l'amélioration de ce travail. Sa méthode rigoureuse sera pour nous un bon exemple à suivre.

Nous tenons à remercier pleinement Monsieur **BELKSIER Med. S.**, chef de département de la faculté des Sciences de la Terre, de nous avoir fait l'honneur de présider ce jury.

Nous tenons également à remercier Monsieur **HOUARI I. M.** chargé de cours à l'université de Ouargla, d'avoir bien voulu examiner notre mémoire.

Nous tenons également à remercier Monsieur **ACHOUR M.**, Chef de secteur de l'A. N. R. H de Ghardaïa, d'avoir mis à notre disposition tous les moyens nécessaires pour le bon déroulement de nos travaux de terrain. Sans sa collaboration, ce travail n'aurait pu se réaliser.

Nous remercions également l'ensemble du personnel de l'A. N. R. H de Ghardaïa et de Ouargla, pour leur collaboration.

Nous tenons aussi à remercier l'ensemble des enseignants du Département des Sciences de la Terre, en particulier ceux de la filière hydrogéologie, notamment Mme. Hadj Said S., Mr. Djidel M., Mr Zadouri A. et Mr Medjani F. Qui nous ont été d'une aide précieuse.

Résumé :

Dans la région de Ghardaïa l'aquifère du Continental Intercalaire (CI) est considéré comme la seule source disponible pour satisfaire les besoins croissants en alimentation en eau potable, en agriculture et pour l'industrie. Cet aquifère est fortement exploité par un nombre très important de forages, alors que son alimentation est très faible, considéré comme non renouvelable. Ce qui nécessite un suivi et un contrôle périodique de ses prélèvements, de son niveau piézométrique et de sa qualité physico-chimique.

L'objectif de notre étude est de connaître l'état actuel l'aquifère du Continental Intercalaire (CI) dans la région de Ghardaïa, tout en étudiant la piézométrie et la qualité chimique de ces eaux. Les résultats ont montré une chute du niveau piézométrique très importante au niveau des zones urbaines (Ghardaïa, Berriane, Metlili, Zelfana) avec plus de 8 mètres. Les eaux du Continental Intercalaire (CI) sont classées potables selon les normes OMS et algérienne, et de qualité médiocre à admissible pour l'irrigation. La minéralisation de ces eaux est liée principalement à la dissolution des évaporites (gypse et halite en particulier) présentent dans les sables argileux de l'Albien.

Mots clés : Ghardaïa, CI, Piézométrique, exploitation, irrigation.

ملخص

في منطقة غرداية تعتبر طبقة المتداخل القاري المصدر الوحيد المتاح لتلبية الاحتياجات المتزايدة لتزود بالمياه للشرب والزراعة والصناعة. هذا الخزان المائي الجوفي مستغل بكثرة وبعدها كبير من الآبار الارتوازية العميقة، تغذيته ضئيلة جداً، لدى فهي طبقة غير متجددة تتطلب المراقبة والمتابعة الدورية لمستواها البيزومتري وخصائصها الفيزيوكيميائية. الهدف من دراستنا هو معرفة الوضع الحالي لهذه الطبقة بمنطقة غرداية وذلك بدراسة المستوى البيزومتري ومقارنته بوضعية سابقة وكذلك التحليل الكيميائي لمياهه. أظهرت النتائج، انخفاضاً كبيراً في منسوب المستوى البيزومتري خاصة على مستوى المدن (غرداية، بريان، متليلي وزلفانة) بأكثر من 8 أمتار. مياه المتداخل القاري تصنف على أنها صالحة للشرب وفقاً لمعايير منظمة الصحة العالمية والمعايير الجزائرية. كما أنها ذات نوعية متوسطة ومؤهلة للري الزراعي. معادن هذه المياه مرتبطة أساساً بانحلال معادن الملح (الجبس والهاليت خاصة) المتواجدة بكثرة في الرمال الصخرية المكونة لخزان المتداخل القاري.

الكلمات المفتاحية: غرداية، المتداخل القاري، البيزومتري، استغلال، الري.

Summary:

In the Ghardaïa region, the Continental Intercalaire (CI) aquifer is considered to be the only source available to satisfy the growing needs of drinking water supply, agriculture and industry. This aquifer is heavily exploited by a large number of boreholes, while its diet is very low, considered non-renewable. This requires periodic monitoring and control of its piezometric level and its physicochemical quality.

The aim of the study is to know the current status of the aquifer of the Continental Intercalaire (CI), while studying the piezometry and the chemical quality of the water. The results show a very significant fall in the piezometric level in the cities (Ghardaïa, Berriane, Metlili, Zelfana) with more than 8 meters. The waters of the Continental Intercalaire (CI) are classified as drinking according to WHO and Algerian standards. They are of mediocre quality to qualify for irrigation. The mineralization of these waters is mainly related to the dissolution of evaporites (gypsum and halite in particular), present in the sand of the CI.

Key words: Ghardaïa, CI, Piezometric, exploitation, irrigation.

TABLE DES MATIÈRES

Liste des figures	VI
Listes des tableaux	VIII
INTRODUCTION GENERALE	IX
CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA ZONE D'ETUDE	
1. Situation géographique.....	1
2. Géomorphologie de la zone d'étude.....	2
2.1.Les hamadas.....	3
2.2.Les régions ensablées	5
2.3.La Chebka.....	3
3. Contexte socio - économique.....	3
3.1.Population.....	3
3.2.Agriculture.....	3
3.2.1. Production agricole	4
3.2.2. Activités d'élevage et la production animale	4
3.3. L'industrie.....	4
3.3.1. La grande industrie (GI)	5
3.3.2. La petite et moyenne industrie (PMI)	5
4.Occupation du sol dans la région.....	5
5. Contexte hydro-climatologique.....	6
5.1. Station météorologie de la ville de Ghardaïa	6
5.2. La température.....	6
5.3. Les précipitations.....	7
5.3.1. Les précipitations moyennes mensuelles	7
5.3.2.Les précipitations moyennes interannuelles.....	8
5.3.3. Les précipitations moyennes saisonnières	8
5.4. Le vent.....	9
5.5. L'humidité	10
5.6. Courbe Pluvio-thermique.....	10
6. Bilan hydrique de la région de Ghardaïa.....	11
7.Réseau hydrographique de la région.....	12
7.1. Oued Zegrir.....	13
7.2. Oued N'sa.....	13
7.3. Oued M'Zab.....	13
7.4. Oued Metlili.....	14
8. Contexte géologique.....	14
8.1. Cadre géologique régionale.....	14
8.1.1. Formation de l'ère Secondaire	15
8.1.1.1. Trias	15
8.1.1.2. Jurassique inférieur et moyen	15
8.1.1.3. Crétacé inférieur	15
8.1.1.4. Néocomien	15
8.1.1.5. Barrémien	15
8.1.1.6. Aptien	15

8.1.1.7. Albien	16
8.1.1.8. Le Cénomaniens	16
8.1.1.9. Le Turonien	16
8.1.1.10. Sénonien	16
8.1.1.11. Sénonien inférieur lagunaire	16
8.1.1.12. Sénonien supérieur carbonaté	16
8.1.2. Formations de l'ère tertiaire	17
8.1.2.1. L'Eocène	17
8.1.2.2. Eocène inférieur (carbonaté)	17
8.1.2.3. Eocène moyen (évaporitique)	17
8.1.2.4. Le Miopliocène	17
8.1.3. Formation du Quaternaire	17
8.2. Cadre géologique locale	18
8.2.1. Albien	19
8.2.2. Cénomaniens	20
8.2.3. Turonien	20
8.2.4. Sénonien	20
8.2.4.1. Sénonien inférieur	20
8.2.4.2. Sénonien supérieur	20
8.2.5. Miopliocène	20
8.3. Quaternaire	20
Conclusion	21

CHAPITRE II : ETUDE HYDROGEOLOGIQUE

1. Introduction.....	23
2. Définition du système aquifère (SASS).....	23
2.1. Le complexe terminal (CT).....	24
2.1. Le continental intercalaire (CI).....	26
2.1.1. Limites du Continental Intercalaire.....	26
2.1.2. Géométrie du Continental Intercalaire.....	27
2.1.3. Piézométrie et zones d'alimentation du CI.....	27
2.1.4. La réserve du Continental Intercalaire.....	29
2.1.5. Exploitation du Continental Intercalaire	29
3. Le système aquifère local	30
3.1. Les nappes superficielles (phréatiques)	30
3.1.1. La nappe du Sénonien carbonaté	30
3.1.2. La nappe du Turonien	30
3.1.3. Les nappes alluvionnaires	30
3.2. Alimentation des nappes superficielles	30
3.3. Piézométrie des nappes phréatiques	31
3.4. Le Continental Intercalaire dans la région de Ghardaïa	32
3.4.1. Le toit du CI (Albien)	32
3.4.2. Profondeur du CI (albien)	33
3.4.3. Interprétation des coupes lithologies du CI	34
3.4.3.1. Zone d'El-Menia	34
3.4.3.2. Zone de Hassi El-Fhel	35
3.4.3.3. Zone de Ghardaïa	36

3.4.3.4. Zone de Guerrara	37
4. Gestion des ressources hydriques dans la région de Ghardaïa	41
4.1. Inventaire des points d'eau du CI	41
4.2. Exploitation du CI dans la région de Ghardaïa	44
5. Piézométrie du CI dans la région de Ghardaïa	45
5.1. Niveau statique et limite d'artésianisme	45
5.2. Piézométrie du CI de l'année 2010	47
5.3. Piézométrie du CI de l'année 2018	48
5.4. Evolution piézométrique entre l'année 2010 et 2018	49
6. Paramètres hydrodynamiques du CI dans la région de Ghardaïa	50
6. 1. Etude de l'interférence des forages	50
6.2. Essais par paliers	52
6.2.1. Essai sur le forage d'El Menia	52
6.2.2. Essai sur le forage de Ghardaïa	54
6.2.3. Interprétation des essais	56
Conclusion.....	57

CHAPITRE III : ETUDE HYDROCHIMIQUE

1.Introduction.....	59
2.Qualité chimique des eaux des nappes superficielles.....	59
3.Qualité chimique des eaux de la nappe du CI.....	60
3.1. Inventaire des points d'eau échantillonnés	60
3.2. Représentation graphique des analyses chimiques.....	61
3.2.1. Facies chimique	61
3.2.2. Digramme de PIPER.....	63
3.2.3. Diagramme de SCHOELLER BERKALOFF	65
3.3. Etude de la répartition des paramètres physicochimiques des eaux du CI	67
3.3.1. Conductivité électrique	67
3.3.2. Potentiel Hydrogène (pH)	68
3.3.3. Le Calcium (Ca ⁺⁺)	68
3.3.4. Le Magnésium (Mg ⁺²)	69
3.3.5. Le Sodium et le Potassium (Na ⁺ , K ⁺)	69
3.3.6. Les Chlorures (Cl ⁻)	70
3.3.7 Les Bicarbonates (HCO ₃ ⁻)	70
3.3.8. Les Sulfates (SO ₄ ⁻)	71
3.4. Les éléments de pollution	72
3.4.1. Les Nitrates (NO ₃ ⁻)	72
3.4.2. Les Nitrites (NO ₂ ⁻)	72
3.4.3. L'Ammonium (NH ₄ ⁺) et les Phosphates (PO ₄ ⁻)	72
4. Qualité des eaux vis-à-vis à la potabilité	73
5. Aptitude des eaux du CI à l'Irrigation	73
6. Origines de la minéralisation des eaux de continental intercalaire	75
6.1. La matrice de corrélation des éléments chimiques	75
6.2. Etude des rapports caractéristiques	75
6.2.1. Couple Na ⁺ - Cl	75
6.2.2. Couple Ca ⁺² - SO ₄ ²⁻	76
6.2.3. Couple Mg ⁺² - SO ₄ ²⁻	77

6.3. Indice d'échange de base (i.e.b)	77
6.4. L'indice de saturation des eaux de continentale intercalaire	78
Conclusion	80
CONCLUSION GENERALE	
Références bibliographiques	85

LISTE DES FIGURES

Figure n°1	Situation géographique de la zone d'étude	1
Figure n°2	Carte d'occupation du sol du secteur d'étude	5
Figure n°3	Pourcentage d'occupation du sol dans le secteur d'étude	5
Figure n°4	Températures moyennes mensuelles (station de Ghardaïa, 1995-2015)	6
Figure n°5	Hauteurs moyennes mensuelles de la précipitation	7
Figure n°6	Les variations des précipitations moyennes interannuelles (mm)	8
Figure n°7	Répartition des variations des précipitations moyennes saisonnières	9
Figure n°8	Histogramme des vitesses moyennes mensuelles des vents	9
Figure n°9	Courbe des humidités relatives moyennes en (%)	10
Figure n°10	Courbe pluvio-thermique de la station de Ghardaïa	11
Figure n°11	Bassins versants de la région du M'Zab (DUBIEF., 1953)	12
Figure n°12	Bassins versants et hydrographie de la région du M'Zab (ANRH, 2011) ..	13
Figure n°13	Carte géologique du bassin du Sahara (OSS, 2003)	14
Figure n°14	Coupe géologique synthétique du bassin du Sahara (SONATRACH)	18
Figure n°15	Carte géologique de la région de Ghardaïa (Busson 1952)	19
Figure n°16	Carte de la limite du système aquifère SASS (ANRH)	23
Figure n°17	Les formations géologiques et les aquifères du bassin du SASS	24
Figure n°18	Carte piézométrique du Complexe Terminal (OSS, 2003)	25
Figure n°19	Les zones d'affleurement du Continental Intercalaire	27
Figure n°20	Coupe hydrogéologique Sud-Ouest Nord-Est du bassin du SASS	28
Figure n°21	Carte piézométrique du Continental Intercalaire (OSS, 2012)	28
Figure n°22	Carte piézométrique de la nappe phréatique de de l'oued M'Zab	31
Figure n°23	Carte de la variation du toit du CI dans la région de Ghardaïa	32
Figure n°24	Carte de la variation de la profondeur du CI dans la région de Ghardaïa ...	33
Figure n°25	Coupes lithostratigraphiques des forages albiens (Sud de Ghardaïa)	35
Figure n°26	Coupes lithostratigraphiques des forages albiens (Nord de Ghardaïa)	37
Figure n°27	Corrélation lithostratigraphiques entre les forages du CI de Ghardaïa	39
Figure n°28	Coupe litho-stratigraphique SW-NE de la région de Ghardaïa	40
Figure n°29	Etat des forages du CI inventories	41
Figure n°30	Inventaire des forages d'eau dans la région de Ghardaïa	42
Figure n°31	Inventaire des forages d'eau au Nord la région de Ghardaïa	42
Figure n°32	Inventaire des forages d'eau au Sud la région de Ghardaïa	43
Figure n°33	Evolution de l'exploitation des eaux du CI par usage (2005 au 2016)	44
Figure n°34	Carte du niveau statique du CI dans la région de Ghardaïa (année 2018) ..	46
Figure n°35	Carte piézométrique de la nappe du CI (2010)	47
Figure n°36	Carte piézométrique du CI (mars 2018)	48
Figure n°37	Carte de l'évolution de la nappe du CI (période 2010-2018)	49
Figure n°38	L'outil BUFFER de l'ArcGIS	50
Figure n°39	Les rayons d'interférence des forages du CI dans la région de Ghardaïa ...	51
Figure n°40	Courbe caractéristique $S=f(Q)$	53
Figure n°41	Courbe caractéristique $S/Q=f(Q)$	54
Figure n°42	Courbe caractéristique $S=f(Q)$	55

Figure n°43	Courbe caractéristique de $S/Q=f(Q)$	55
Figure n°44	Evolution spatiale de NH_4 dans les eaux de la nappe de l'oued M'zab	60
Figure n°45	Représentation graphique des faciès chimiques des eaux du CI	63
Figure n°46	Faciès chimique des eaux du CI selon le diagramme de Piper	64
Figure n°47	Diagramme de Schoeller Berkloff faciès chimique des eaux du CI	65
Figure n°48	Diagramme de SHOELLER faciès chimique des eaux du CI	66
Figure n°49	Histogramme de la conductivité électrique	68
Figure n°50	Histogramme de la variation du pH des eaux du CI	68
Figure n°51	Cartes de la variation du Calcium et du Magnésium dans les eaux du CI ..	69
Figure n°52	Cartes de la variation du Chlore et des Bicarbonates dans les eaux du CI .	70
Figure n°53	Carte de la variation des sulfates dans les eaux du CI	71
Figure n°54	Diagramme du SAR (méthode de Richards)	73
Figure n°55	Diagramme du SAR (méthode de Wilcox)	74
Figure n°56	Relation Cl^- et Na^+	76
Figure n°57	Relation Ca^{+2} - SO_4^{2-}	76
Figure n°58	Relation Mg^{+2} - SO_4^{2-}	77
Figure n°59	Variation de l'indice de saturation des minéraux	80

LISTES DES TABLEAUX

Tableau 01	Communes et superficies de la wilaya de Ghardaïa	2
Tableau 02	Le nouveau découpage administratif de Ghardaïa	2
Tableau 03	Principales productions végétales dans la wilaya de Ghardaïa (2016)	4
Tableau 04	Production d'élevage des animaux dans la wilaya de Ghardaïa (2016)	4
Tableau 05	Inventaire des unités industries dans la wilaya de Ghardaïa (2015)	5
Tableau 06	Coordonnées géographiques de la station de Ghardaïa (ONM)	6
Tableau 07	Températures moyennes mensuelles (station de Ghardaïa, 1995-2015)	6
Tableau 08	les précipitations moyennes mensuelles	7
Tableau 09	Variations des précipitations moyennes interannuelles en mm	8
Tableau 10	Variations des précipitations moyennes saisonnières (1995-2015)	9
Tableau 11	Bilan hydrique de la station de Ghardaïa (1995-2015) méthode de Thorntwaite	12
Tableau 12	Volume d'eau du Continental intercalaire	29
Tableau 13	Inventaire des forages albiens selon l'état de l'exploitation	41
Tableau 14	Evolution du volume d'exploitation des eaux du CI par usage (ANRH,2016) ...	44
Tableau 15	Essai de pompage par paliers sur le forage d'El Menia	53
Tableau 16	Essai de pompage par paliers sur le forage du Ghardaia	54
Tableau 17	Les zones de prélèvement des échantillons d'eau	61
Tableau 18	Répartition des faciès chimiques des eaux du CI	62
Tableau 19	Les valeurs du pH et la conductivité électrique	67
Tableau 20	Statistiques élémentaires des paramètres physico-chimiques	72
Tableau 21	La matrice de corrélation des éléments chimiques	75
Tableau 22	Les valeurs de l'i.e.b des points eaux du CI	78
Tableau 23	Résultats de calcule de l'indice de saturation des minéraux (IS).....	49

INTRODUCTION GENERALE

L'aquifère du continentale intercalaire (CI) est le plus important aquifère de l'Afrique du Nord. C'est une structure géologique unique caractérisée par la présence de sable et de grès avec une épaisseur significative capable de stocker d'énormes quantités d'eau.

La zone de Ghardaïa est située au-dessus de cet aquifère qui constitue la principale source d'eau potable et d'irrigation dans la région. La demande croissante sur ces ressources en eau souterraines nécessite l'adoption d'une étude complète de cette aquifère afin d'assurer leur durabilité, d'éviter les risques de leur épuisement et la dégradation de leur qualité.

L'objectif de notre travail est une contribution à l'étude de la variation des caractéristiques hydrogéologiques et hydrochimiques de la nappe de continentale intercalaire à travers le territoire de la région de Ghardaïa dans l'objectif d'une gestion rationnelle des ressources en eau dans la région.

Notre étude vise à caractériser la géométrie de réservoir et de comprendre le fonctionnement de l'aquifère du Continental Intercalaire (CI), déterminer les caractéristiques physico-chimiques de ses eaux, et la détermination du mécanisme de l'acquisition de la charge saline des eaux de l'aquifère.

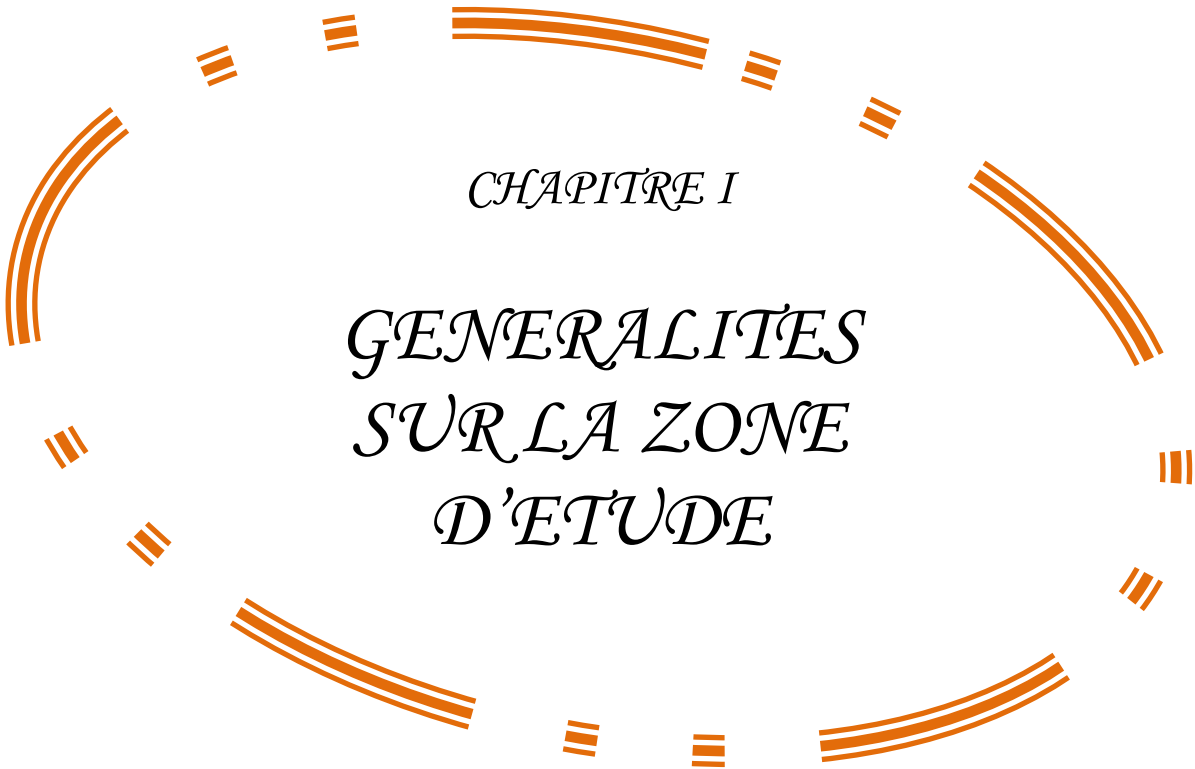
Notre travail a été structuré en trois chapitres :

Chapitre 1. Généralités sur la zone étudiée : cette partie présente la situation géographique, le cadre socio-économique, la géologie régionale et la géologie locale, et le contexte climatique de la région de Ghardaïa.

Chapitre 2. Etude hydrogéologique : dans cette partie nous avons représenté les aquifères de la zone d'étude, ensuite nous avons étudié l'évolution piézométrique spatiale et temporelle du continental intercalaire. Une étude des données hydrodynamiques a été également réalisée sur cet aquifère.

Chapitre 3. Étude hydrochimique : dans cette partie nous avons représenté les résultats des analyses physico-chimiques, les faciès chimiques. Nous avons également évalué la qualité des eaux vis-à-vis à la potabilité et à l'usage agricole, et en fin nous avons étudié l'origine de la minéralisation des eaux de continental intercalaire, en utilisant les méthodes statistiques.

A l'issue de ce travail nous présentons une **Conclusion générale et des recommandations** faisant sortir les résultats de l'étude et à prendre en considération.



CHAPITRE I

*GENERALITES
SUR LA ZONE
D'ETUDE*

1. Situation géographique

Notre zone d'étude est située au centre de la partie Nord du Sahara. Elle couvre la totalité de la wilaya de Ghardaïa. Limitée entre la latitude 29°N et 33°N et la longitude 2°E et 5°E, la wilaya s'étend sur une superficie de 86560 km².

La wilaya de Ghardaïa est limitée (**Figure n° 1**) ;

- Au Nord par la wilaya de Laghouat et Djelfa,
- Au Sud par la wilaya de Tamanrasset,
- A l'Est par la wilaya d'Ouargla,
- A l'Ouest par les wilayas d'Adrar et El-Bayad.

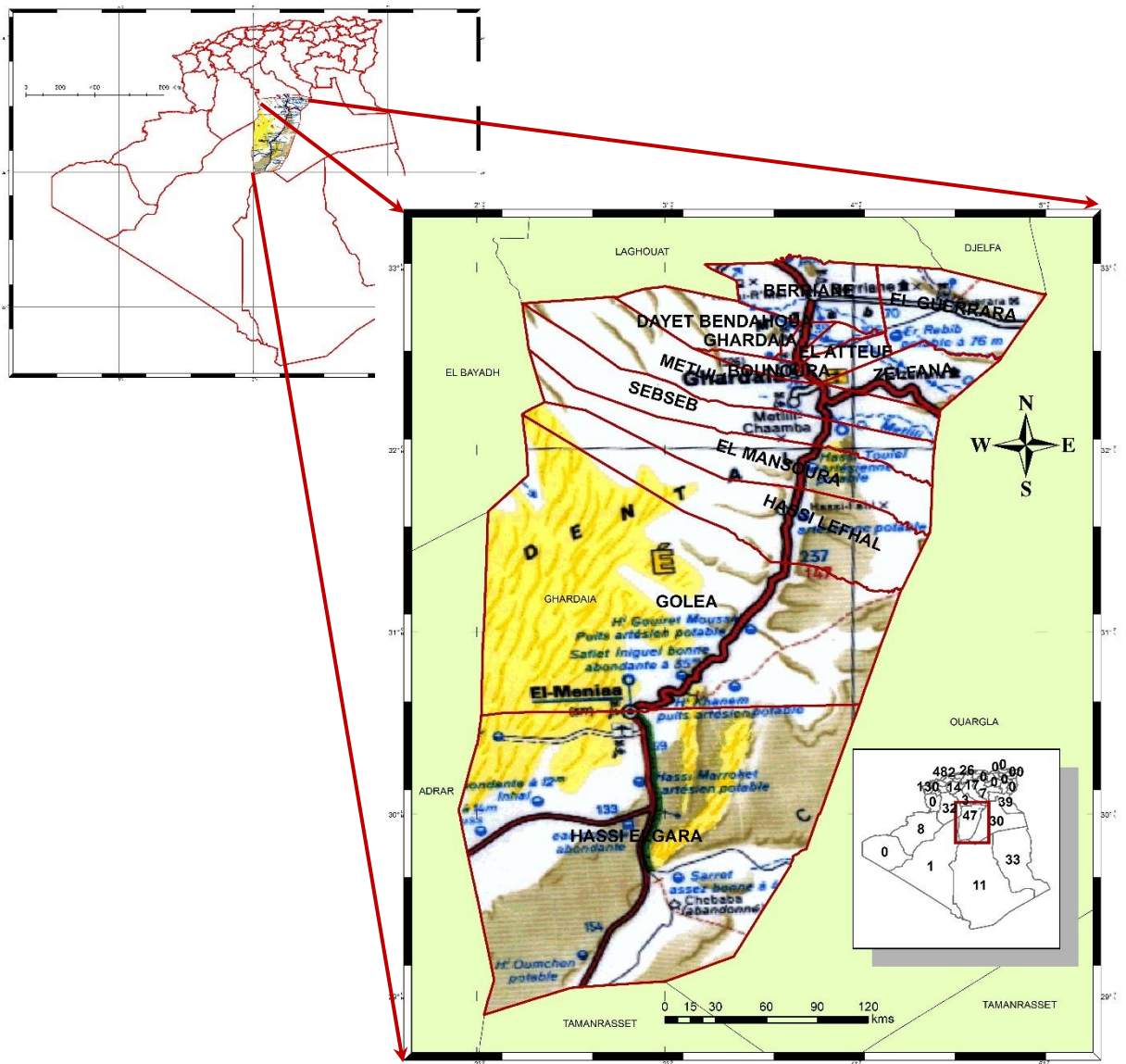


Figure n°1 - Situation géographique de la zone d'étude

Regroupant 13 communes, elle est caractérisée par plusieurs paysages géomorphologiques ; des plaines dans le Continental Terminal, des régions ensablées, et les calcaires de la Chebka dans la région centrale et qui s'étend du Nord au Sud sur environ 450 km.

Tableau 01. Communes et superficies de la wilaya de Ghardaïa

Communes	Superficies (Km ²)
Ghardaïa	300
El-Ménéa	27000
Daya	2175
Berriane	2250
Metlili	7300
Guerrara	2900
El-Atteuf	750
Zelfana	2220
Sebseb	5640
Bounoura	810
Hassi-El-F'hel	6715
Hassi-El-Gara	22000
Mansoura	6500
Total	86560

(Annuaire Statistique 2016)

Une nouvelle division a été créée dans la région d'El-Menia :

Tableau 02. Le nouveau découpage administratif de Ghardaïa

Circonscription administrative	Composition	
	Daira	Commune
El-Menia	El-Menia	El-Menia, Hassi Gara
	Mansourah	Mansourah, Hassi El Fhal

(Annuaire Statistique 2016)

2. Géomorphologie de la zone d'étude

La géomorphologie du territoire de Ghardaïa comprend trois parties différentes ; la Chebka qui occupe la partie centrale du territoire, à l'Est une plaine de "dalle Hamada", tandis qu'à l'Ouest on trouve les régions ensablées par les dunes de l'Erg occidental (A.N.A.T 1987).

2.1. Les hamadas

La topographie (très rigide) est due à la présence en surface de la dalle de hamada, c'est à dire d'un cuirassement calcaire épais et très indure. La pierraille est fortement cimentée par du calcaire. En surface, la dalle délivre un abondant cailloutis anguleux (type « hamada »). D'autre part, la dalle forme un relief en corniche. Ce type de milieu physique s'étend sur deux régions de la wilaya :

- a) La partie terminale du piémont saharien (plaine de Hassi R'mel).
- b) Toute la partie orientale de la Wilaya depuis le Nord-Est de Guerrara (Bled El Mehassem), jusqu'à à Hassi Inifel.

2.2. Les régions ensablées

Présentent essentiellement par du grand Erg occidental. La partie de L'Erg appartenant à la Wilaya présente des cordons dunaires particulièrement denses et élevés. Dans la partie Nord, les cordons sont orientés Nord-Ouest Sud-Est et dans la partie Sud, Nord-Est Sud-Ouest. Dans la partie centrale, les deux directions se recoupent, ce qui donne des dunes à crêtes multiples particulièrement hautes et denses.

2.3. La Chebka

Dans la région centrale, la "dorsale", les terrains affleurant sont en majorité calcaires. Ces couches, qui dans le Tademaït sont restées horizontales et donnent donc un plateau sommital très uniforme (la Hamada du Tademaït) sont inclinées vers l'Est dans tout le reste de la Wilaya. Ces terrains parcourus par un réseau de vallées, ont été disséqués et ruines par l'érosion fluviale a des époques ou le réseau hydrographique était beaucoup plus actif qu'il ne l'est aujourd'hui. Ce qui nous a donné donc des vallées d'oueds à versant raides taillés dans les massifs calcaires de la région (vallée de l'oued Sebseb, Metlili, M'zab, Berriane, Mansourah).

3. Contexte socio - économique

3.1. Population

La population totale de la wilaya de Ghardaïa est estimée à la fin de l'année 2016 à 455 ,572 habitants contre 447,340 habitants en 2015. La densité de peuplement est de 5,38 habitants/Km² (DPAT 2016).

3.2. Agriculture

L'activité agricole dans la wilaya est adaptée aux conditions du Sud. Les terres agricoles totales (SAT) couvrent 1370911 ha (DPAT 2016).

- Surface agricole utile (SAU) : 4455 ha.
- Pacages et parcours : 1326584 ha.
- Terres improductives non affectées à l'agriculture : 7095101 ha.

Le secteur de l'agriculture est caractérisé par deux systèmes d'exploitation :

- Système oasien qui se trouve dans les anciens l'oasis, localisés dans les vallées des principaux oueds de la région de Ghardaïa : l'oasis d'oued Zgrir, l'oasis de Berriane, l'oasis d'oued M'Zab et de Metlili.
- La mise en valeur de vastes zones agricoles la création des nouveaux périmètres irrigués par les forages profonds dans la nappe albiennaise, qui donnent un débit très important.

3.2.1. Production agricole : Les cultures pratiquées au niveau de la Wilaya de Ghardaïa, sont la céréaliculture, le maraîchage, les cultures fourragères et industrielles en plus de l'arboriculture.

Tableau 03° : Principales productions végétales dans la wilaya de Ghardaïa (2016)

Type de Production	Superficies réalisées en ha	Quantités récoltées en Qx
Céréales	3134	136404
Cultures industrielles	450	6750
Fourrages	6114	1199426
Maraîchage	4240	767270
Pomme de terre	116	32120
Arboriculture (Plants)	4560	197304

3.2.2. Activités d'élevage et la production animale : D'après les données des services de l'agriculture de la wilaya (DSA), l'ensemble de l'activité d'élevage est effectif par espèce figurent dans le tableau suivant ;

Tableau 04 : Production d'élevage des animaux dans la wilaya de Ghardaïa (2016)

Capitale (têtes)		Productions	
Espèces	Effectifs	Type	Quantité
Bovins	4.002	Viandes Rouge	45.100 Qx
Caprins	157.000	Viande Blanche	2.753 Qx
Camelins	410	Lait	25.063x10 ³ litres
Ovins	361.000	Miel	6.639 Qx

3.3. L'industrie

Dans la wilaya de Ghardaïa, la création de l'industrie est assez récente (1967) et peu diversifiée. Elle se localise sur 6 daïras distinctes : Guerrara, Berriane, Ghardaïa, Bounoura, Metlili et El-Menia (DPAT 2016).

3.3.1. La grande industrie (GI) : Elle est représentée par l'extraction des hydrocarbures à Oued Noumer, AIT Kheir et ses activités annexes.

3.3.2. La petite et moyenne industrie (PMI) : Cette activité attire un important investissement privé, elle active sur tout dans le domaine de textile, chimies et agro-alimentaire. Le tableau n°05 indique un différent classement par branche des unités industrielles existantes.

Tableau 05 : Inventaire des unités industrielles dans la wilaya de Ghardaïa (2015)

Branches Industrielles	Nombre des unités
Matériaux de construction, céramique et verre	56
Agro-alimentaire	30
Bois, papier, carton	45
Chimie et plastique	66
Textile (Transformation)	71
Métallurgie, Articles d'électricité	32

4. Occupation du sol dans la région

Le traitement de l'image satellitaire Landsat de l'année 2014 par le logiciel ArcGIS, nous avons réalisé la carte de l'occupation du sol dans notre région d'étude (Figure 2 et 3).

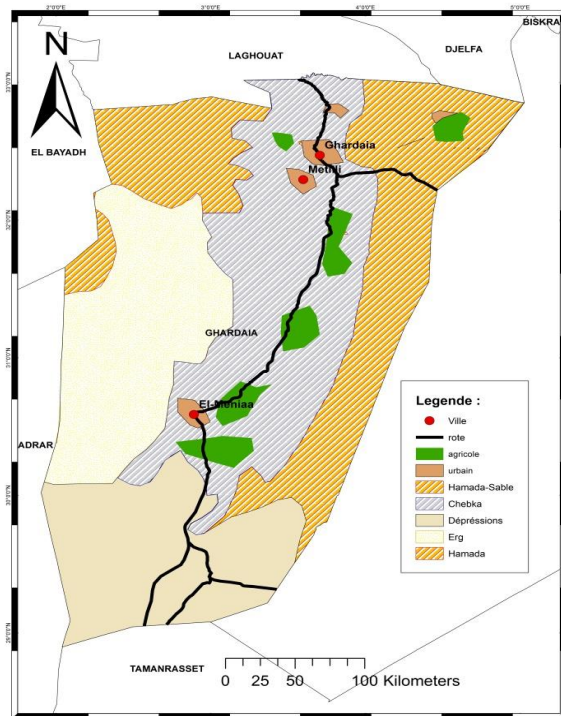


Figure n° 2 - Carte d'occupation du sol du secteur d'étude

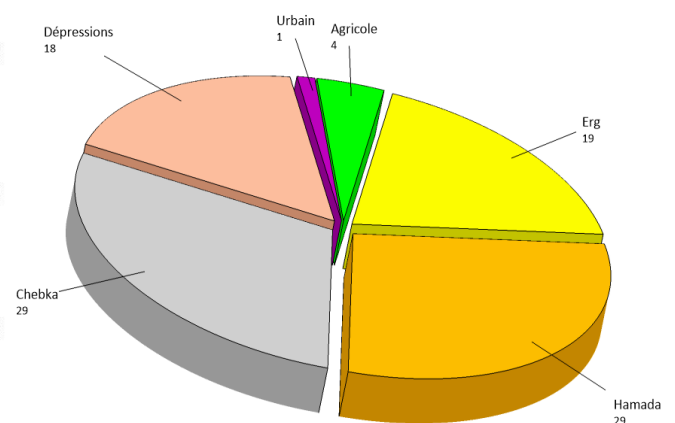


Figure n° 3 - Pourcentage d'occupation du sol dans le secteur d'étude

5. Contexte hydro-climatologique

5.1. Station météorologie de la ville de Ghardaïa

La région Ghardaïa se caractérise par un climat très sec la rareté des précipitations rend les terres très hostiles. Pour traiter le volet climatique, nous avons utilisé seulement les données de la station Ghardaïa. Les données utilisées se rapportent à la période allant de l'année 1995 jusqu'à l'année 2015 soit 20 ans d'observation (O.N.M 2018).

Cette station météorologie est localisée à 15 km à l'Est de la ville de Ghardaïa.

Tableau 06 : Coordonnées géographiques de la station de Ghardaïa (ONM)

Station	Période :	Altitude	Latitude	Longitude
Ghardaïa	1995/2015	468m	32° 24'N	03 48E

5.2. La température

La température est un élément fondamental du climat sa variation influe sur la transformation de l'eau en vapeur, que ce soit à la surface ou dans le sous-sol. Elle influe sur le degré d'évapotranspiration et par conséquent elle agit sur le taux de salinité des eaux.

Tableau. 07 : Températures moyennes mensuelles (station de Ghardaïa, 1995-2015)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	Ju	Jui	A
T max °C	34,9	29,1	21,7	17,1	16,2	18,8	22,7	26,9	32,2	37,5	40,7	40,1
T Moy °C	28,7	23,2	16,3	12	10,9	13,1	16,6	20,5	25,6	30,7	33,9	33,5
T min °C	22,5	17,3	10,9	6,9	5,6	7,3	10,6	14,2	19,1	23,9	27	26,9

Sur la figure 4 ci-dessous, nous avons tracé les courbes des températures maxima, minima et moyenne.

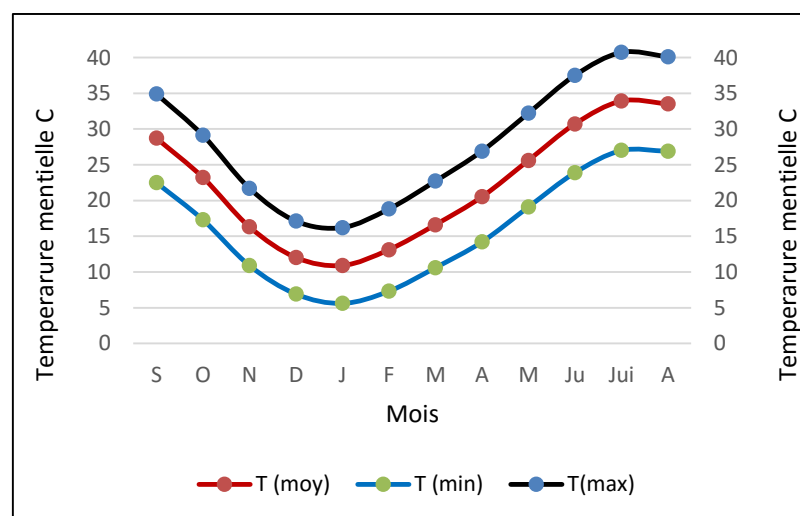


Figure n° 4 -Variation des températures moyennes mensuelles

Elle est marquée par une grande amplitude entre les températures de jour et de nuit, d'été et d'hiver. La période chaude commence au mois de Mai et dure jusqu'au mois de Septembre.

A travers la figure n 4, nous observons que :

- Les températures moyennes les plus basses sont enregistrées au cours du mois de janvier et les plus élevées au mois de juillet ;
- Les températures moyennes des maxima les plus faibles sont enregistrées au mois de janvier(16.2°C) et les plus importantes au mois de juillet (40.7°C)
- Les températures moyennes des minima varient de 5.6°C (janvier) a 27°C (juillet)
- L'amplitude thermique entre le mois le plus froid(janvier)et le mois le plus chaud (juillet) est très importante avec une valeur approximative de 35°C

5.3. Les précipitations

Les précipitations entrent dans le bilan hydrogéologie et pour estimer la réserve d'eau dans la nappe superficielle et le régime des cours d'eau dans le bassin. Elles sont exprimées généralement en hauteur de lame d'eau précipitée par unité de surface horizontale (mm).

5.3.1. Les précipitations moyennes mensuelles : Les précipitations sont en générale faibles caractérisant les climats arides. Les valeurs maximales son enregistrées au mois de Septembre (18,1mm) et Janvier (13,3 mm), et la valeur le plus moins a été enregistrées au mois de juillet (1mm). Ce qui explique la sécheresse de la région étudiée.

Tableau. 08 : les précipitations moyennes mensuelles.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	Ju	Jui	A	Année
P (mm)	18,1	7,3	6,1	6,3	13,3	2,7	5,2	7,4	1,7	4,3	0,9	2,8	76,1

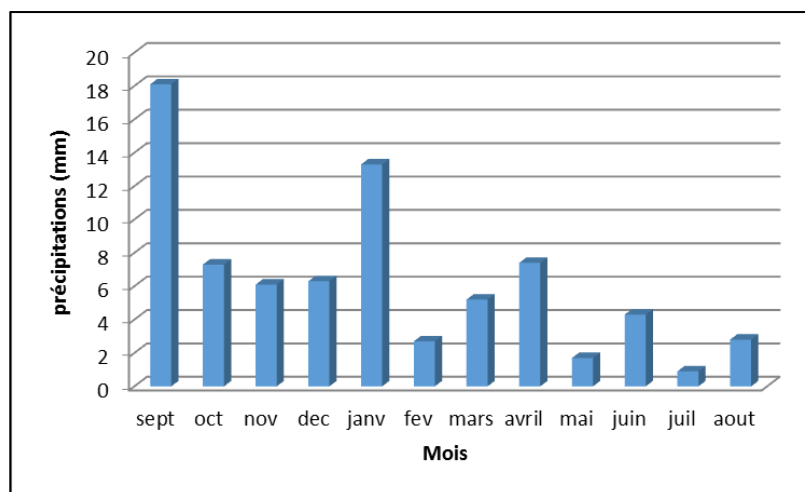


Figure n° 5 -Hauteurs moyennes mensuelles de la précipitation

5.3.2 Les précipitations moyennes interannuelles

Le tableau et la figure ci-dessous montrent les variations interannuelles des précipitations.

Tableau. 09 : Variations des précipitations moyennes interannuelles en mm

Année	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Moyen	115,56	67,4	90	78	64,8	21,6	52,2	105,3	182,2	45,5	150,2
Année	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	/
Moyen	67,9	24,7	215,2	58,4	65,9	65,5	22,4	54,8	19,5	29,5	/

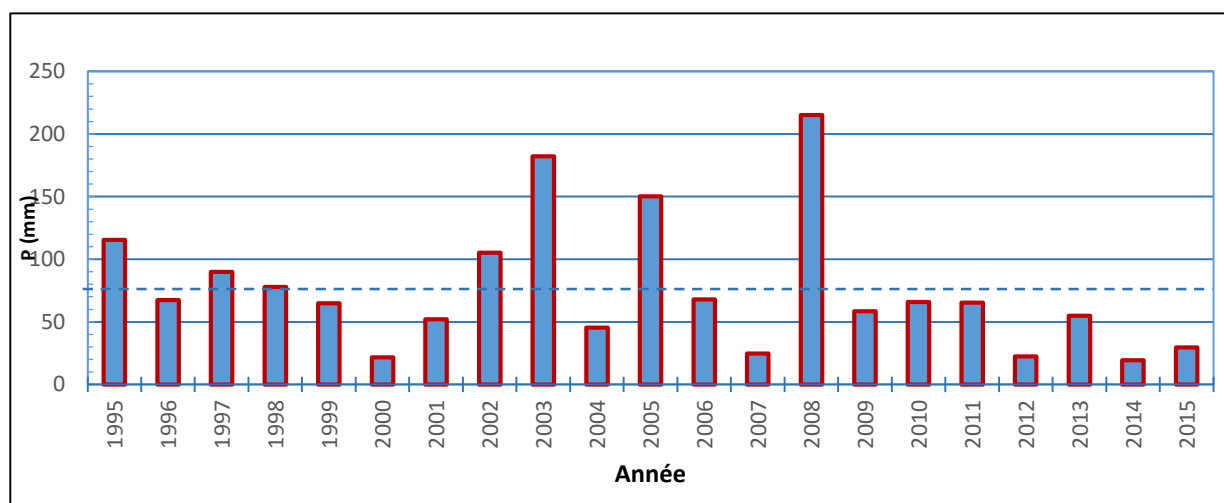


Figure n° 6 -Les variations des précipitations moyennes interannuelles (mm)

On remarque que la moyenne de précipitation annuelle est de 76mm, avec une grande divergence entre les valeurs. Les années les plus pluvieuses sont 2003, 2005 et 2008 avec un maximum de 215.2mm en 2008, et les années 1996 ,1997 et 1998 elles sont proches de la moyenne annuelle (76mm).

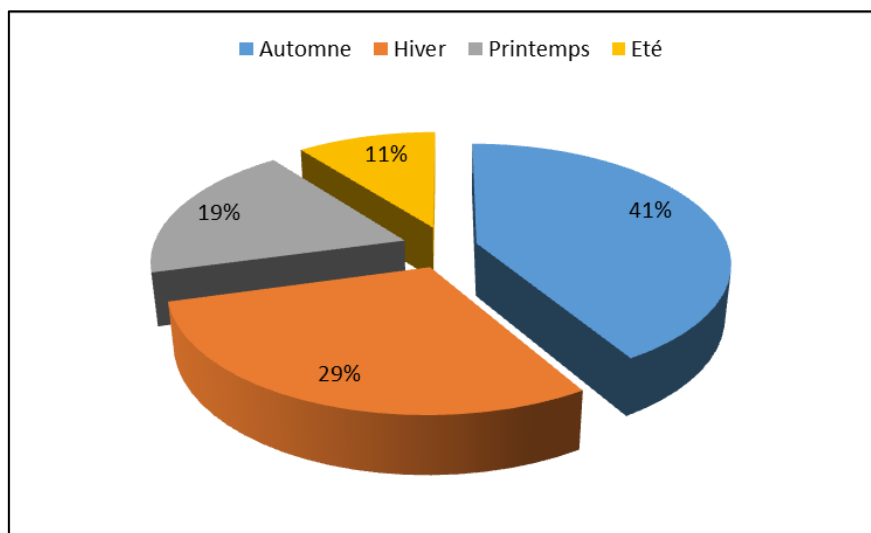
Aussi on observe des périodes à tendance plus sèche allant de 2009 jusqu'à l'année 2015, avec un minimum de 19.5 mm en 2014 (**Figure 6**).

5.3.3. Les précipitations moyennes saisonnières : Le tableau les variations des précipitations moyennes saisonnières nous montre que :

- Automne est la saisonne le plus pluvieux de 41,4%
- l'Eté le plus sec de 10,5%, et les deux autres saisonnes
- l'Hiver et le Printemps sont de l'ordre de 29,3% et 18,8%.

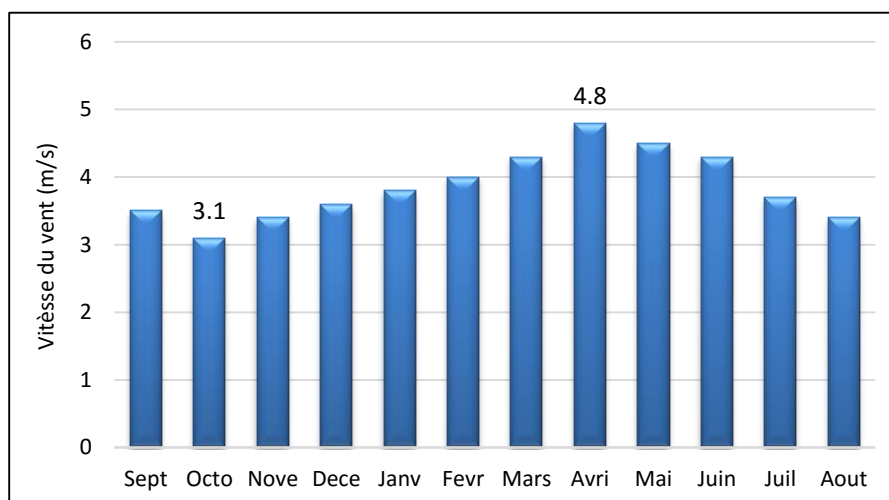
Tableau. 10 : Variations des précipitations moyennes saisonnières (1995-2015)

Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Annuelle
Automne			Hiver			Printemps			Eté			
31.5			22.3			14.3			8.0			76.1
41.4 %			29.3 %			18.8 %			10.5 %			100.0

**Figure n° 7** -Répartition des variations des précipitations moyennes saisonnières

5.4. Le vent

Le vent est un élément caractéristique du climat influant directement sur le climat d'une région et cette vitesse des vents qui influe sur l'évaporation des eaux par la surface de sol et des végétaux. La vitesses moyenne mensuelle des vents à la station de Ghardaïa pour la période (1995-2015) est 3,8 m/s.

**Figure n° 8** -Histogramme des vitesses moyennes mensuelles des vents

Le sens dominant du vent est vers le Nord et le Nord-Est. Généralement, ils sont générés à cause des courants qui arrivent de la zone tropicale. Une valeur maximale au printemps de 4.8 m/s au mois d'avril. Et une valeur minimale en Automne au mois d'octobre 3.1 m/s.

5.5. L'humidité :

L'humidité relative de l'air est le rapport, exprimé en (%) de la tension de vapeur d'eau à la tension de vapeur d'eau saturante. C'est un élément atmosphérique très important puisqu'il donne le taux de condensation de l'atmosphère.

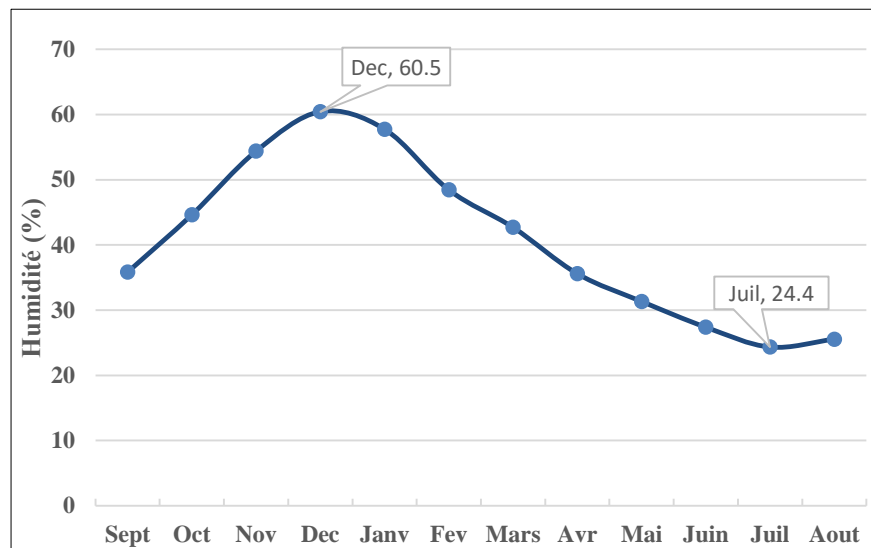


Figure n° 9 -Courbe des humidités relatives moyennes en (%)

La courbe de la figure 9 permet de distinguer deux parties :

- Augmentation taux d'humidité au la rentrée d'automne au mois septembre jusqu'a au printemps au mois mars
- Diminution du taux de l'humidité au mois d'avril jusqu'à la fin du mois d'aout.

En peut interpréter ces deux comportements par la relation proportionnelle de l'humidité avec la précipitation et inversement proportionnelle avec la température.

5.6. Courbe Pluvio-thermique

La courbe pluvio-thermique permet de déterminer les périodes sèches et les humides. Selon Gausse et Bagnouls : Pour la période sèche, la courbe des doubles températures passe au-dessus de celle des précipitations et Pour la période humide, la courbe des précipitations passe au-dessus des doubles températures.

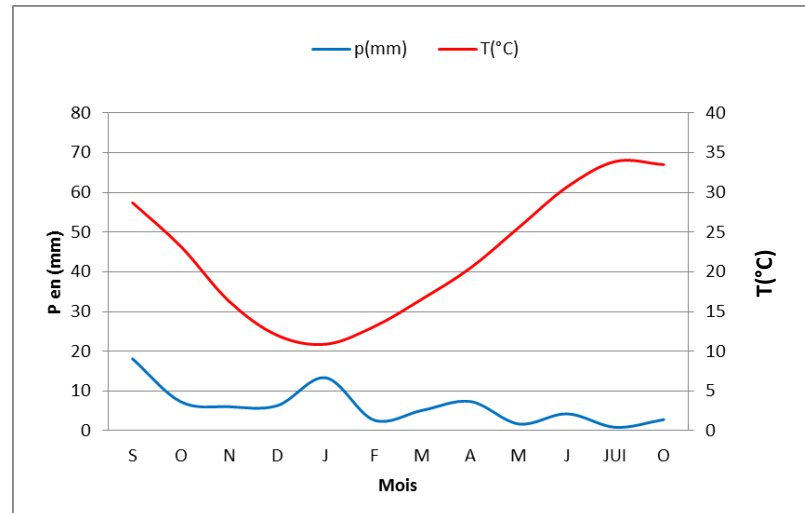


Figure n° 10 -Courbe pluvio-thermique de la station de Ghardaïa

Dans le cas de Ghardaïa les courbes ne se croisent pas, donc la région est dominée par une saison sèche durant toute l'année. Cela est caractéristique principale des régions situées dans un climat aride comme le nôtre.

6. Bilan hydrique de la région de Ghardaïa

Le bilan hydrique de Ghardaïa (**Tableau. 11**), pour la période (1995-2015) suivant la méthode de Thornthwaite 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.

La réserve facilement utilisable est nulle pendant les onze mois de l'année. Le déficit agricole est présent pendant onze mois de l'année, elle atteindra son maximum au mois de juillet de 287,69mm.

Aussi, le bilan hydrique de la région montre que la recharge par la pluie efficace est négligeable. Dans la région, la recharge des nappes superficielles est faite par les eaux de la ré-infiltration due à l'irrigation, les eaux urbaines (les eaux usées domestiques), et principalement par les crues exceptionnelles des oueds.

Tableau 11 : Bilan hydrique de la station de Ghardaïa (1995-2015)
par la méthode de Thorntwaite.

Mois	S	Oct	Nov	De	Jan	Fev	Mr	Av	Mai	Jui	Jt	Aout	Total
P (mm)	18.1	7.3	6.1	6.3	13.3	2.7	5.2	7.4	1.7	4.3	0.9	2.8	76.0
T (C)	28.7	23.2	16.3	12.0	10.9	13.1	16.6	20.5	25.6	30.7	33.9	33.5	-
ETP (mm)	87.5	75.9	25.8	12.2	10.1	55.3	37.4	68.4	141.9	219.8	288.6	253.3	1276.3
RTU (mm)	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-
ETR (mm)	19.1	7.7	6.4	6.7	10.1	2.8	5.4	7.8	1.8	4.5	0.9	3.0	74.6
EX (mm)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DA (mm)	68.4	68.2	19.4	5.5	0.0	52.4	32.0	60.6	140.1	215.3	287.7	250.4	1200.1

7. Réseau hydrographique de la région

La région de Ghardaïa est jalonnée par un grand réseau d'oueds dont les principaux sont : Oued Sebseb; Oued Metlili; Oued M'zab; Oued N'sa et Oued Zegrir. L'ensemble de ces oueds constitue le bassin versant de la dorsale du M'Zab (**Figure 11 et 12**).

Ils drainent en grande partie les eaux de la dorsale de l'Ouest vers l'Est, leur écoulement est sporadique, il se manifeste à la suite des averses orageuses que connaît la région (DUBIEF 1953).

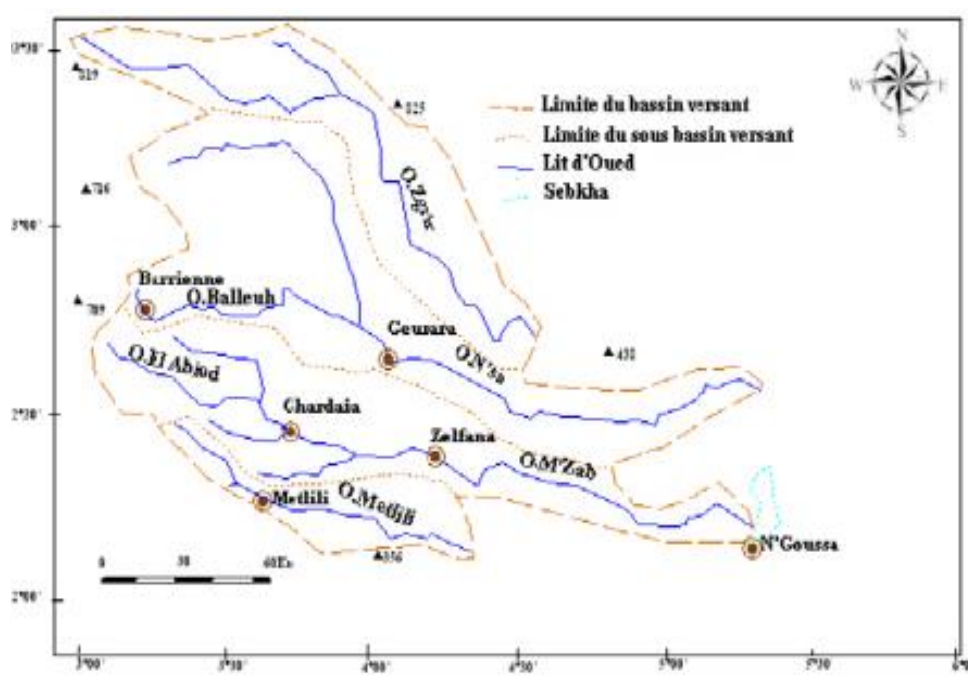


Figure n° 11 -Bassins versants de la région du M'Zab (DUBIEF., 1953).

7.1. Oued Zegrir

Limité à la hauteur de Guerrara, ce bassin couvre une superficie de 4100 km². Situé en majeure partie sur les affleurements du Miocène et du Pliocène continentaux, il est parsemé de nombreuses daïas, parfois drainées par des oueds (OULD BABA SY 2005).

7.2. Oued N'sa

Le bassin du N'sa, présente une superficie de 7800 km² environ ; les limites orientales sont peu précises par suite de la nature géologique de la région. L'artère maîtresse, longue de 320 km, part de la région de Tilrempt, vers 750 m d'altitude, pour aboutir à la Sebket Safioune, au N de Ouargla, à la cote 107m (OULD BABA SY 2005).

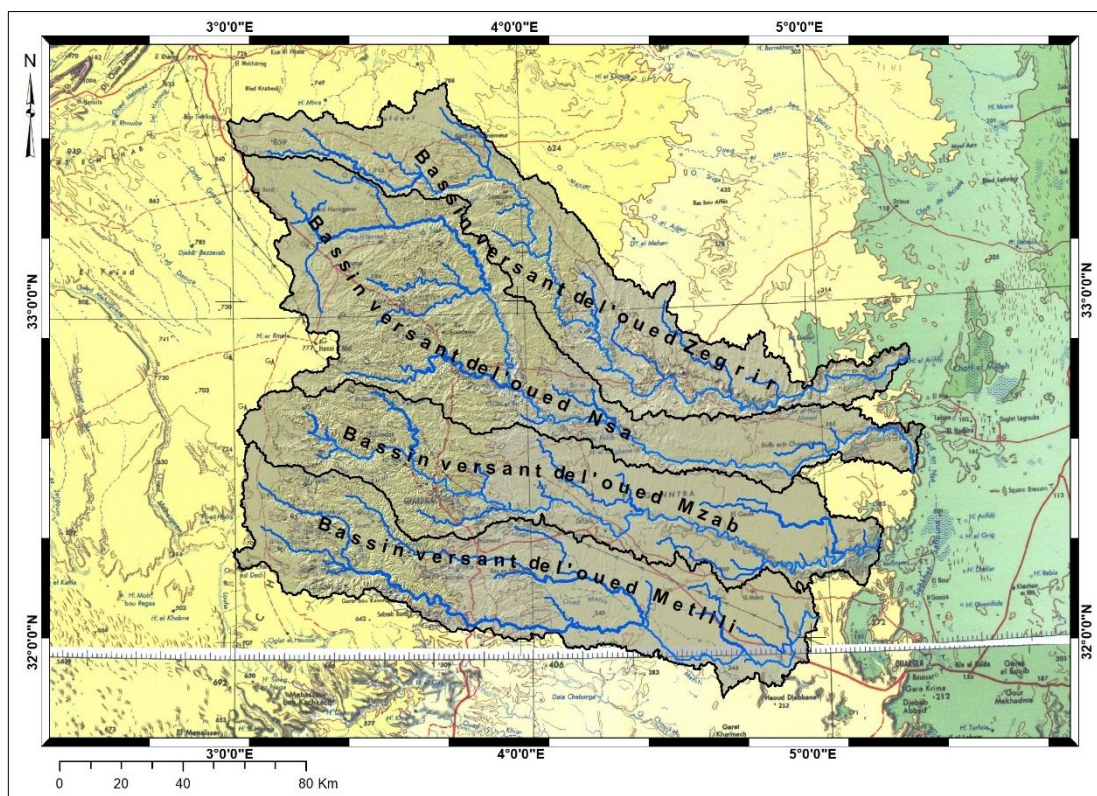


Figure n° 12- Bassins versants et hydrographie de la région du M'Zab (ANRH, 2011)

7.3. Oued M'Zab

L'oued M'Zab est limité par deux grands oueds : Oued N 'Sa au Nord et Oued Metlili au Sud. La superficie du bassin du M'Zab est de 5000 km environ (DUBIEF 1953). Ses contours sont imprécis dans la partie orientale. L'oued M'Zab coule sensiblement d'Ouest en Est sur 320 km de la région de Botma-Rouila, à 750 m d'altitude (où il prend sa source sous le nom d'Oued El-Abiod), à la Sebket Safioune qui est à la cote 107 m avec une pente assez forte entre Ghardaïa et Bounoura (OULD BABA SY 2005).

7.4. Oued Metlili

Le bassin du Metlili, limité à l'oasis du même nom, ne dépasse pas 400 km². Il est mal délimité dans sa partie orientale, appartenant au domaine du Pliocène continental, par suite des caractéristiques très spéciales de cet étage géologique sous cette latitude.

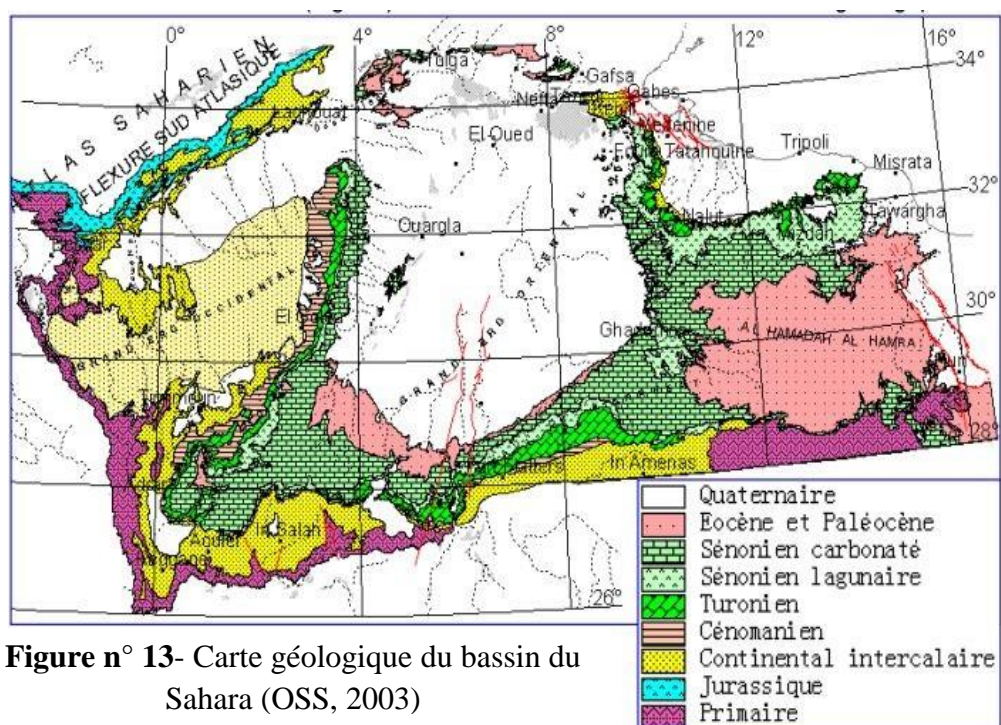
D'une longueur totale de 214 km, l'Oued de Metlili est barré à 134 km de son origine par le cordon dunaire de l'Areg Rhanem. Plus en aval, son lit est parsemé de daïas qui absorbent une partie des eaux de ruissellement dont la plus importante est la Daïa Ghemta (OULD BABA SY 2005).

8. Contexte géologique

8.1. Cadre géologique régionale

Au Sahara algérien, les travaux de (Busson 1972 ; 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 couvrant cette région (OSS 2003). 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.

La région de Ghardaïa fait partie du bassin sédimentaire du Sahara Nord-Est Septentrional. De la base du bassin au sommet, les forages de reconnaissances ont mis en évidence les séries sédimentaires suivantes :



8.1.1. Formation de l'ère Secondaire :

8.1.1.1. Trias : (Busson 1972) souligne la grande de facies et d'épaisseur du trias. Il correspond à de dépôts épais de grès d'environ 500meters, dont la perméabilité est variable mais rarement nulle, surmontés par une puissante série salifère de 500 mètres composée de sel gemme, d'anhydrite, de dolomite et d'argile.

8.1.1.2. Jurassique inférieur et moyen : Le Lias-Dogger comprend essentiellement des couches lagunaires constituées de sel, d'anhydrite et d'argiles qui deviennent par la suite, marines et se présentent sous forme de calcaires et argiles avec des bancs d'anhydrite. La transgression jurassique couvre tous le bassin du Grand Erg oriental et les Séries jurassiques y sont épaisses. Au sondage de Berriane (1953) il a été recoupé sur une épaisseur de 689 mètres.

8.1.1.3. Crétacé inférieur : Représenté par les grès et les sables à passées argilo-gypseuses du « Continental intercalaire » qui correspond à une énorme série de remblaiement continental de 200 à 1100 m d'épaisseur. Les grès et les sables, très perméables, constituent le plus grand horizon aquifère du Sahara. En partant des séries les plus anciennes, le crétacé inférieur comprend.

8.1.1.4. Néocomien : comprenant, dans le Bas-Sahara, des argiles vertes et rouges avec de l'anhydrite en bancs massifs qui se déposent à la base. Ils sont surmontés par une alternance de dolomies et d'argiles.

8.1.1.5. Barrémien : Marqué par un énorme épandage détritique généralisé sur tout le bassin du Sahara, formé de grès, sable fin à grossier, d'argile à intercalations de calcaire. L'épaisseur des sédiments varie notablement d'un point à l'autre. Au centre du bassin, son épaisseur atteint 1100 mètres, sur les bordures, il est moins épais, compris entre 300 et 600 mètres.

8.1.1.6. Aptien : Sur les sondages, il représente un bon repère lithologique sur une grande partie du bassin (FABRE 1976), composé de dolomie, alternance d'anhydrite, d'argile et de lignite (sédimentation lagunaire).

L'épaisseur moyenne de cette barre aptienne est de l'ordre de 20 à 30 mètres.

8.1.1.7. Albien : Cet étage il est compose par une alternance de marnes, de grès et sables très fins et par des intercalations des calcaires avec passages de silex et d'argile. L'épaisseur de cet étage peut atteindre 400mètres.

8.1.1.8. Le Cénomaniens : tous les forages réalisés dans cette région ont montré que cet étage il est forme par d'argile grise et verte a gypse et anhydrite avec intercalation au sommet de banc de calcaire dolomitique. L'épaisseur varie entre 300 à 500 mètres.

La limites de cet étage, on peut dire que la limite inferieure est caractérisés par l'apparition d'évaporites et de dolomies, la limite supérieure caractérisée par l'apparition d'évaporites et de calcaire correspondants à la limite inférieure du turonien.

8.1.1.9. Le Turonien : C'est étage représente par des calcaires dolomitiques. Il forme la dorsale du M'Zab, le plateau du Tinhert et du Tademaït.

Les forages de la région montrent clairement que son épaisseur varie d'un endroit a un autre elle en moyenne de 120 mètres.

8.1.1.10. Sénonien : Les sédiments de cet étage montrent que le sénonien est forme de deux ensembles très différents du point de vue facies : d'un milieu lagunaire suivi d'un autre franchement marin.

8.1.1.11. Sénonien inferieur lagunaire : Le sénonien lagunaire est caractérisé par une formation argileuse, rouge et jaunâtre et surtout les bancs de gypse et d'anhydrite et de sel gemme, avec quelque intercalation de marne dolomitique. Dont l'épaisseur avoisine 120 mètre.

8.1.1.12. Sénonien supérieur carbonaté : Ce second sous étage est représenté par des dolomies, du calcaire dolomitique avec des intercalations marno-argileuses et de calcaires crayeux perméables. Son épaisseur est d'environ 100 mètres.

8.1.2. Formations de l'ère tertiaire :

8.1.2.1. L'Eocène : On distingue dans l'Eocène deux ensembles lithologiques :

8.1.2.2. Eocène inférieur (carbonaté) : Il est composé de bancs de dolomies, de calcaire dolomitique, de calcaire à Nummulites et à rognons de silex. Il s'étend sur une grande partie du bassin du Sahara, on le retrouve en affleurement au Nord-Est de la dorsale du M'Zab et sur le versant septentrional des plateaux de Tinhert et Tademaït.

L'épaisseur moyenne est de l'ordre de 100 mètres.

8.1.2.3. Eocène moyen (évaporitique) : Au-dessus de l'Eocène carbonaté il s'agit d'une série lagunaire composée par une alternance de calcaire, d'argiles, de marnes et d'anhydrites. la série constitue le dernier épisode marin du Sahara septentrionale algérien (Busson 1972).

L'épaisseur moyenne d'environ de 180 mètres.

8.1.2.4. Le Miopliocène : Formation continentales détritiques recouvrant tout le bassin du bas-Sahara, elle constituées par d'argiles sableuse et de sables moyens à grossiers rougeâtre, plus moins consolidés en grés, elle affleure au Nord-Est de dorsale du M'Zab le long de l'oued Zegrir jusqu'au sud de l'oasis du Guerrara.

L'épaisseur de cet horizon varie entre 150 à 200 mètres.

8.1.3. Formation du Quaternaire :

Les terrains quaternaires représentent la couverture superficielle qui se localisent surtout au niveau des dépressions et couvrent la plus grande extension au niveau du bas Sahara, ils sont formés d'un matériel alluvial et éolien d'où on trouve la formation des alluvions sableuses et argileuses.

L'épaisseur variant entre 20 à 30 mètres.

CHRONO - STRATIGRAPHIE		LITHOLOGIE GENERALE	Description
NEOGENE	Phocène		conglomérat
	Micène		marne, gypse et grès
	Discordance Pyréenne		gypse, marne, calcaire, et conglomérat
CRETACE	Oligocène		grès et marne
	Eocène		calcaire et marne
	Paléocène		
	Sénonien		anhydrite, calcaire, dolomie marne et argile
	Turonien		calcaire dolomie
	Cenomanien		anhydrite, dolomie et marne
	Albien		grès et argile
	Aptien		et dolomie
	Barremien		Discordance Autrichienne
	Néocomien		grès et argile dolomitique
JURASSIQUE	Malm		anhydrite, calcaire, dolomie marne et grès
	Dogger		argile, grès, calcaire et anhydrite
	Lias		sel, anhydrite et argile
TRIAS			grès, argile, sel, et roche volcanique
			Discordance Hercynienne

Figure n° 14- coupe géologique synthétique du bassin du Sahara (SONATRACH)

8.2. Cadre géologique locale

La wilaya de Ghardaïa est située sur les bordures occidentales du bassin sédimentaire secondaire du Bas - Sahara, les terrains affleurant sont en grande partie attribués au Crétacé supérieur. Du point de vue lithologique, ces affleurements sont de type (ANRH 2016) :

- Argiles verdâtres et bariolées à l'Ouest et le Sud-Ouest attribués au Cénomanien,
- Calcaires massifs durs ; blanc grisâtre au centre, attribués au Turonien,
- Calcaires marneux et argiles gypseuses à l'Est, attribués au Sénonien,
- Sables rougeâtre consolidés à Est et au Nord-Est attribués au Miopliocène,
- Alluvions quaternaires tapissant le fond des vallées des oueds.

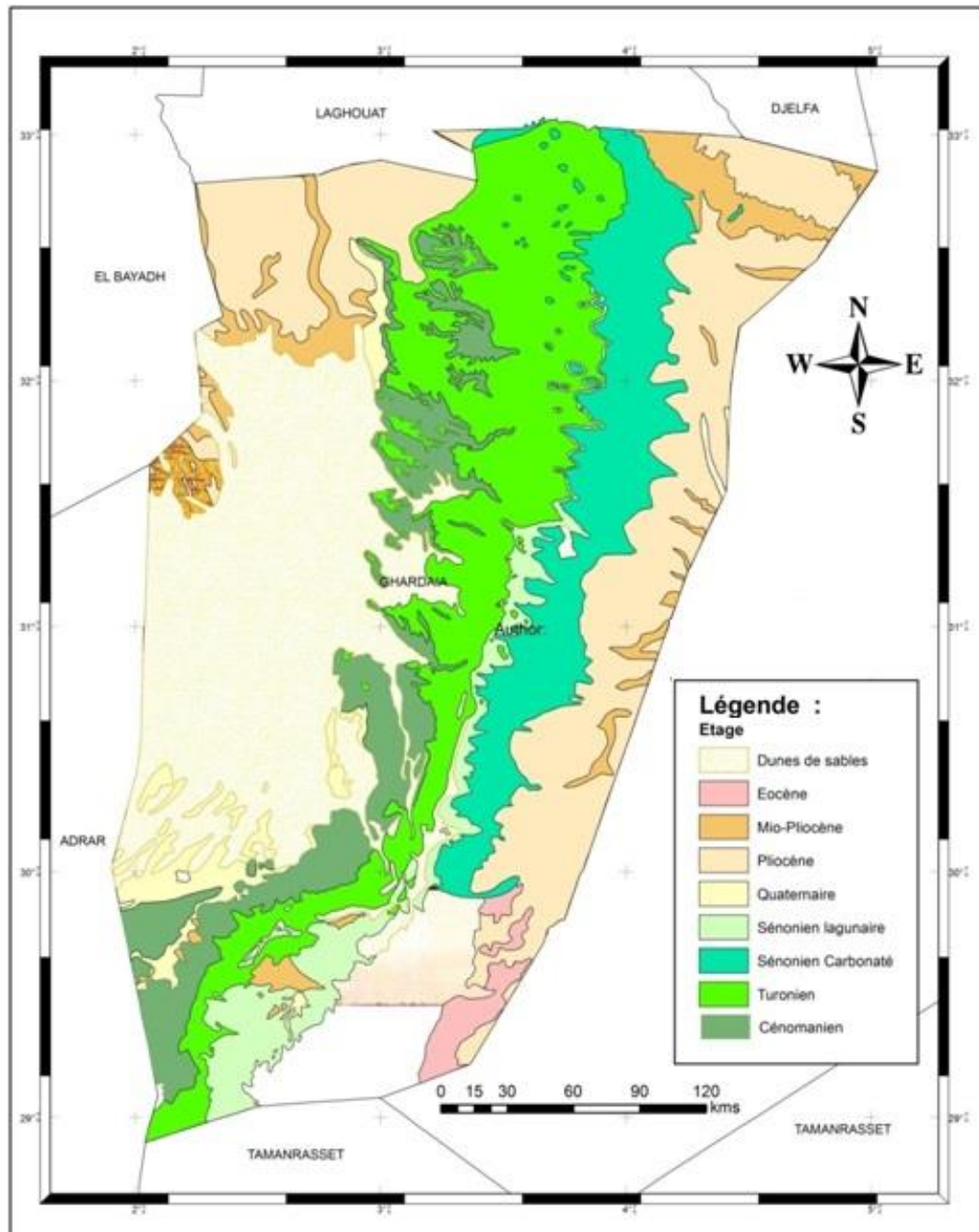


Figure n° 15- Carte géologique de la région de Ghardaia (Busson, 1952)

8.2.1. Albien : Il correspond à la série lithologique supérieure du Continental Intercalaire.

Ce sont des grès, sable argileux est sable. Elle est recoupe par les sondages sur une épaisseur de 500 mètres et sont représentés par des sables fins à grossier jaunâtres par fois rougeâtres à rose, avec des intercalations d'argiles verdâtres.

Cet étage représente une grande importance hydraulique pour la région.

8.2.2. Cénomaniens : Cet étage présente un faciès argileux, formé essentiellement par d'argiles grises, brunes, parfois noirâtres, compactes et bariolées à gypses vitreux, argiles grisâtres claires sableuses à la base.

L'épaisseur moyenne du cénomaniens dans la région du M'Zab est de 230 mètres.

8.2.3. Turonien : Constitue le plateau rocheux de la dorsale du M'Zab, ayant une épaisseur de l'ordre de 110 mètres. Il s'agit d'une formation essentiellement calcaires dolomitiques à souvent fossilifères. On note aussi des structures d'Endokarst fossiles, occasionnant des pertes totales ou partielles de la boue lors de l'exécution des sondages hydrauliques (ACHOUR, 2014).

8.2.4. Sénonien : Il est constitué de deux formations lithologiques superposées :

8.2.4.1. Sénonien inférieur : Le sénonien inférieur est caractérisé par des argiles marneuses jaunâtres et rouges, avec des intercalations de bancs de gypses et d'anhydrites, présentés dans les forages hydrauliques dans la région de Guerrara et Zelfana, il atteint de 79 mètres d'épaisseur.

8.2.4.2. Sénonien supérieur : Il affleure seulement dans la partie orientale de la dorsale du M'Zab et coiffe l'ensemble des buttes témoins de celle-ci. Il est formé de calcaire marneux à argiles.

8.2.5. Miopliocène : Recoupé par les sondages exécutés à l'Est du M'Zab (Guerrara), formé un dépôt de sables rouges plus ou moins consolidés. Grès durs à tendre rose, à lits argileux. Présente sur une profondeur de 65 mètres.

8.3. Quaternaire : Formé par des alluvions et de sables plus ou moins grossiers, argileux, remplissant les bas-fonds des vallées des oueds. L'épaisseur de cet horizon varie entre 20 à 30 mètres.

Conclusion

La wilaya de Ghardaïa située au centre de la partie Nord du Sahara, étendue sur une superficie de 86560 Km², comprend du point de vue géomorphologique trois parties différentes : la chebka au centre, la plaine de dalle du Hamada à l'Est et les régions en sablées au Sud-Ouest.

Son climat est typiquement saharien aride, marqué notamment par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations et par amplitude thermique et les températures très élevées.

La région est tracée par un grand réseau d'oueds dont les principaux sont : Oued Sebseb, Oued Metlili, Oued N'sa, Oued Zegrir et oud M'Zab, l'ensemble de ces oueds constitue le bassin versant de la dorsale du M'Zab.

Du point de vue géologique, la région de Ghardaïa est située sur les bordures occidentales du bassin sédimentaire secondaire du Bas-Sahara. Les terrains affleurant sont en grande partie attribués au Crétacé supérieur, composés principalement par des dépôts calcaires turoniens dolomitiques. Le quaternaire correspond au dépôt de recouvrement alluvionnaire de la plupart des vallées des oueds de la région de Ghardaïa.



CHAPITRE II
ETUDE
HYDROGEOLOGIQUE

1. Introduction

Notre secteur d'étude fait partie de la plateforme saharienne. Les études géologiques ont montré qu'elle forme un grand bassin sédimentaire, et les études hydrogéologiques de (UNESCO/ERSS 1972) et (OSS 2003) ont montré l'existence d'un grand réservoir aquifère multicouches, il a été nommé le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS).

2. Définition du système aquifère (SASS)

Le système aquifère du Sahara septentrional (SASS) couvre une vaste superficie plus d'un million de Km², il est reparti entre trois pays à savoir l'Algérie de 700000Km² soit 60%, la Tunisie de 80000Km² soit 10% et la Libye de 220 000 Km² soit 30%. Il s'étend du Nord depuis l'atlas saharien jusqu'aux affleurements du Tidikelt et le rebord méridional du Tihert au Sud et de l'Ouest depuis la vallée du Guir-Saoura jusqu'au graben d'Hun en Libye à l'Est.

Ce bassin renferme une série des couches aquifères qui ont été regroupées en deux réservoirs nommés le Complexe Terminal(CT) et le Continental Intercalaire(CI).

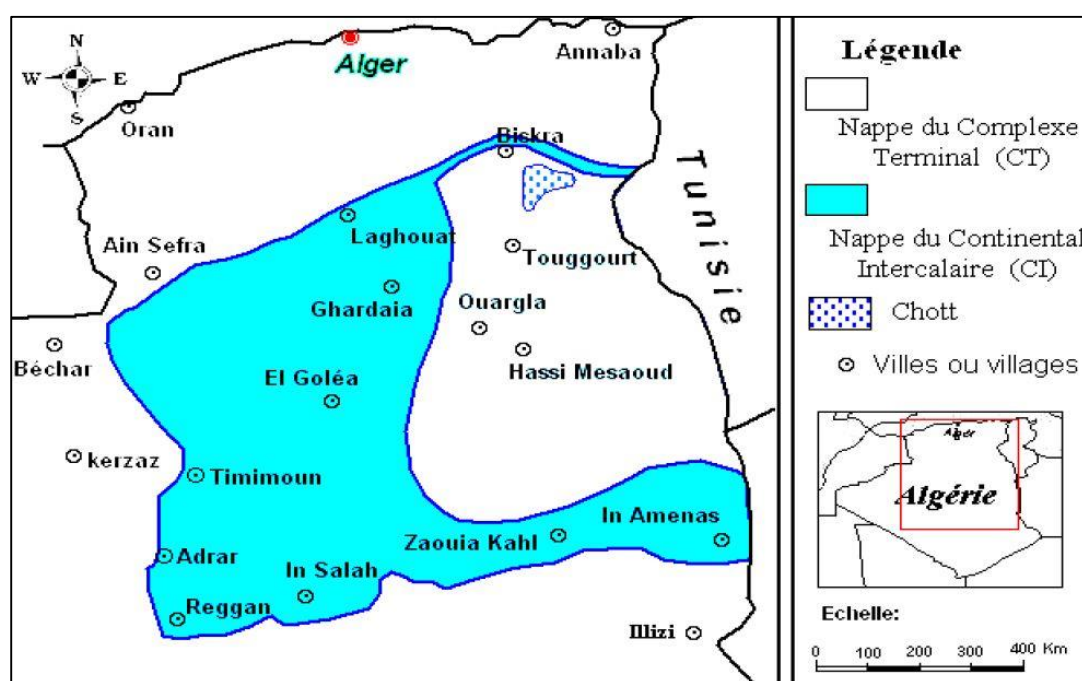


Figure n° 16- Carte de la limite du système aquifère SASS (UNESCO/ERSS,1972)

La dorsale du M'Zâb divise le domaine du SASS en deux bassins ; le bassin occidental de 280.000 km² drainé vers le Sud, et le bassin oriental de 500.000 km² drainé vers le Nord-Est.

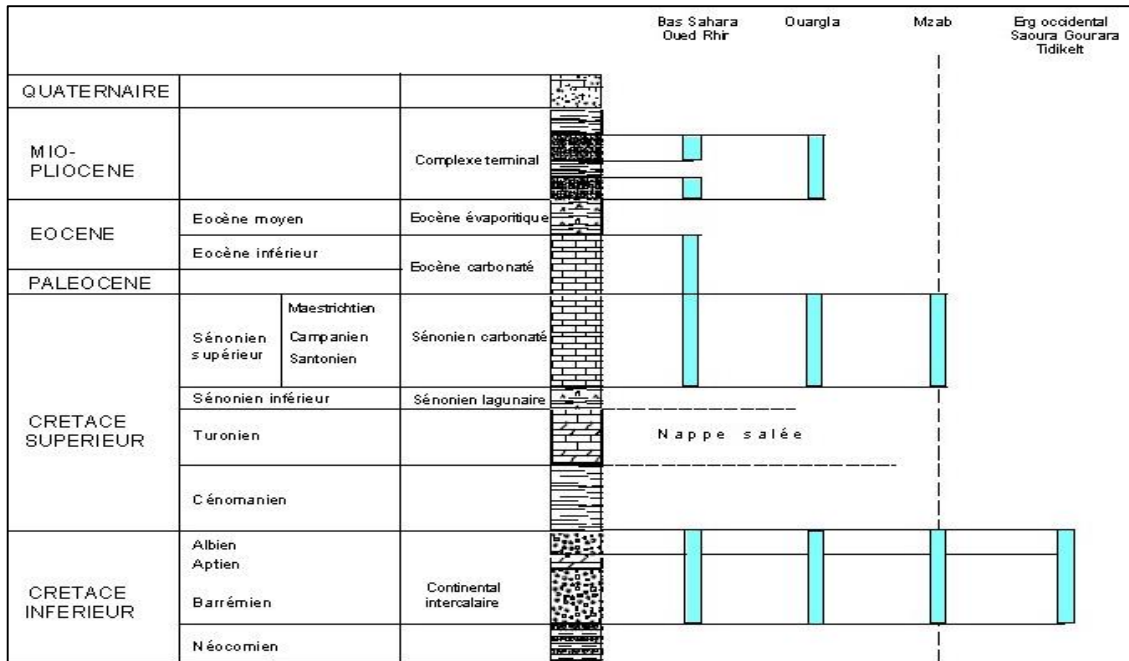


Figure n° 17- Les formations géologiques et les aquifères du bassin du SASS (OSS, 2003)

2.1. Le complexe terminal (CT)

Le Complexe Terminal est un ensemble assez peu homogène incluant des formations carbonatées du Crétacé supérieur et des épisodes détritiques du Tertiaire, principalement du Miocène (Busson 1972 ; FABRE 1976).

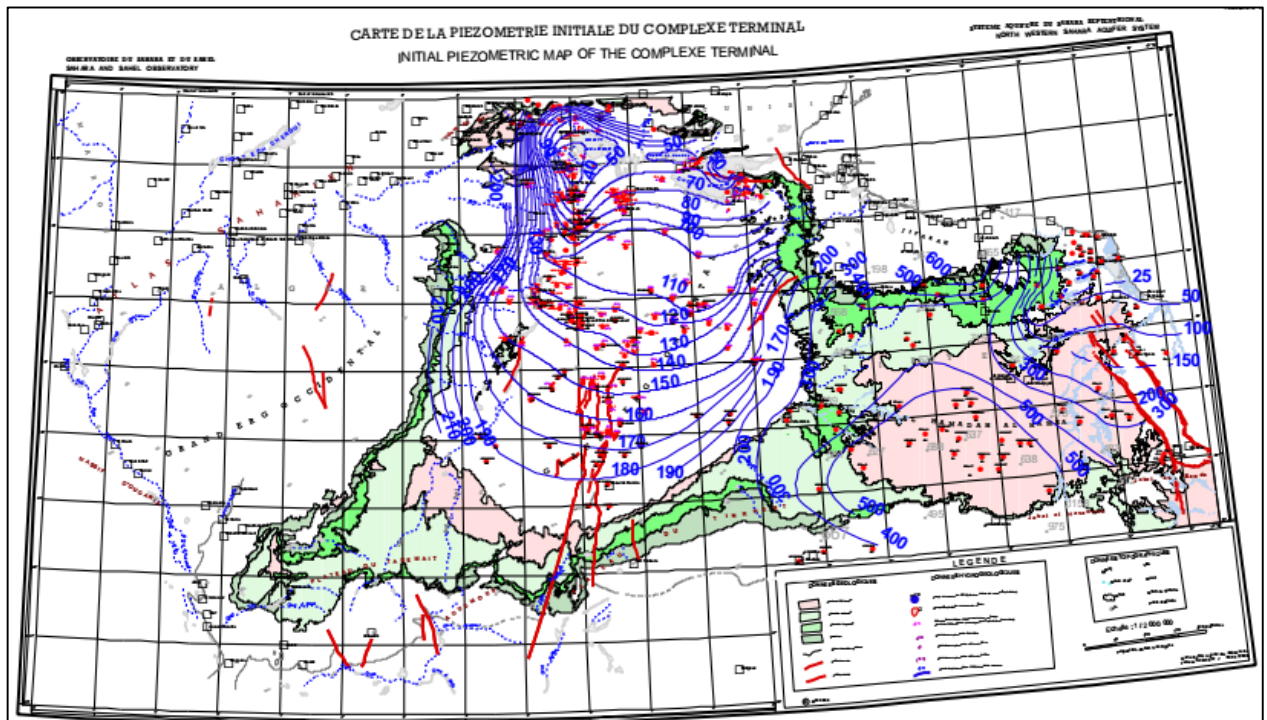
Le terme de « nappes du Complexe Terminal » qui groupe sous une même dénomination plusieurs aquifères situés dans des formations géologiques différentes, a été retenu car ces nappes font bien partie d'un même ensemble hydraulique.

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 viennent s'intercaler.

La nappe turonienne est plus individualisée par suite de la couverture imperméable du Sénonien inférieur. Cependant, ses niveaux concordent avec ceux du Sénonien ou du Mio-Pliocène sur la bordure du bassin.

. La profondeur du CT est comprise entre 100 et 600 m et sa puissance moyenne est de l'ordre de 300 m, il affleure aux endroits suivants :

- Au Nord, dans le sillon des chotts algéro-tunisiens;
- À l'Est, le long du flanc oriental du Dahar;
- Au Sud, sur les plateaux de Tinrhert et de Tademaït;
- À l'Ouest, région de Ghardaïa sur la dorsale du M'Zab.



○ **Figure n° 18** - Carte piézométrique du Complexe Terminal (OSS, 2003)

L'examen de la carte piézométrique met en évidence les zones d'alimentations, à savoir :

- L'Atlas Saharien du Nord-Ouest.
- Le Dahar à l'Est.
- Le Tinrhert au Sud.
- Les monts de la dorsale du M'zab

Les zones exutoires sont principalement centrées sur les Chotts algéro-tunisiens (Chotts Melrhir

et Merouana en Algérie et Djérid, El Gharsa en Tunisie) et sur le golfe de Syrte en Libye.

Etant donné que la limite de la nappe du CT est située plus à l'Est de la région du M'zab, cette dernière n'est pas captée avec succès dans la région de Ghardaïa notre secteur d'étude. De ce fait, nous n'aborderons en détail que la nappe du Continental Intercalaire.

2.1. Le continental intercalaire (CI)

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

Le Continental Intercalaire affleure tout au long de l'Atlas saharien et au Nord-Est au pied de la falaise du Dahar. 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 d'Hun à l'extrême S-E de la région.

2.1.1. Limites du Continental Intercalaire

Les limites du CI ont été basées à la fois sur l'étude des affleurements géologiques et sur l'étude des sondages, elles sont :

- Au Nord-Ouest, le versant Sud de l'Atlas saharien, marqué en affleurement par le contact Albien-Cénomanienn ;
- Au 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 ;
- 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 CI au pied de la falaise du Dahar; à 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).

La dorsale du M'Zab, divise le domaine du CI en deux sous-bassins hydrogéologiques : le bassin oriental et le bassin occidental. L'ensemble couvre une surface de 1100.000 de km², et une épaisseur moyenne de 358mètres (OULD BABA SY 2005). La partie Sud du réservoir du CI est largement affectée par les accidents Nord-Sud d'Amguid El Biod qui se prolonge du socle primaire d'El Hoggar.

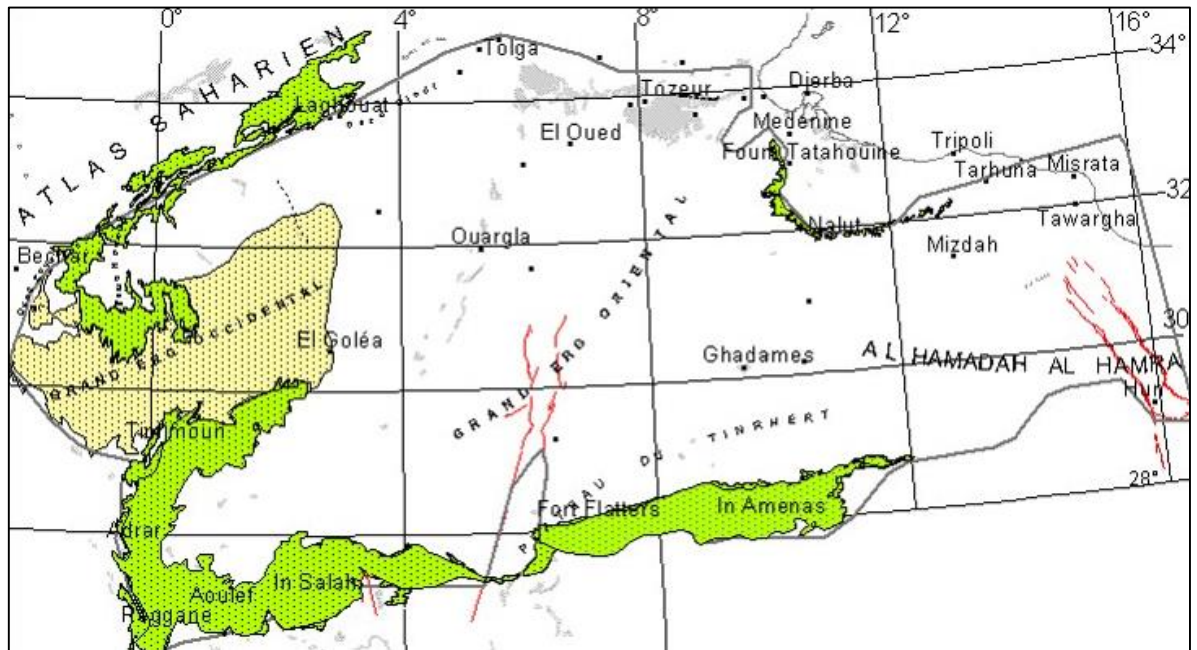


Figure n° 19- Les zones d'affleurement du Continental Intercalaire (OSS, 2003)

2.1.2. Géométrie du Continental Intercalaire

L'épaisseur utile totale de ce réservoir (épaisseur des dépôts perméables à eau douce) dépasse 250 m dans la plus grande partie du système étudié.

Elle atteint 1000 m au Nord-Ouest (Ouest de Ghardaïa) et au Centre (Ouest de la dorsale primaire d'Amguid).

La nappe du CI est libre dans les zones d'affleurement, captive non jaillissante sous le Grand Erg Occidental, le M'Zab, le Tademaït, le Grand Sud Tunisien et la Hamada El Hamra.

Elle est fortement artésienne jaillissante (avec des températures élevées) sur tout le domaine Oued Rhir, Souf, Djérid, Grand Erg Oriental et Chott Fedjaj (BELLAOUEUR 2008).

2.1.3. Piézométrie et zones d'alimentation du CI

La carte piézométrique du CI élaborée dans le cadre du projet SASS (OSS 2003) montre que les écoulements des eaux de la nappe en provenance de l'Atlas saharien, se trouvaient scinder au niveau l'axe de la dorsale du M'Zab, en deux directions privilégiées ; un écoulement vers le Sud et le Sud-Ouest, régions de Tidikelt, Touat et Adrar.

L'autre direction vers le Nord-Est, vers la zone des chotts et vers la nappe de la zone côtière de la Tunisie.

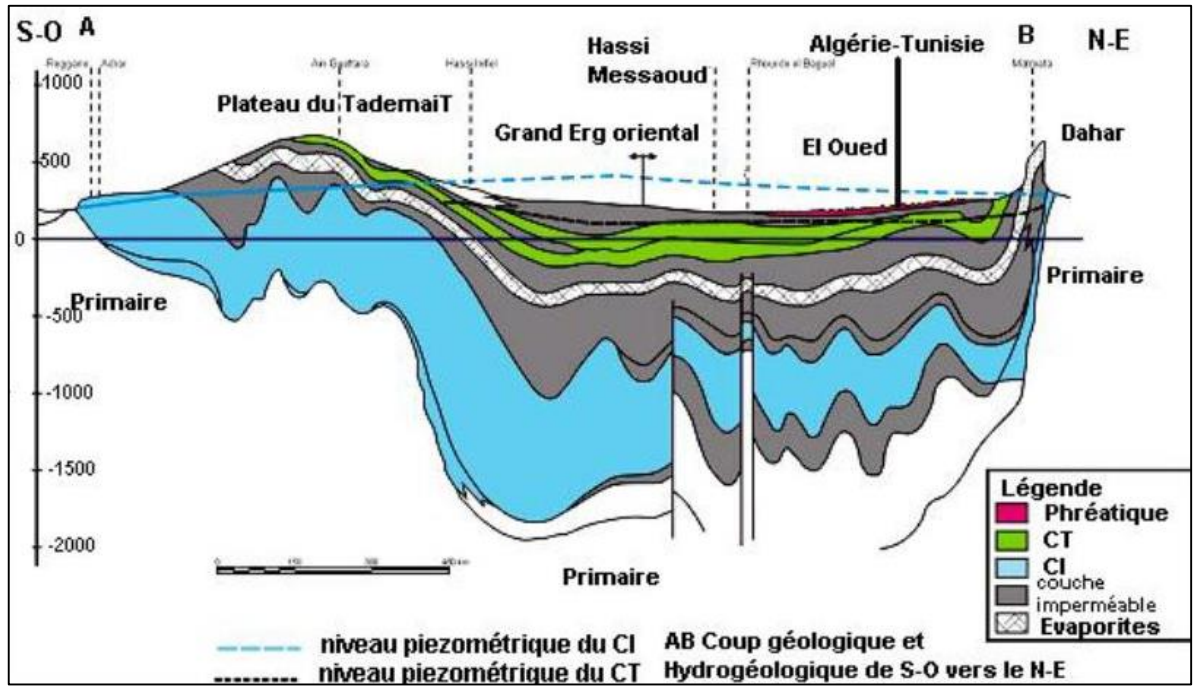


Figure n° 20- Coupe hydrogéologique Sud-Ouest Nord-Est du bassin du SASS (ERSS, 1972)

Dans la région de Ghardaïa, notre zone d'étude, la dorsale du M 'Zab d'un axe orienté N-S qui sépare l'écoulement des eaux du CI dans les sous-bassins Occidental et Oriental en ces deux directions distincte précitées (Nord vers Sud et Nord vers Est).

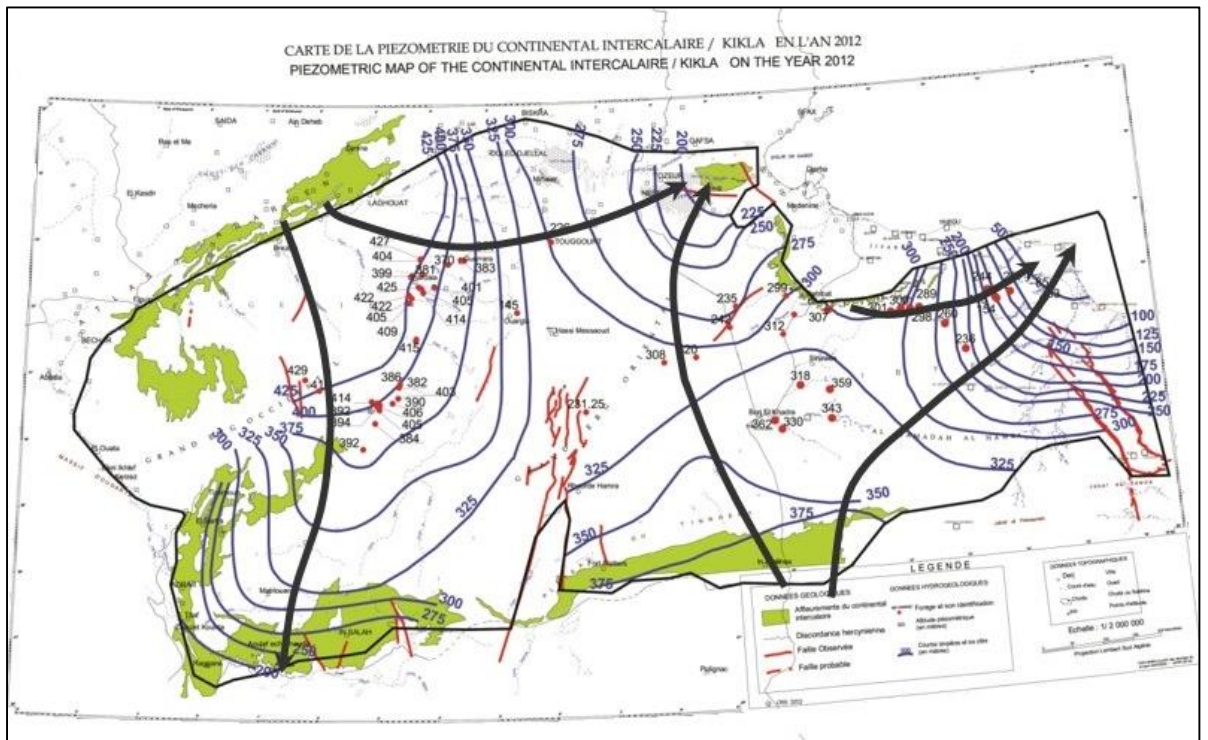


Figure n° 21- Carte piézométrique du Continental Intercalaire (OSS, 2012)

2.1.4. La réserve du Continental Intercalaire

L'étude de l'UNESCO/ERSS (1972) évalue le volume d'eau moyen de l'ensemble des aquifères du CI et CT à $60.000 \times 10^9 \text{ m}^3$. MARGAT (1992) fait état de 40.000×10^9 de m^3 , comme réserve de l'aquifère du CI.

Tableau. 12 : Volume d'eau du Continental intercalaire

Réservoir aquifère	Volume d'eau moyen (10^9 m^3)	Flux moyen (10^9 m^3)	Durée de renouvellement (Années)
Continental intercalaire (CI)	S	Q	S / Q
	20,000	0,3	70,000

(OULD BABA SY, 2005)

Selon l'étude sur la réserve de (OULD BABA SY 2005) ; pour une épaisseur moyenne du CI de 358mètres et une aire du domaine du CI évaluée à 1.100.000 Km^2 . La porosité efficace moyenne de l'aquifère est de 5% (OSS 2003) .Ce qui donne une réserve totale théorique de 20.000×10^9 de m^3 , soit 20.000 milliard de m^3 d'eau (OULD BABA SY, 2005).

2.1.5. Exploitation du Continental Intercalaire

Les études historiques ont montré que le continental intercalaire a été exploité depuis de longs siècles par les systèmes traditionnels des foggaras. Favorisées par les conditions hydrogéologiques dans ces zones, les foggaras sont introduites sur les rebords occidentaux et méridionaux du plateau de Tademaït dès le vingtième siècle.

Les premiers forages artésiens ont été d'autre part réalisés vers la fin du siècle dernier (El-Menia et Aïn-Salah), mais leur débit est resté faible jusqu'aux années 1950.

La réalisation des premiers grands forages profonds dans les zones de Zelfana, Guerrara, Ouargla et Oued Rhir a rapidement porté le débit d'exploitation à plus de $3 \text{ m}^3 / \text{s}$ vers les années de 1970 (BELLAOUEUR 2008).

Actuellement, l'exploitation annuelle par forages sur l'ensemble du bassin du SASS (Algérie, Lybie et Tunisie) est évaluée de plus de 2,7 milliards de m^3 (OSS, 2012), travers de plus de 9000 points d'eau forages et foggaras.

3. Le système aquifère local

3.1. Les nappes superficielles (phréatiques)

Dans la région de Ghardaïa, trois types de nappes superficielles ont été distinguées :

- La nappe d'eau contenue dans les calcaires du Sénonien carbonaté,
- La nappe d'eau contenue dans les calcaires fissurés du Turonien
- Les nappes alluvionnaires de l'Inféro-flux (Oueds).

3.1.1. La nappe du Sénonien carbonaté : Cette nappe est contenue dans les calcaires fissurés du Sénonien carbonaté à 180 mètres de profondeur. Les dépôts argilo-marneux du Sénonien lagunaire au-dessous forment le substratum imperméable de cet aquifère (ANRH, 2012). Elle constitue le prolongement occidental de la nappe du complexe terminal, cette nappe est localisée dans la partie Nord-Est de Ghardaïa, elle est captée avec succès dans la vallée de l'Oued Zegrir (Guerarra) par des sondages par battage à une profondeur de 180m en moyenne (ANRH, 2012).

3.1.2. La nappe du Turonien : Les affleurements des couches calcaires du Turonien dans la région de Ghardaïa, peuvent contenir des nappes d'eau de faibles importance (ANRH, 2012). Ces assises calcaires d'une épaisseur moyenne de 110m, présentent parfois des fissures et des karsts dans lesquels l'eau peut s'infiltrer (ACHOUR 2014).

3.1.3. Les nappes alluvionnaires : Les nappes phréatiques de surface sont très fréquentes dans notre zone d'étude. Elles sont formées d'alluvions et de sables du Quaternaire. Constituées de galets et de poudingues qui tapissent les lits des oueds de la dorsale du M'zab. Les alluvions reposent sur les couches calcaires durs du turonien. L'épaisseur de ces alluvions peut atteindre 25 à 30 mètres.

La profondeur du niveau d'eau varie entre 10 et 30m. Ces nappes présentent un intérêt très important dans le domaine agricole, elles servent comme une source vitale pour l'irrigation des oasis implantées dans les vallées des oueds et elles servent également pour l'alimentation en eau potable à l'amont, surtout dans la vallée de Dayet, Berriane, Metlili, et Sebseb.

3.2. Alimentation des nappes superficielles

Etant donné que ces nappes sont de surface type libre, elles sont directement alimentées par les eaux de pluie, ainsi que les fréquents écoulements des oueds où elles se trouvent.

Selon les fellahs, le niveau statique de ces nappes phréatiques a largement baissé ces dernières décennies par suite des périodes de sècheresse que subie la région. Les eaux de la nappe profonde du CI (albien) de certains forages destinés pour l'irrigation et l'AEP contribuent aussi à l'alimentation de ces nappes.

3.3. Piézométrie des nappes phréatiques

Selon les cartes piézométriques établies par l'ANRH sur les nappes phréatiques des oueds de la région de Ghardaïa, le sens des écoulements suit l'écoulement de surface des oueds, suivent les bassins versants pour chaque nappe. De l'amont vers l'aval s'écoulent suivant une direction du Nord-Ouest vers le Sud-Est.

Le niveau statique est profond en amont, et moins profond en aval et parfois la nappe affleure en surface, c'est le cas de la nappe de la vallée du M'Zab. Le gradient est variable de l'amont vers l'aval selon les perméabilités des alluvions.

Il faut mentionner aussi que les massifs carbonates calcaires du Turonien présentent parfois des fissures et des karsts où l'eau des pluies peut s'infiltrer et forment des poches d'eau de faible réserve exploitées par des forages à battage.

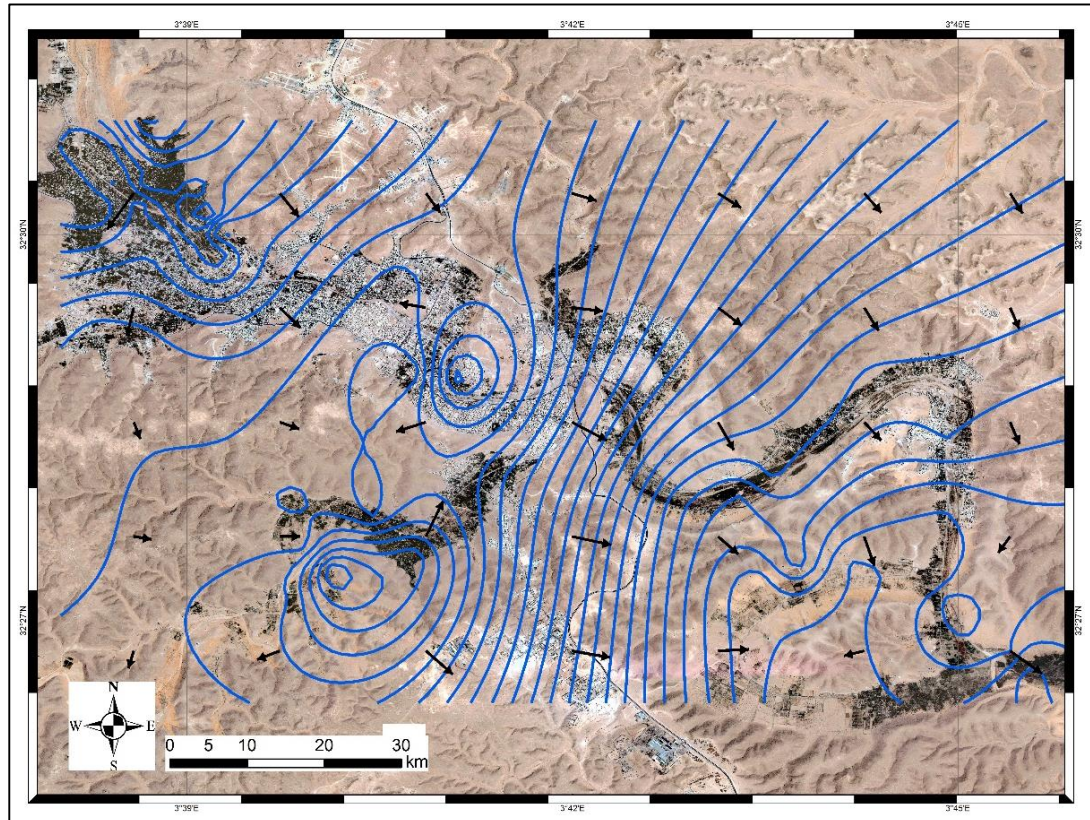


Figure n° 22- Carte piézométrique de la nappe phréatique de la vallée de l'oued M'Zab (ANRH, 2011)

3.4. Le Continental Intercalaire dans la région de Ghardaïa

Dans la région de Ghardaïa, l'étage principal exploité est de l'âge Albien. Il est composé de sables fins et de grès jaunâtres à gris à intercalations d'argiles. Cette masse grés-sableuse est exploitée avec succès par plusieurs forages dans tout le territoire de la wilaya de Ghardaïa.

3.4.1. Le toit du CI (Albien) : L'étude des coupes litho-stratigraphiques des forages de la région, nous a permis de localiser le toit de l'aquifère albien. L'utilisation de l'interpolation par la méthode du Krigeage, sous le logiciel ArcGIS, nous avons obtenu la carte d'égale profondeur du toit sur l'ensemble de notre secteur d'étude.

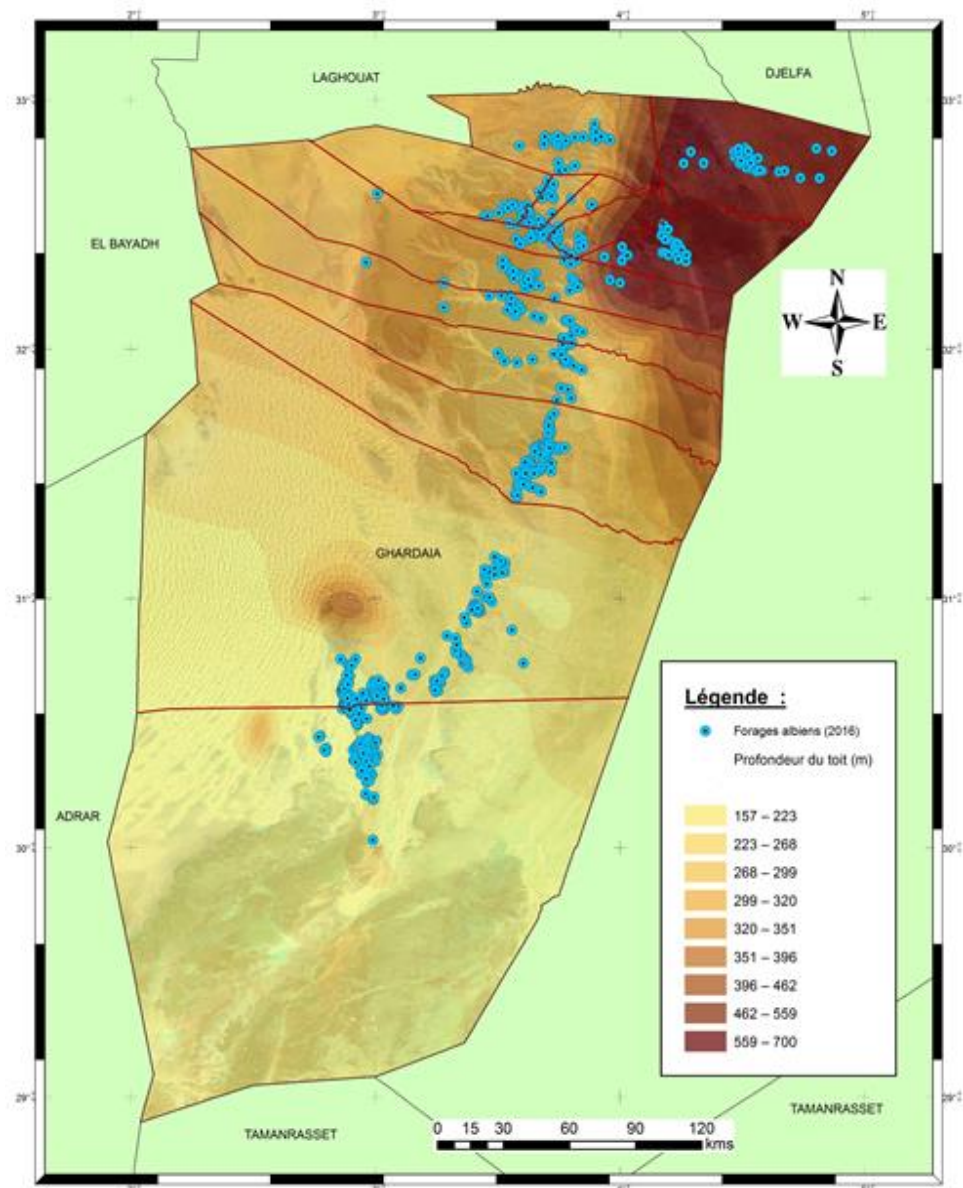


Figure n° 23- Carte de la variation du toit du Continental Intercalaire dans la région de Ghardaïa

La carte montre une large variation des profondeurs du toit de l'aquifère albien dans notre secteur d'étude, on observe que le toit de l'aquifères est moins profond il varie entre 60 et 150 m dans les zones sud-ouest exemple (Hassi fhal et El-Menia) ce que explique le nombre important des forages dans ces zones notamment à usage agricoles.

Cependant la profondeur du toit est plus élevée dans les zones nord est Guerrara et Zelfana elle varie entre 650 et 700 m ce qui explique le nombre modéré des forages albiens dans ces régions.

Dans les communes entourant le chef-lieu, comme Metlili, Daya, Bonoura, Atteuf, Berriane, Sebseb et Mansoura la variation des profondeurs du toit est de 250 à 320 m.

3.4.2. Profondeur du CI (albien) : La carte de profondeur montre la même allure que la carte du toit de l'aquifères. Les forages réalisés présentent des faibles profondeurs au zone Sud-Ouest Meniaet Hassi Garade 80 à 250 m, allant à 550 m dans les zone centre à Ghardaïa, Atteuf, Bonoura, Daya Berriane Sebseb, et une forte profondeur qui atteint plus de 1000 m au Nord- Est Guerrara et Zelfana.

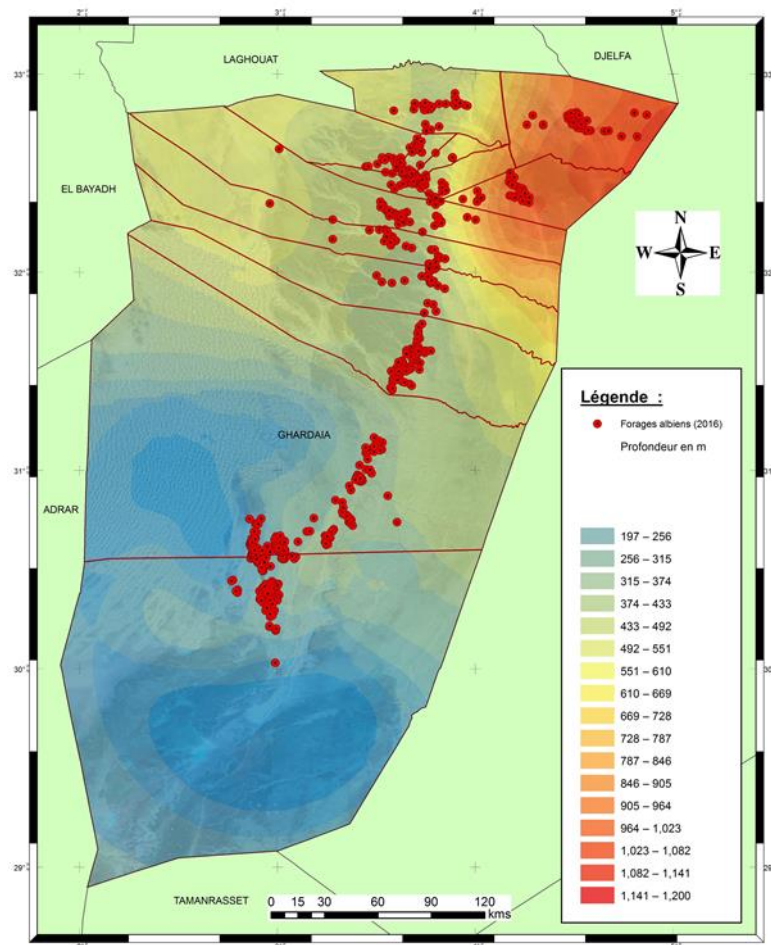


Figure n° 24- Carte de la variation de la profondeur du Continental Intercalaire dans la région de Ghardaïa

3.4.3. Interprétation des coupes lithologies du CI

Les profils lithologiques des forages exécutés dans notre région d'étude, nous ont permis de faire la description et l'interprétation lithologique de l'étage Albien exploité. La coupe lithologique est reconstituée sur la base de l'analyse des cuttings (débris de la roche forée) du sondage à chaque mètre. Pour chaque zone de notre secteur d'étude nous avons sélectionné une coupe représentative : Zone d'El-Menia – Zone de Hassi El-Fhel – Zone de Ghardaïa – Zone de Guerrara. (Rapports de fin de sondage /ANRH).

3.4.3.1. Zone d'El-Menia : La coupe concerne le forage de l'Hôtel El-Boustane, d'une profondeur de 150m, implanté au sein de l'Hôtel et destiné pour l'usage domestique. Ces coordonnées géographiques sont :

- Latitude : 30° 35' 10" N
- Longitude : 02° 53' 10,7" E
- Altitude : 352 m.

Etage Cénomanién

De 0 à 3 m	argiles sableuses jaunâtre et verdâtre
De 3 à 10 m	argiles sableuses verdâtres
De 10 à 15 m	argiles sableuses
De 15 à 18 m	argiles sableuses jaunâtres et verdâtres
De 18 à 25 m	argiles rouges
De 25 à 40 m	argiles rougeâtres

Etage Albien

De 40 à 60 m	argile rougeâtre à sables fins jaunâtres
De 60 à 80 m	argiles grises et sable fin rougeâtre
De 80 à 95 m	argiles rougeâtres sableuse
De 95 à 105 m	sable rouge à argile rougeâtre
De 105 à 110 m	sable jaunâtre à éléments grossiers
De 110 à 140 m	sable jaunâtre moyen à fin
De 140 à 150 m	Grès blanchâtres grossiers.

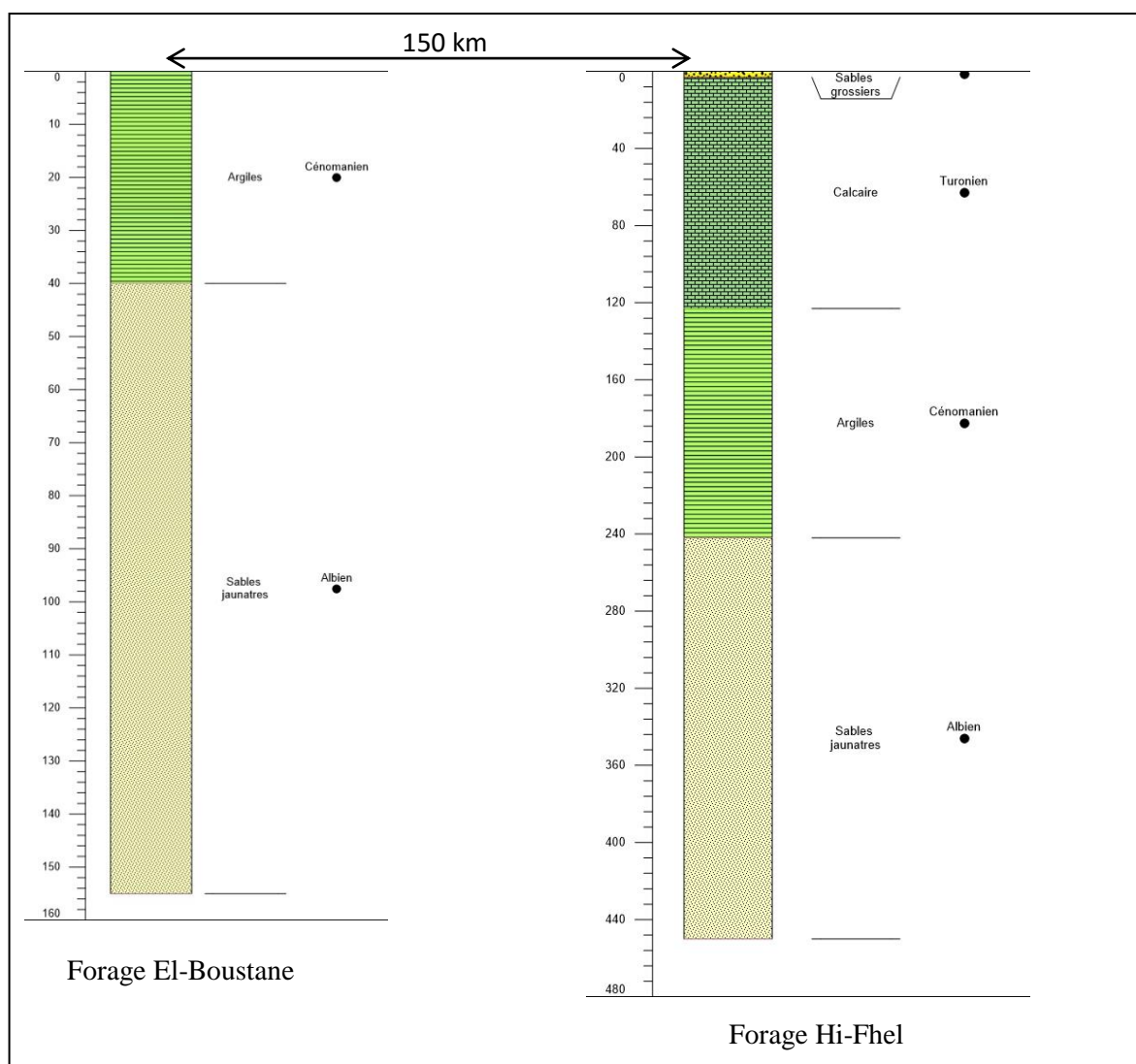


Figure n° 25- Coupes lithostratigraphiques des forages albiens (Sud de Ghardaïa)

3.4.3 2. Zone de Hassi El-Fhel : La coupe concerne le forage de la coopérative agricole CHENTIR, d'une profondeur de 450m. les coordonnées géographiques sont :

- Latitude : 31° 37' 55" N
- Longitude : 03° 43' 55" E
- Altitude Z : 369m

Le Quaternaire :

De 0 à 3 mètres. Il est composé de sables rose moyen conglomératiques.

Le Turonien :

De 3 à 123 mètres. Calcaire grisâtre à blanc à passage de marne jaune à rose.

Le Cénomaniens :

De 123 à 242 mètres. Il s'agit d'argiles verdâtres à grises, brunes, parfois noirâtres. Compactes et bariolée à gypses vitreux à la base.

L'Albien : A partir de 242 mètres.

De 242 à 260 m : argiles bariolées sableuses gréseuses ;

De 260 à 274 m : sables bruns moyen à fin argileux ;

De 274 à 380 m : Grès rose et gris, sables à argiles bariolées ;

De 380 à 400 m : sables jaunes à grès ;

De 400 à 420 m : sables fins roses gréseux, grès rouge, argile ;

De 420 à 450 m : sables fins brun argileux.

3.4.3 3. Zone de Ghardaïa : Le forage est destiné pour renforcer l'Alimentation en Eau Potable de la population de la ville de Ghardaïa, il a pour coordonnées géographiques :

- Latitude : 32° 29' 20" N,
- Longitude : 3° 40' 38" E
- Altitude Z : 499m.

Le Turonien :

De 0 à 67 mètres. Calcaire dur riche en dolomie, grisâtre à blanc massif, karstiques, Marneux jaunâtre à calcaire à la base.

Le Cénomaniens :

De 67 à 219 mètres. Il s'agit d'argiles verdâtres grises, brunes. Argiles grises et verdâtres à gypses fibreux blanc, argiles grisâtres claires.

Le Vraconien :

De 219 à 292 mètres. Il s'agit d'argiles bariolées marrons et verdâtres à gypses fibreux, sableuses à la base.

L'Albien :

A partir de 292 mètres. Sables bruns moyen à fin argileux, sables jaunes, gris, sables fins bruns et roses, sables, sables fins brun, grès rose et brun à ciment argileux, sables à argiles rouge, sables fins roses gréseux, grès rouge, argile rouge plastique à la base.

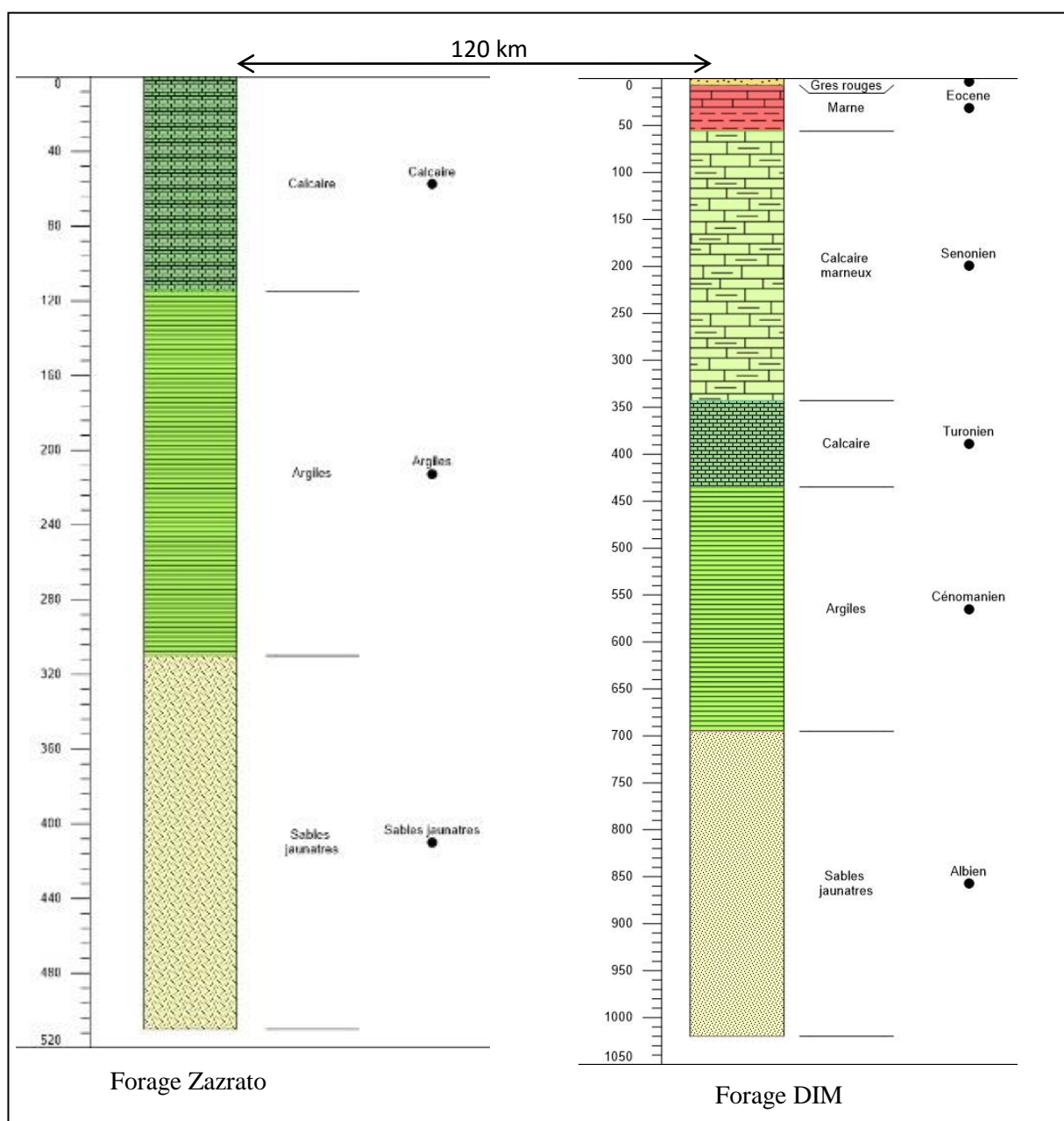


Figure n° 26- Coupes lithostratigraphiques des forages albiens (Nord de Ghardaia)

3.4.3 .4. Zone de Guerrara : La coupe concerne le forage de la zone industrielle de Guerrara, d'une profondeur de 1020m. les coordonnées sont ;

- Latitude : 32° 46' 29" N
- Longitude : 04° 28' 38" E
- Altitude Z : 316m

Le Miopliocène :

De 0 à 7 mètres. Il est composé de calcaire conglomératique rose et sable moyen rouge à ciment argileux.

L'Eocène :

De 7 à 56 mètres. Il est composé de calcaire blanchâtre à gris parfois dur. Alternance Marne jaunâtre carbonatée et calcaire.

Le Sénonien :

De 56 à 220 mètres. Il est composé de marne jaunâtre à blanc carbonatée, argiles carbonatées crayeuses, dolomies roses et anhydrite à la base.

De 220 à 343 mètres. Alternances dolomie grise, anhydrite, gypse, argile grise, marne rouge et jaune.

Le Turonien :

De 343 à 435 mètres. Calcaire grisâtre à blanc à passage de marne jaune à rose.

Le Cénomaniens :

De 435 à 695 mètres. Il s'agit d'argiles grises, brunes, parfois noirâtres. Compactes et bariolée à gypses vitreux à la base.

Le Vraconien :

Dans la présente coupe, il est très difficile de le distinguer. On le joint souvent avec le Cénomaniens.

L'Albien : A partir de 695 mètres.

De 695 à 712 m : argiles bariolées sableuses gréseuses ;

De 712 à 721 m : sables bruns moyen à fin argileux ;

De 721 à 751 m : Grès rose et gris, sables à argiles bariolées ;

De 751 à 777 m : sables jaunes à grès ;

De 777 à 910 m : sables fins roses gréseux, grès rouge, argile ;

De 910 à 1015 m : sables fins brun argileux ;

De 1015 à 1020 m : argiles grises sableuses, à vertes, sables fins bruns et roses, argiles bariolées sableuses.

Pour établir une corrélation lithologique nous avons utilisé le logiciel STRATER, qui nous a permis de tracer une coupe corrélatrice qui passe par les forages : El Boustane (El Menia) – Chentire (Hassi El fhel) – Zazratou (Ghardaïa) – DMI (Guerrara), suivant une orientation Sud-Ouest Nord-Est (Figure n 27).

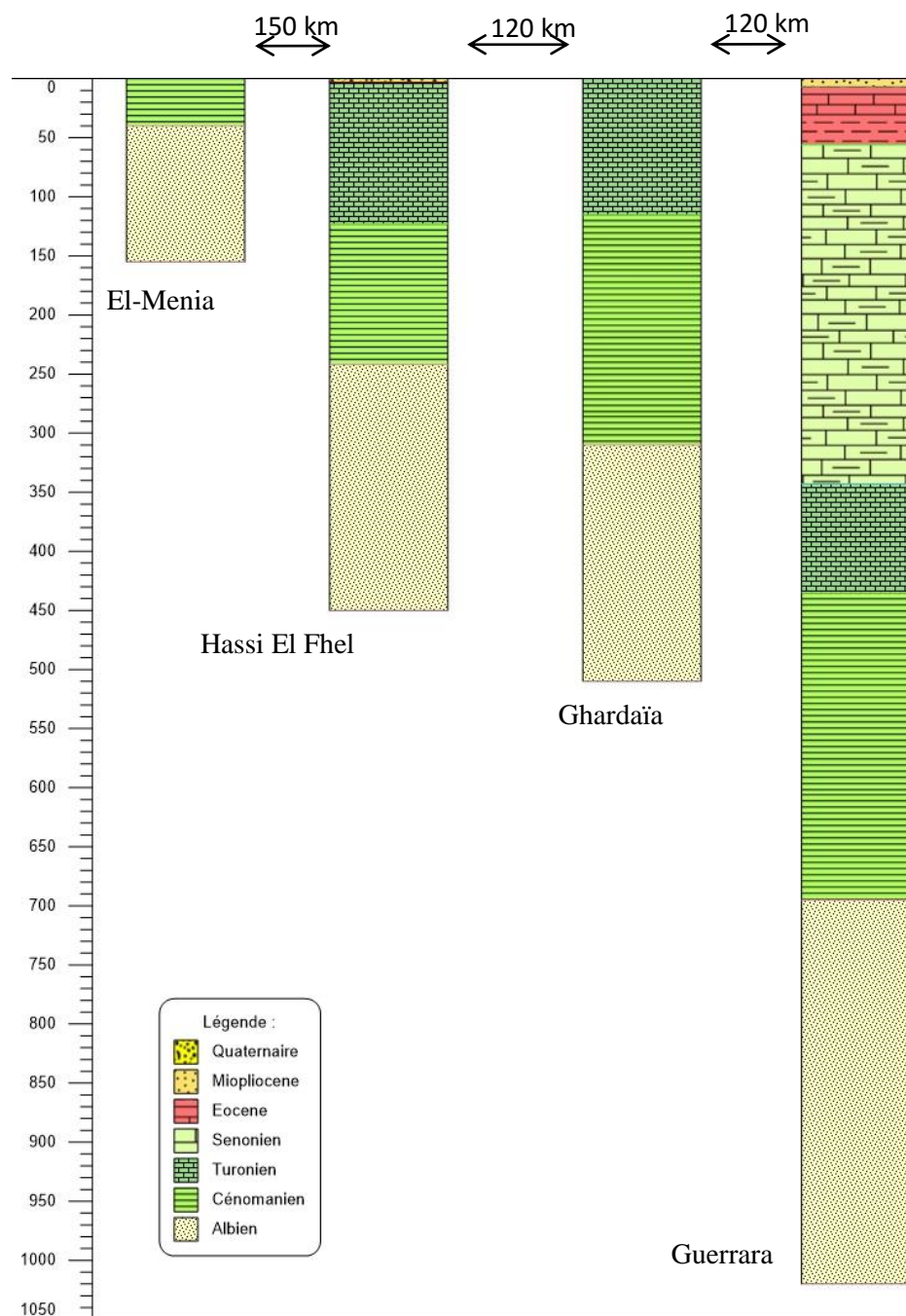


Figure n° 27- Corrélation lithostratigraphiques entre les forages du Continental Intercalaire de Ghardaïa.

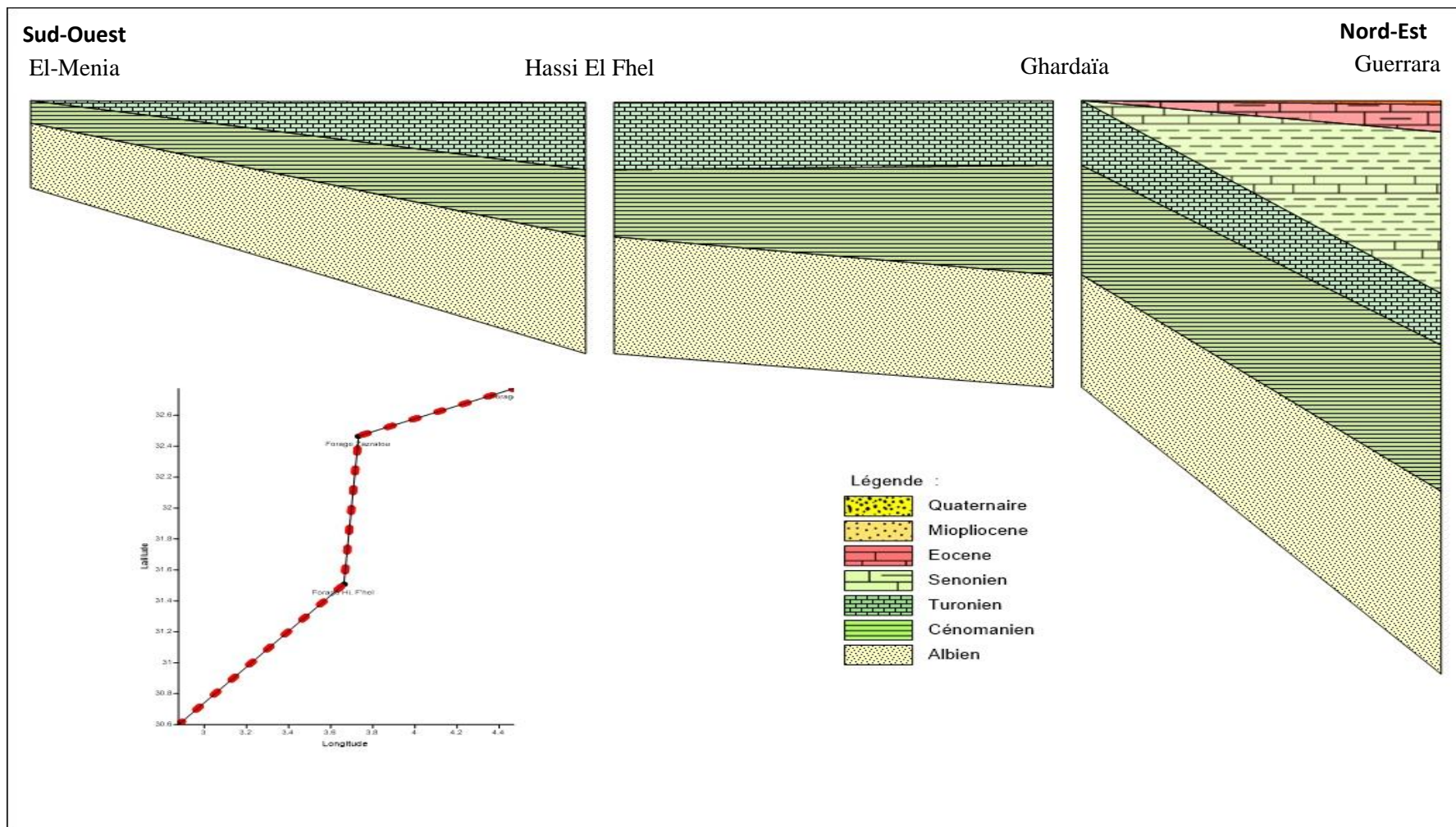


Figure n° 28- Coupe litho-stratigraphique SW-NE de la région de Ghardaïa

4. Gestion des ressources hydriques dans la région de Ghardaïa

La principale ressource hydrique exploitée dans les régions de Ghardaïa est la nappe souterraine captive des continental intercalaire. Cette nappe est exploitée par des forages de différentes profondeurs selon les régions, on trouve des forages artésiens jaillissants à Guerrara Zelfana et certaines régions d'El-Menia et Hassi El fhel. et des forages par pompage à Berriane, Ghardaïa et Metlili.

4.1. Inventaire des points d'eau du CI

Dans notre secteur d'étude, la nappe du CI est exploitée par l'exécution de forages de profondeur variable selon les régions ; 100 à 250 à El-Menia, 450 à 500 à Sebseb et Ghardaïa, et de 900 à 1000m à Zelfana et Guerrara.

L'inventaire de l'ANRH réalisé en 2016 (Tableau 13) à travers l'ensemble de la wilaya de Ghardaïa nous a permis de totaliser nombre de 766 forages qui exploitent la nappe pour différents usages, que ce soit pour l'irrigation, l'industrie, ou l'alimentation en eau potable (AEP) (ANRH 2016).

Tableau. 13 : Inventaire des forages albiens selon l'état de l'exploitation

Désignation	Exploité	Non Exploité	Totaux
Forage AEP	124	48	172
Forage Irrigation	441	133	574
Forage Industrie	18	2	20
Totaux	583	183	766

D'après le tableau nous observons que les majorités des forages exploités sont destinés pour l'irrigation, avec un total de 574 forages, soit 75% des forages totale.

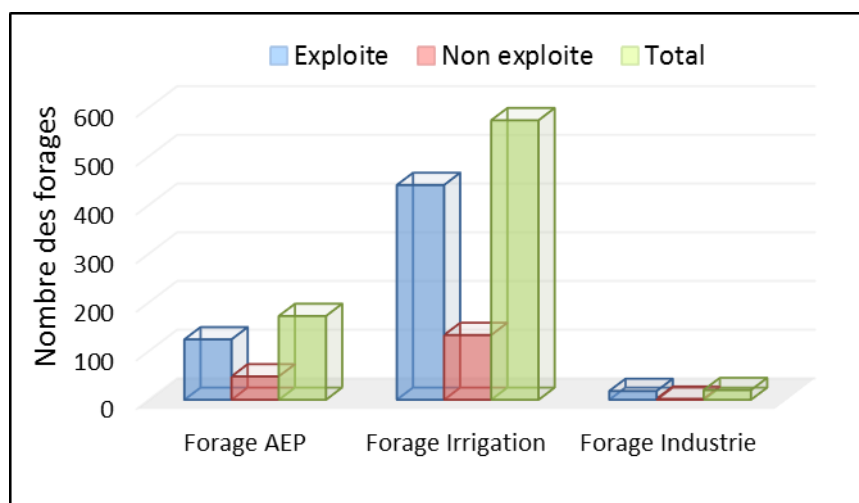


Figure n° 29- Etat des forages du CI inventories

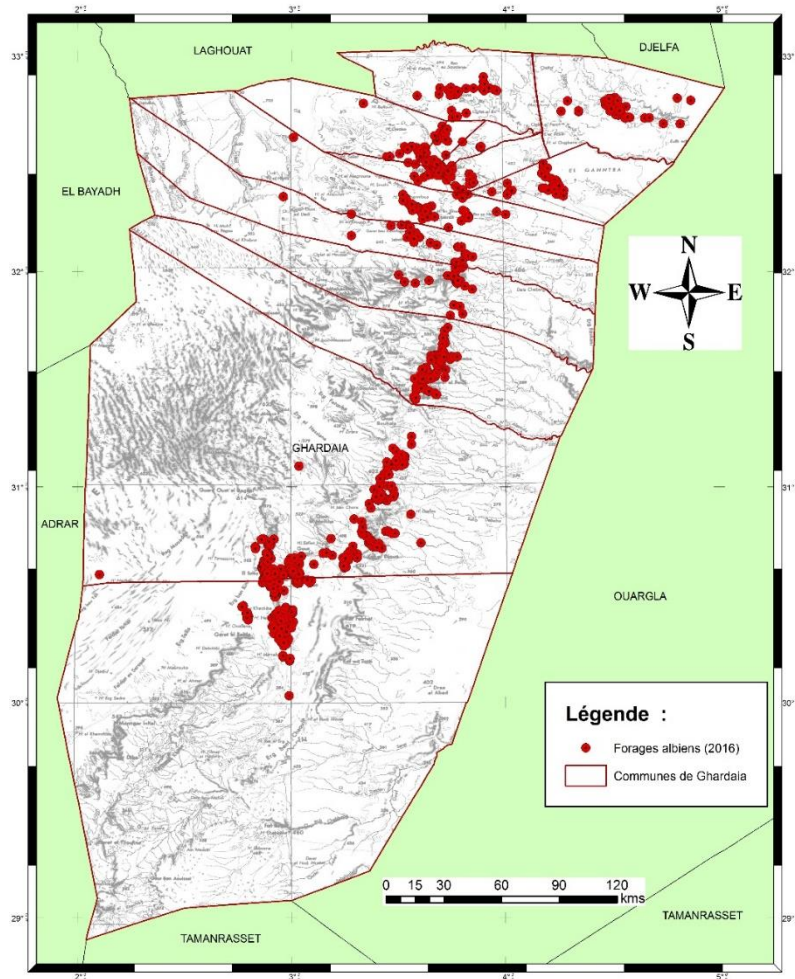


Figure n° 30 - Inventaire des forages d'eau dans la région de Ghardaïa

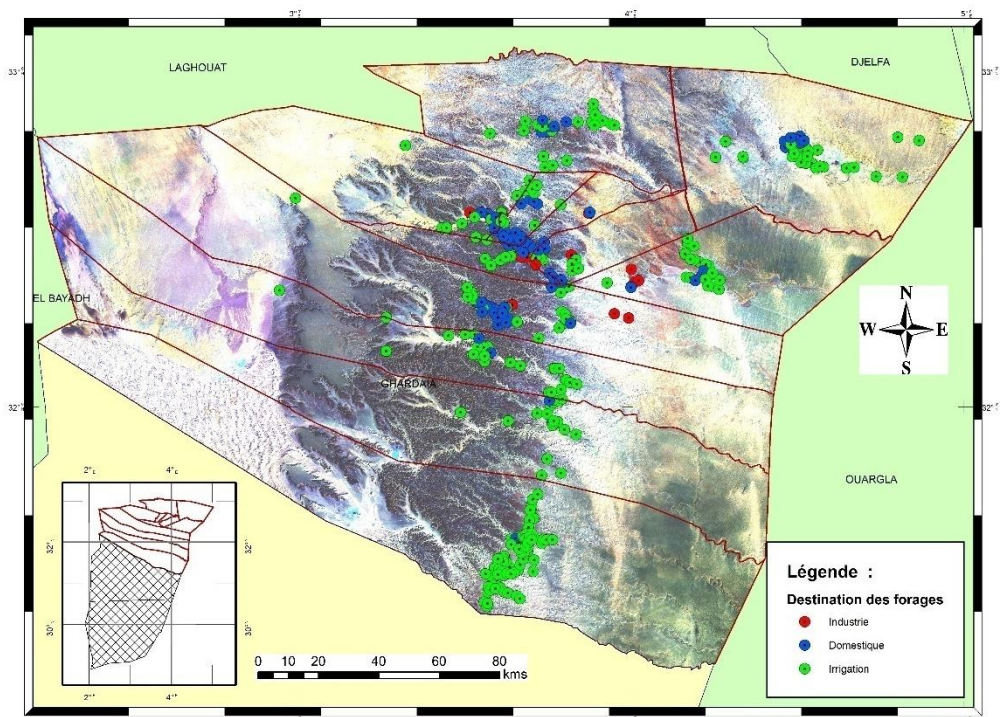


Figure n° 30 - Inventaire des forages d'eau au Nord la région de Ghardaïa

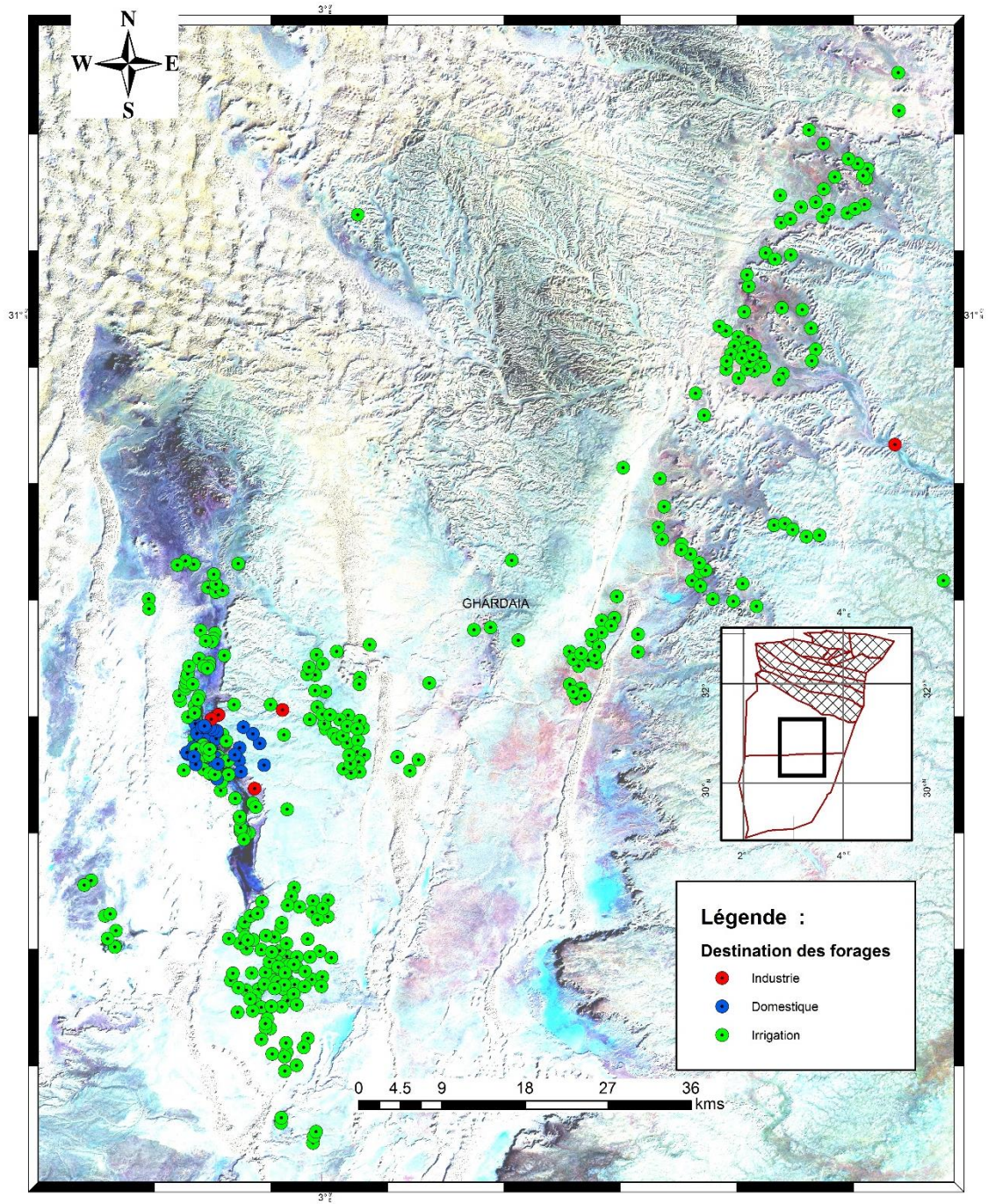


Figure n° 32 - Inventaire des forages d'eau au Sud la région de Ghardaïa

4.2. Exploitation du CI dans la région de Ghardaïa

Les données qui nous a récolté auprès des différents services qui gèrent l'eau ; la Direction des Services Agricole (**DSA**), la Direction des Ressources en Eau (**DRE**), l'Algérienne des Eaux (**ADE**) et l'**ANRH**, montrent que le volume d'eau exploité de la nappe de CI est passé de 186,5Hm³ en 2005 puis en 2011 de 367,47 Hm³, pour atteindre 419,76 Hm³ en 2016, soit 419,76 Millions de m³ d'eau soutiré annuellement de la nappe (ANRH 2016).

Tableau. 14 : Evolution du volume d'exploitation des eaux du Continental Intercalaire par usage (ANRH,2016)

Usage	Volume d'eau exploité (hm ³ /an)		
	2005	2011	2016
AEP	43.49	58.74	68.5
IRR	137.02	302.02	344.33
AEI	5.99	6.71	6.93
Totaux	186.5	367.47	419.76

Nous observons que le secteur agricole mobilise une grande quantité d'eau par rapport aux autres secteurs, soit 344,33hm³/an, à cause des programmes des développements lancés par l'état dans ce domaine, notamment la mise en valeur par la concession et l'APFA (Accès au Propriété Foncier Agricole) depuis les années 2000.

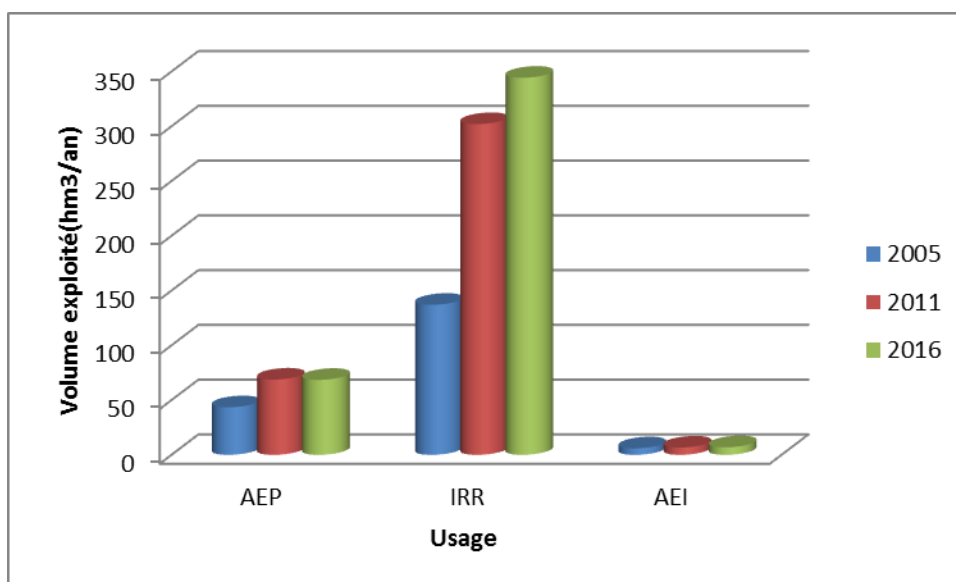


Figure n° 33- Evolution de l'exploitation des eaux du Continental Intercalaire par usage du 2005 au 2016

D'après l'histogramme on remarque une grande évolution de la consommation d'eau pour l'irrigation au cours de cette période 2005-2016. suivie par les besoins en eau pour l'AEP. Par contre les besoins en eau pour l'industrie n'ont pas connu une grande évolution au cours de cette période.

5. Piézométrie du CI dans la région de Ghardaïa

L'étude piézométrique du CI dans la région de Ghardaïa, nous permettra de connaître l'hydrodynamisme de la nappe, le sens d'écoulement, le gradient hydraulique, ainsi que les zone d'alimentation.

Le niveau piézométrique d'une nappe d'eau souterraine représente la hauteur du plan d'eau de cette nappe par rapport au niveau de la mer. Par contre le niveau statique représente la profondeur mesurée dans le forage entre le niveau du sol et le plan d'eau dans ce forage.

Pour relever les niveaux statiques sur les forages de notre secteur d'étude nous avons utilisé une sonde électrique à ruban gradué. Un GPS (Geographic Positioning System) pour la déterminer les coordonnées géographiques et la cote Z du point d'eau.

Pour élaborer les différentes cartes nous avons utilisé les logiciels de cartographie SIG, le SURFER 13 et l'ArcGIS 10. Pour l'interpolation nous avons appliqué la méthode du Krigeage.

5.1. Niveau statique et limite d'artésianisme

La carte du niveau statique que nous avons tracé, montre que la région de Ghardaïa est subdivisée en deux zones limitées approximativement par la route nationale RN1 Nord Sud. A l'est la nappe est jaillissante, cependant la zone de l'Ouest les forages sont exploitées par de pompage.

Du Sud vers le Nord le niveau statique devient plus profond. Le maximum est situé au Nord de Berriane de plus de 140m au-dessous du sol.

La courbe de valeur 0 représente la limite de l'artésianisme de la nappe du CI dans la région de Ghardaïa.

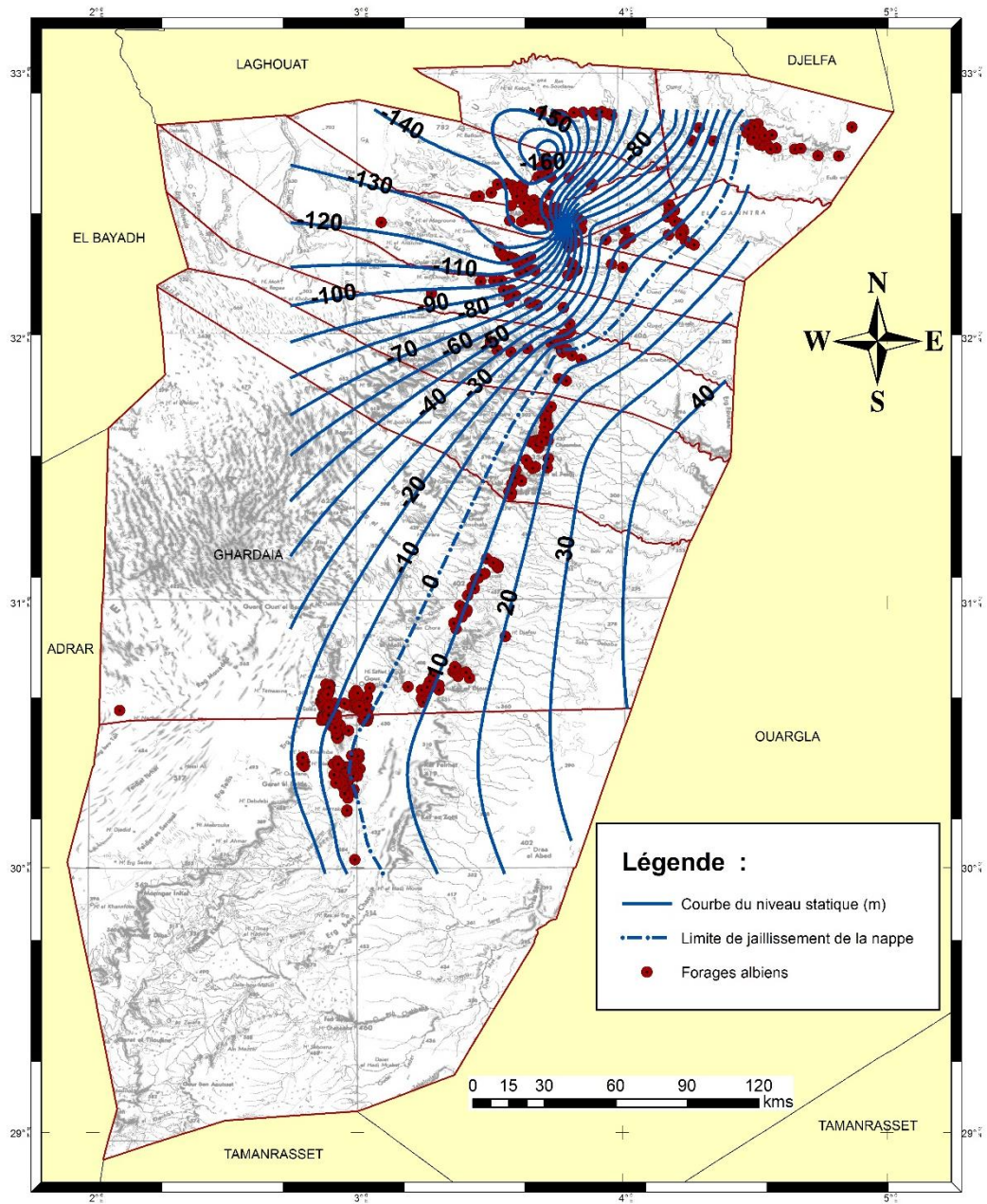


Figure n° 34- Carte du niveau statique du Continental Intercontinental dans la région de Ghardaïa (année 2018).

5.2. Piézométrie du CI de l'année 2010

La carte piézométrique réalisée en 2010 confirme très bien, l'écoulement général de la nappe du continentale intercalaire déjà connu dans tout le bassin du Sahara septentrional, elle est de direction Nord-Ouest vers le Sud-est, mais parfois elle est perturbée par dépressions piézométriques. Ces dernières sont situées dans les centres urbains et les zones agricoles de la région de Ghardaïa, causée par une forte exploitation de la nappe de CI pour l'AEP et pour l'Irrigation.

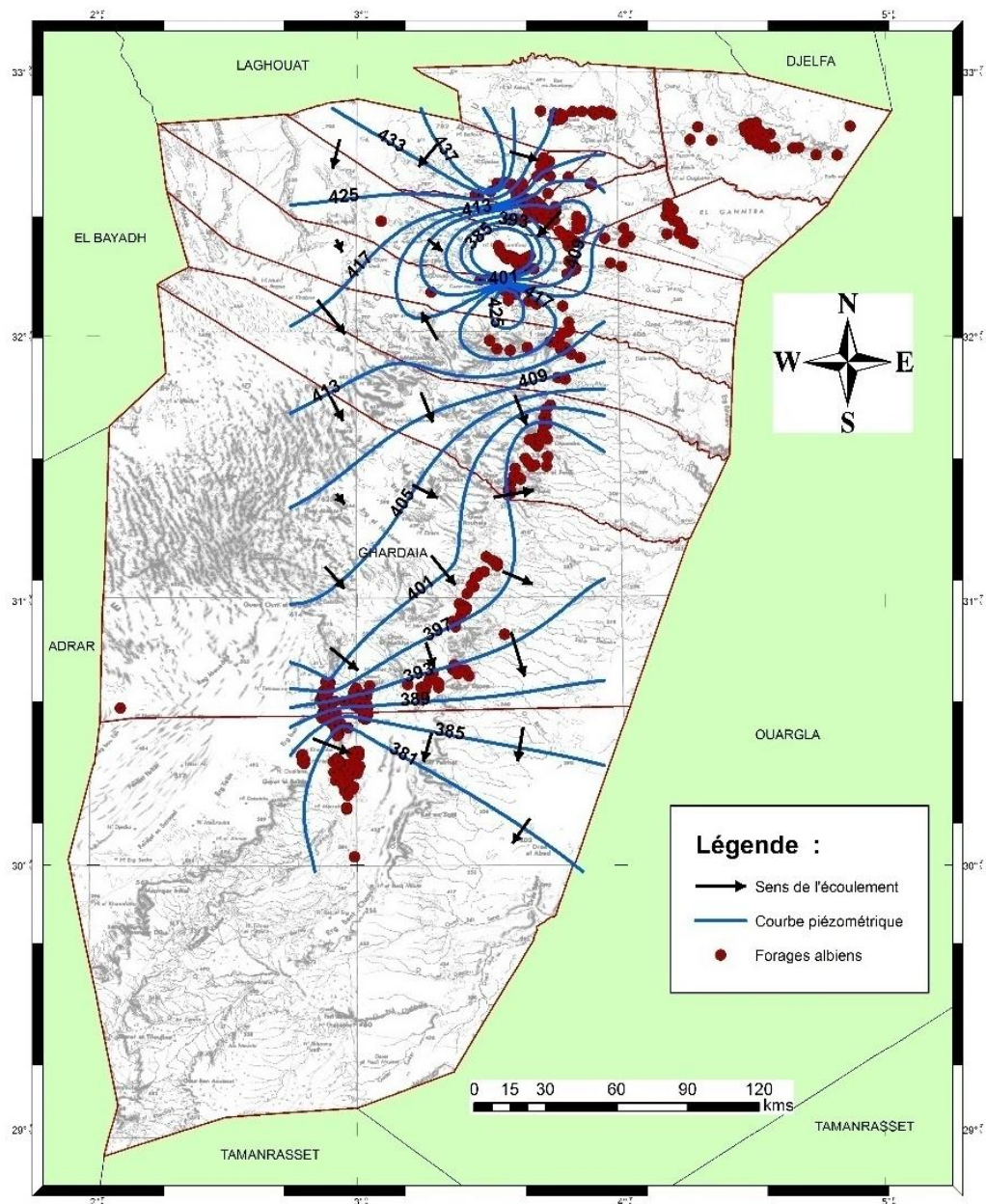


Figure n° 35- Carte piézométrique de la nappe du Continental Intercalaire dans la région de Ghardaïa (année 2010).

5.3. Piézométrie du CI de l'année 2018

Nous avons réalisé la carte sur la base de la campagne piézométrique que nous avons effectuée avec les services de l'ANRH en mois de mars 2018.

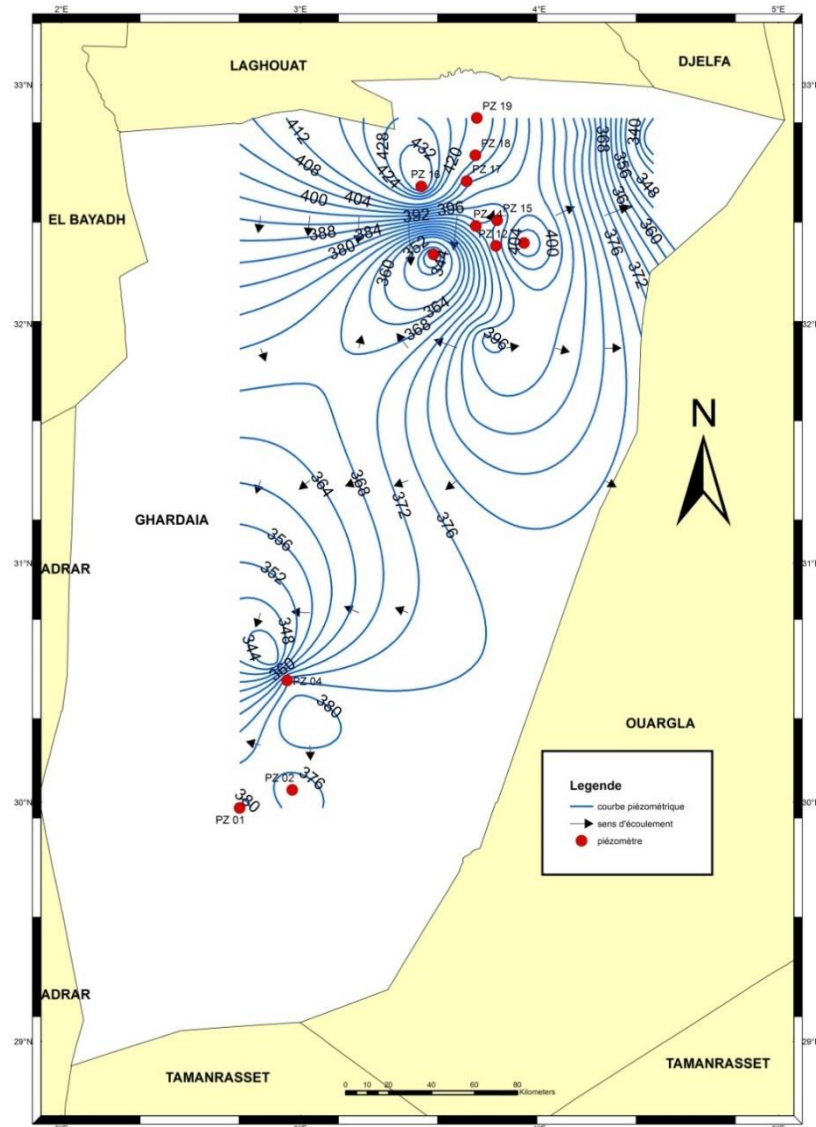


Figure n° 36- Carte piézométrique du Continental Intercalaire dans la région de Ghardaïa (mars 2018)

La carte piézométrique montre la même allure que la carte piézométrique de 2010, le sens d'écoulement est de direction Nord-Ouest vers le Sud-est, avec des perturbations de l'écoulement au niveau des centres urbains et les zones agricoles, causée par une forte exploitation de la nappe de CI pour l'AEP et pour l'Irrigation. On remarque aussi que le niveau piézométrique a diminué dans toute la région de Ghardaïa avec la création des nouveaux périmètres irrigués.

5.4. Evolution piézométrique entre l'année 2010 et 2018

La carte de différence piézométrique entre les périodes 2010 et 2018. Montre que le niveau a baissé sur l'ensemble de la région de Ghardaïa, avec une moyenne de 9.5 mètres, surtout dans la partie Nord de Ghardaïa où elle peut atteindre 18 mètres, elle est provoquée par une forte exploitation (P14). Dans les zones urbaines les forages de l'AEP sont exploités pendant 20 heures par jour sur toute l'année pour satisfaire la demande sur l'eau par population.

Dans la partie Sud de la région de Ghardaïa, la baisse de niveau piézométrique est faible, elle varie entre 6.5m à El Menia et 2.5m à Hassi El Gara.

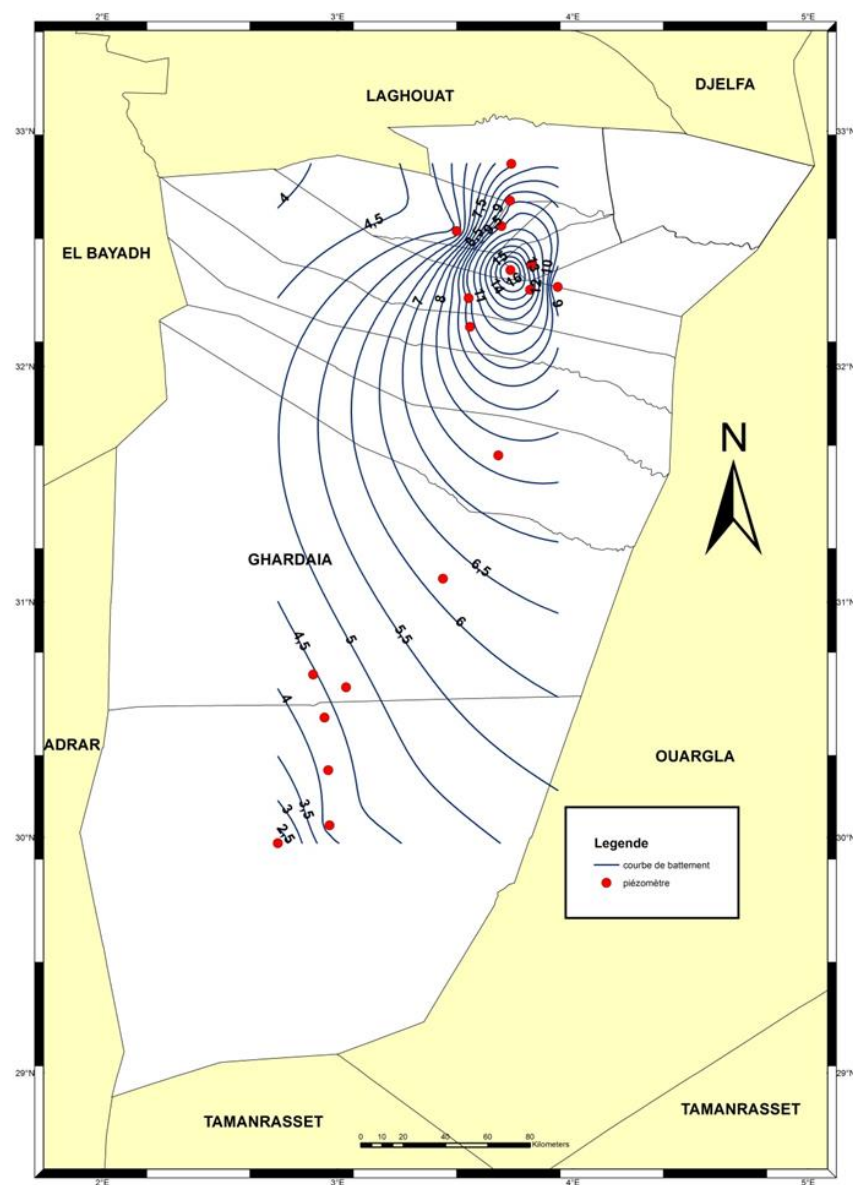


Figure n° 37- Carte de l'évolution piézométrique de la nappe du Continental Intercalaire dans la région de Ghardaïa (période 2010-2018)

6. Paramètres hydrodynamiques du CI dans la région de Ghardaïa

6.1. Etude de l'interférence des forages

Lors de l'implantation des forages, il est toujours recommandé de respecter la distance entre les forages pour éviter l'influence des uns par rapport aux autres au cours des heures d'exploitation, Cette distance est appelée rayon d'interférence.

Dans notre secteur d'étude le rayon d'interférence des forages albiens qu'il faut respecter selon les études hydrogéologiques effectuées par l'ANRH est de 1 km.

Pour déterminer les rayons de l'interférence des forages dans la région de Ghardaïa nous avons utilisés l'outil BUFFER du logiciel ArcGIS (Figure n 38). Les résultats sont représentés dans la carte de la figure39.

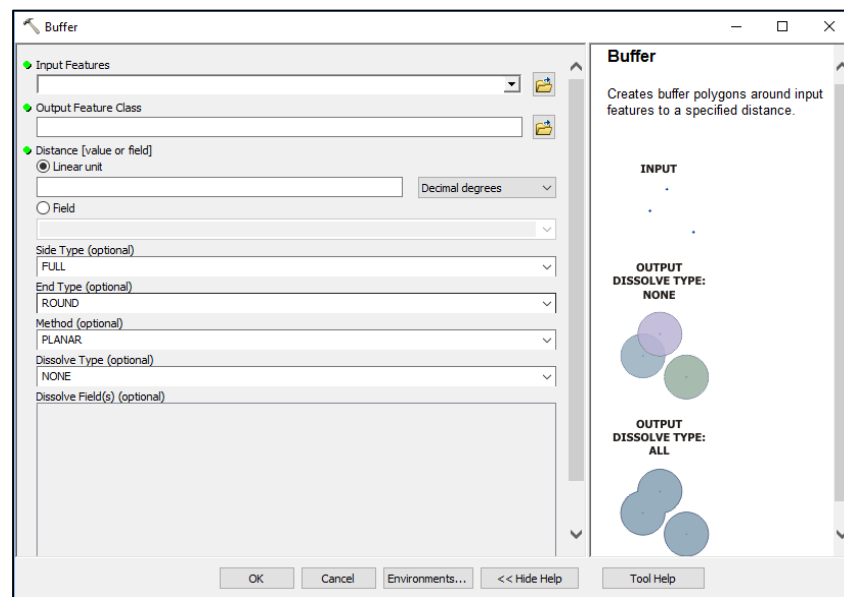


Figure n° 38- L'outil BUFFER de l'ArcGIS

La carte de l'interférence montre que la majorité des forages réalisés dans la région ne respectent pas la distance recommandée par l'ANRH, ce qui explique les dépressions piézométriques constatées sur les cartes piézométriques réalisées.

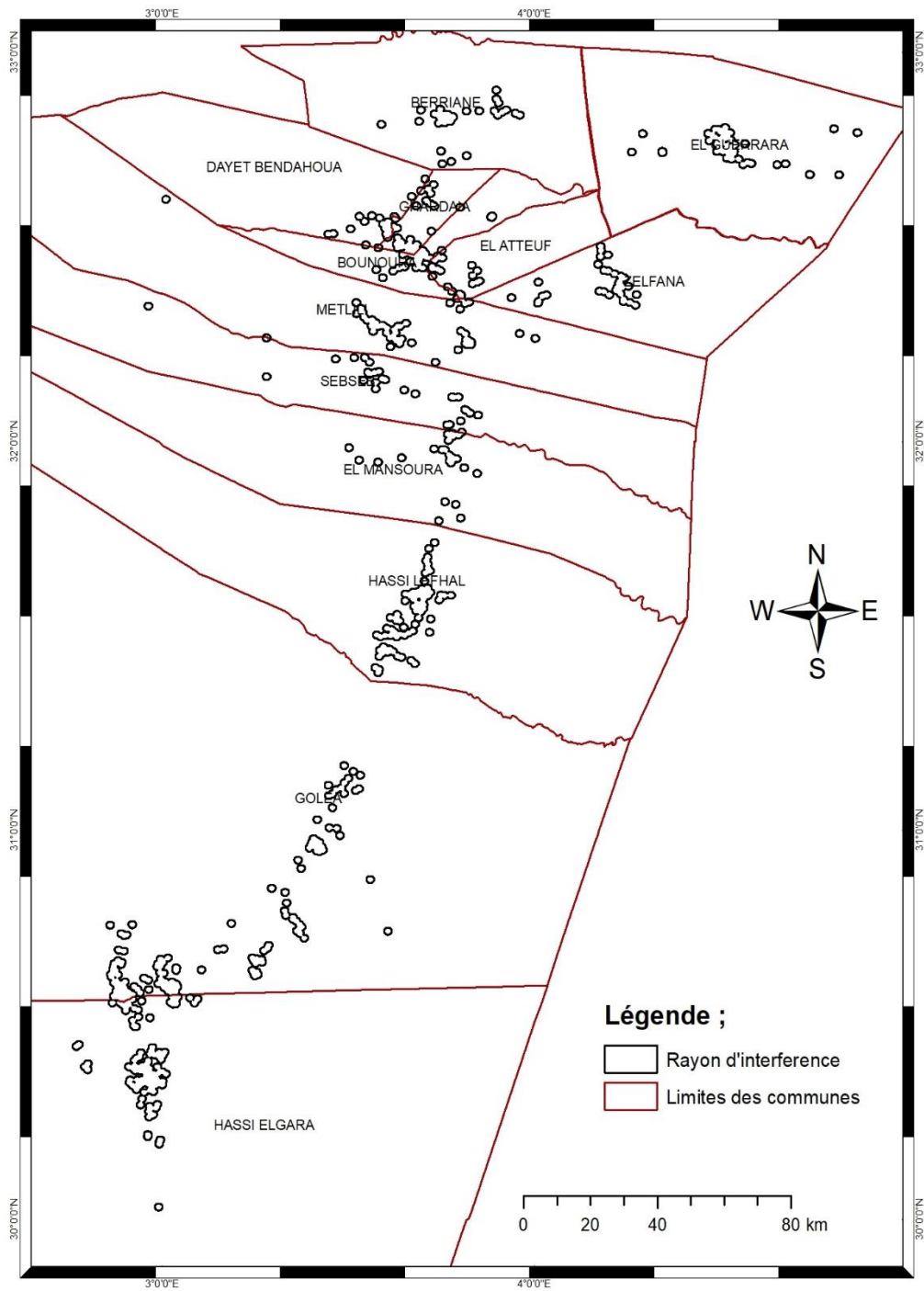


Figure n° 39- Les rayons d'interférence des forages du CI dans la région de Ghardaïa

6.2. Essais par paliers

La détermination des différents paramètres hydrodynamiques est indispensable pour l'évaluation de la capacité du réservoir aquifère et l'étude du comportement général de la nappe vis-à-vis de l'exploitation. Les essais permettent aussi de vérifier la conception des puits et de tester assez rapidement les réactions du forage et de déterminer ainsi ses possibilités de production.

Dans la présente étude, nous allons interpréter les résultats des essais de débit par paliers réalisés sur deux forages albiens, l'un situé au Sud à El-Menia, l'autre situé au Nord à Ghardaïa. La représentation graphique des résultats a été fait par Excel.

Le mode opératoire consiste de maintenir quatre paliers de débit pendant une durée limitée quelques heures en général, tout en mesurant le débit pompé (Q) et le rabattement correspondant (S). Chaque palier de débit est suivi d'un temps d'arrêt de pompage permettant la remontée stabilisée de la nappe (niveau statique).

L'équation de Jacob, permet de déterminer le rabattement (S) dans le puits à l'instant (t) pour n'importe quel débit pompé de l'ouvrage, elle est de la forme ;

$$S = B (Q) + C (Q^2)$$

Avec ;

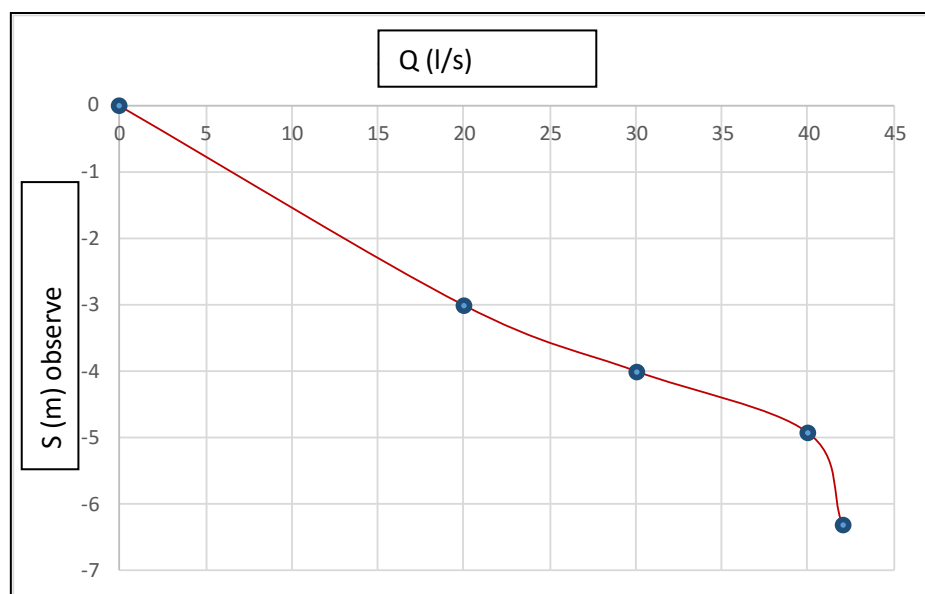
- S** : le rabattement dans le forage (m)
- Q** : le débit de pompage (l/s)
- B** : la perte de charge linéaire caractéristique de l'aquifère
- C** : la perte de charge quadratique due à la confection du forage

6.2.1. Essai sur le forage d'El Menia : Il s'agit du forage de El-Boustane de 150m de profondeur. Les résultats de l'essai sont dans le tableau suivant ;

.

Tableau 15 -Essai de pompage par paliers sur le forage d'El Menia

Paliers de débit	Durée (h)	Q (l/s)	Q (m ³ /h)	ND (m)	s (m) observé	s/Q spécifique
		0	0	12,55	0	\
1	4	20	72	15,55	3,0	0,15
2	4	30	108	16,54	3,99	0,133
3	4	40	144	17,47	4,92	0,123
4	4	42	151,1	18,85	6,30	0,546

**Figure n° 40**– Courbe caractéristique $S=f(Q)$

L'analyse des essais montre que le débit critique est 40 l/s environ, donc le débit d'exploitation du forage varie entre 30 et 35 l/s, soit 108 et 126 m³/h. Ce qui correspond à un rabattement dans le forage variant entre 4 et 5m.

$$B = 0,129071$$

$$C = 0,0011 \text{ m/l/s} = 1,11 \times 10^{-6} \text{ m/m}^3/\text{s}$$

L'équation spécifique du forage selon la loi de Jacob devient donc ;

$$S = 0,129 (Q) + 0,0011 (Q^2)$$

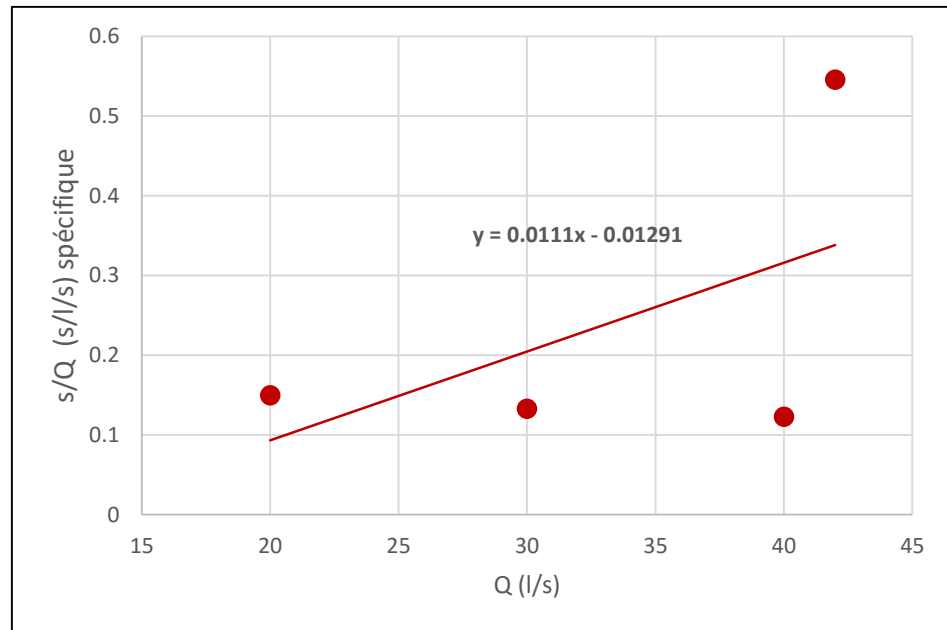


Figure n° 41- Courbe caractéristique $S/Q=f(Q)$

6.2.2. Essai sur le forage de Ghardaïa : Le forage situé en aval de la ville de Ghardaïa, il a 500m de profondeur. Le niveau statique est de 31,5m.

Les paliers de débit des essais sont :

Tableau 16 -Essai de pompage par paliers sur le forage du Ghardaïa

Paliers de débit	Durée (h)	Q (l/s)	Q (m ³ /h)	ND (m)	s (m) observé	s/Q spécifique
		0	0	31,5	0	\
1	5	18	64,8	39,24	7,74	0,430
2	5	35	126	41,3	9,8	0,280
3	5	55	198	47,35	15,85	0,288

$$B = 0,3493$$

$$C = 0,41493 \text{ m/l/s} = 0,41 \times 10^{-6} \text{ m/m}^3/\text{s}$$

L'équation spécifique du forage selon la loi de Jacob devient ;

$$S = 0,3493 (Q) + 0,41493 (Q^2)$$

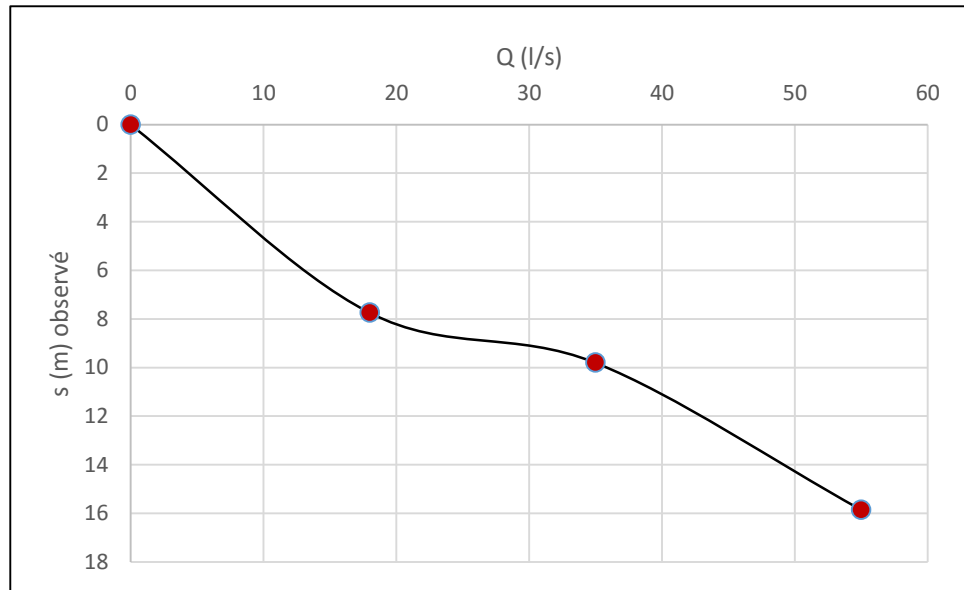


Figure n° 42- Courbe caractéristique $S=f(Q)$

La courbe nous montre que le débit critique n'est pas encore atteint.

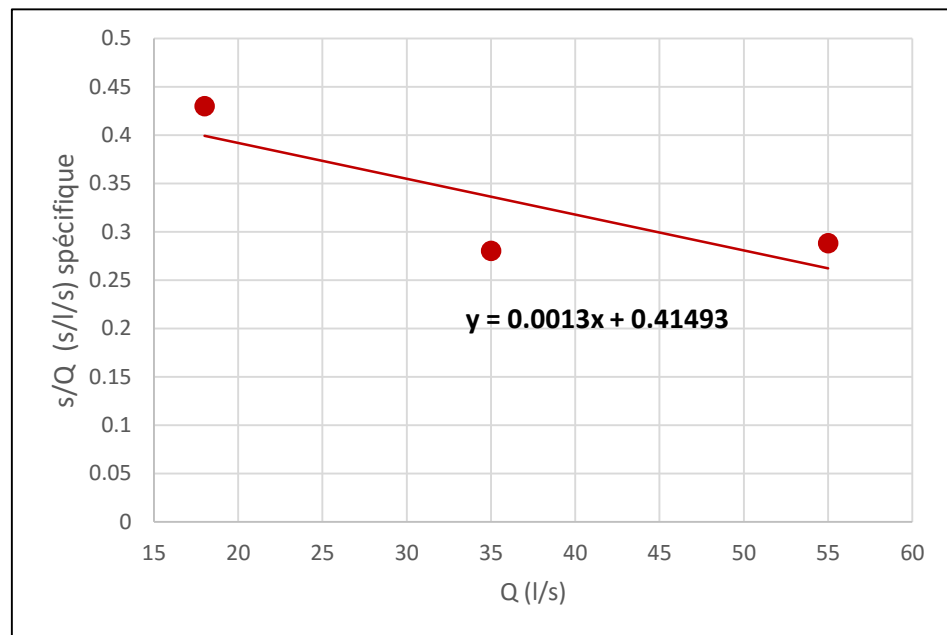


Figure n° 43- Courbe caractéristique de $S/Q=f(Q)$

6.2.3. Interprétation des essais

Les valeurs du coefficient de la perte de charge quadratique C, permettent de vérifier la productivité du forage et les conditions de sa réalisation et de son développement. La valeur du C est classée comme ceci (DETAY M., 1993) ;

- C inférieurs à 5×10^{-5} Indique que le forage est correctement conçu et bien développé,
- $5 \times 10^{-5} < C < 1 \times 10^{-4}$ Indique un forage assez mal conçu ou légèrement colmaté ou détérioré.
- $1 \times 10^{-4} < C < 4 \times 10^{-4}$ Indique un forage très mal conçu, soit sévèrement colmate ou détériore.
- C supérieure à 4×10^{-4} Indique un forage extrêmement mal conçu ou si sévèrement colmaté ou détérioré qu'il sera difficile de le récupérer.

D'après ces essais nous remarquons que le forage situé dans la zone Sud de la région de Ghardaïa est plus productif et présente de moins de rabattement, par contre, le forage situé dans la zone Nord est moins productif avec des rabattements élevés.

Les valeurs du coefficient de la perte de charge quadratique C sont inférieur à 5×10^{-5} pour les deux forages ($1,11 \times 10^{-6}$ et $0,41 \times 10^{-6}$), ce qui nous indique que les deux forages ont été bien conçus et bien développés.

Conclusion

La région de Ghardaïa fait partie de système aquifère de Sahara septentrional (SASS), les principales ressources en eau dans la région sont d'origine souterraine. Elles sont stockées dans deux types d'aquifères : les aquifères superficiels qui sont abrités dans les calcaire du sénonien carbonaté, calcaire fissurés du turonien et dans les alluvions des vallées des oueds de la région, alimentée directement par les eaux des pluies, ainsi que les fréquents écoulements des oueds, et l'aquifère profonde souvent captif du continentale intercalaire, qui est composé de sable, grés et d'argiles sableuses d'âge Albien. Selon la région elle est captée à une profondeur allant de 80 à 1000 m, par des forages à différents usages ; l'irrigation, l'industrie et l'AEP.

Les cartes piézométriques 2010 et 2018 de la nappe continentale intercalaire montrent que le sens général d'écoulement du Nord-Ouest vers Sud-Est, avec des perturbations de l'écoulement au niveau des centres urbains et les zones agricoles causées par une forte exploitation de la nappe de CI pour l'AEP et pour l'Irrigation. On remarque aussi que le niveau piézométrique a diminué dans toute la région de Ghardaïa avec la création des nouveaux périmètres irrigués.

L'interprétation des essais hydrodynamiques nous a montré que le forage situé dans la zone Sud de la région de Ghardaïa est plus productif et présente de moins de rabattement, par contre, le forage situé dans la zone Nord est moins productif avec des rabattements élevés.

Les valeurs du coefficient de la perte de charge quadratique C sont inférieure à 5×10^{-5} pour les deux forages ($1,11 \times 10^{-6}$ et $0,41 \times 10^{-6}$), ce qui nous indique que les deux forages ont été bien conçus et bien développés.



CHAPITRE III
ETUDE
HYDROCHIMIQUE

1. Introduction

L'étude hydrochimique est utilisée en général comme un outil de compréhension des circulations des eaux au sein des aquifères. Ce qui permet de mieux comprendre l'évolution du chimisme des eaux souterraines, et d'essayer de déterminer l'origine des différents éléments chimiques.

Il est important de mentionner que, le chimisme des eaux dépend principalement, de la nature lithologique des couches géologiques traversées, ainsi que le temps de séjour des eaux. Cette interaction influe largement sur la teneur en ions majeurs.

Les concentrations de ces éléments naturels sont influencées aussi par d'autres facteurs tels que les paramètres climatiques, les activités anthropiques et les échanges entre aquifères et les eaux de surface.

Les activités anthropiques ont une influence non négligeable sur la qualité physicochimique des eaux souterraines. On observe principalement deux types d'influence :

- En agriculture : apports de K^+ , Ca^{2+} , NO_3^- , SO_4^{2-} , NH_4^+ et PO_4^{3-} .
- Rejets des eaux usées : apports de Na^+ , K^+ , NO_3^- , Cl^- et quelques métaux lourds.

Dans cette présente étude hydrochimique, nous allons essayer de :

- Déterminer les faciès chimiques des eaux de la nappe du Continental Intercalaire dans la région de Ghardaïa.
- Avoir une idée sur la potabilité de l'eau de la nappe
- Avoir une idée sur l'aptitude de l'eau à l'irrigation
- Déterminer l'origine des éléments majeurs présents dans l'eau.

Nous allons aussi établir des cartes hydrochimiques pour suivre la répartition spatiale des principaux éléments chimiques analysés.

2. Qualité chimique des eaux des nappes superficielles

Les eaux des nappes superficielles de la région de Ghardaïa sont très vulnérables à la pollution, parce qu'elles ne sont pas protégées par une couche imperméable. Leur majorité sont de type alluvionnaire localisées dans les principaux oueds de la région, à forte densité urbaine.

Les sources de pollution les plus fréquentes dans la région sont les rejets des eaux usées, et les engrais agricoles. Une carte de qualité chimique de la nappe de la vallée du M'zab, établie par l'ANRH en 2011 (Figure 44), montre en général que à l'amont, les eaux sont bonnes à la consommation, et à l'aval, elles sont mauvaises et impropres à la consommation. Elles sont largement contaminées par les eaux urbaines.

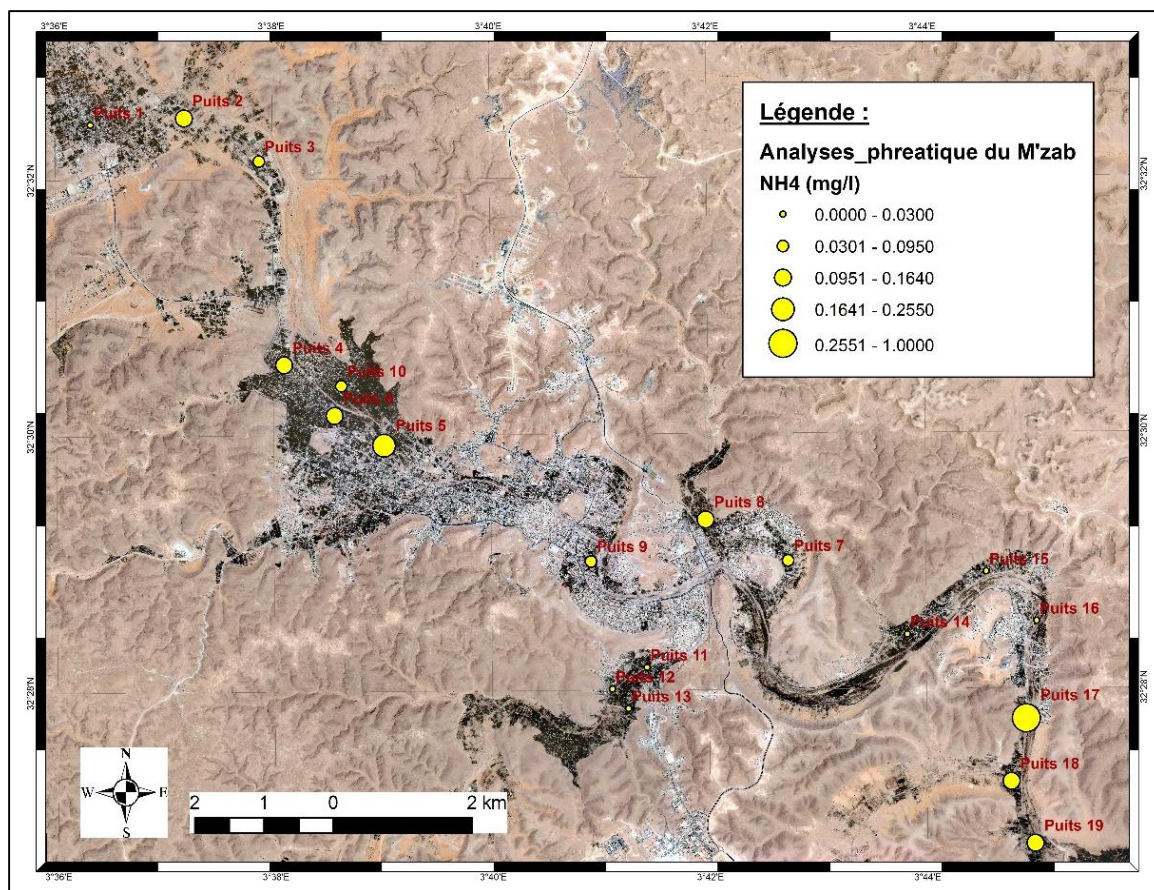


Figure n° 44- Evolution spatiale de l'Ammonium NH₄ dans les eaux de la nappe de l'oued M'zab (ANRH, 2011).

3. Qualité chimique des eaux de la nappe du CI

3.1. Inventaire des points d'eau échantillonnés

La campagne d'échantillonnage a touché 23 forages repartis sur l'ensemble de notre secteur d'étude selon le tableau n 17. Les différentes analyses des paramètres physico chimiques ont été effectuées au laboratoire de l'ADE de Ghardaïa en 2014.

Les analyses concernent les paramètres physiques : potentiel d'Hydrogène (pH), Conductivité Électrique (Cond), les éléments majeurs (Cations : Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Fe²⁺ et Anions : Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻) et les éléments de pollution (NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ et PO₄⁻).

Tableau. 17 : Les zones de prélèvement des échantillons d'eau

Zone		Forage	Symbole
Guerrara	1	F. Rahmanite	Gr1
	2	F. S'hane	Gr2
Zelfana	3	F. Nouveau(Moussalaha)	Zf1
	4	F. Guifla	Zf2
Berriane	5	F. Cheikh Amer 01.	Br1
	6	F. Bassa	Br2
Daya	7	F. Boubrik	Dy1
	8	F. Tidefet	Dy2
Ghardaia	9	F. Ben Smara II	Gd1
	10	F. Oude Nechou III	Gd2
	11	F. TEM. ADE.	Gd3
Bounoura	12	F. Azouil	Bn1
	13	F. Sidi Abaz I	Bn2
EL- Atteuf	14	F. El-Hamrayatte	At1
Metlili	15	F. Noumerat 1	Mt1
	16	F. Meguisem	Mt2
Sebseb	17	F. El ferd	Sb1
	18	F. Hay El- Bordj	Sb2
Mansoura	19	F. Ain Losig	Ms1
	20	F. Zaoui	Ms2
El-Menaia	21	F. Badriane	Mn1
	22	F. Kef 01.	Mn2
	23	F. Taghit	Mn3

3.2. Représentation graphique des analyses chimiques

3.2.1. Facies chimique : La méthode de STABLER pour la classification des eaux, nous a permis de déterminer le facies chimique de notre secteur d'étude. La méthode consiste à calculer le pourcentage de chaque ion par rapport à la concentration totale de l'eau, puis on classe séparément les anions et les cations par ordre décroissant, on obtient ainsi les différents faciès chimiques des eaux étudiées.

Les résultats d'analyses des eaux de la région de Ghardaïa montrent l'existence de deux faciès hydrochimiques qui sont dominants dans toute la région, le facies sulfaté calcique sur les forages d'El-Menia (Mn1, Mn2, Mn3) et de la région Nord et Nord-Ouest (Sebseb, Daya, Berriane, Metlili et Atteuf) et le facies chloruré calcique dans la partie Nord-Est a Guerrara et Zelfana (Gr1, Zf1, Zf2), ainsi que sur Mt1 et Ms2 à Metlili et Mansourah respectivement.

Le seul forage du S'hane à Guerarra qui présente un faciès chloruré sodique. Le faciès sulfate sodique est représenté uniquement par le forage d'Oued Nechou III à Ghardaïa.

Le tableau ci-dessous montre les différents faciès obtenus par la méthode de Stabler.

Tableau. 18 : Répartition des faciès chimiques des eaux du CI

Zone	Forage	Symbole	Formule	Faciès chimique
Guerrara	F. Rahmanite	Gr1	Cl - Ca	Chlorure calcique
	F. S'hane	Gr2	Cl - Na	Chlorure sodique
Zelfana	F. Moussalaha	Zf1	Cl - Ca	Chlorure calcique
	F. Guifla	Zf2	Cl - Ca	Chlorure calcique
Berriane	F. Cheikh Amer 01.	Br1	SO4 - Ca	Sulfate calcique
	F. Bassa	Br2	SO4 - Ca	Sulfate calcique
Daya	F. Boubrik	Dy1	SO4 - Ca	Sulfate calcique
	F. Tidefet	Dy2	SO4 - Ca	Sulfate calcique
Ghardaïa	F. Ben Smara II	Gd1	Cl - Ca	Chlorure calcique
	F. Oude Nechou III	Gd2	SO4 - Na	Sulfate sodique
	F. TEM. ADE.	Gd3	SO4 - Ca	Sulfate calcique
Bounoura	F. Azouil	Bn1	Cl - Ca	Chlorure calcique
	F. Sidi Abaz I	Bn2	Cl - Ca	Chlorure calcique
EL- Atteuf	F. El-Hamrayatte	At1	SO4 - Ca	Sulfate calcique
Metlili	F. Noumerat 1	Mt1	Cl - Ca	Chlorure calcique
	F. Meguisem	Mt2	SO4 - Ca	Sulfate calcique
Sebseb	F. El ferd	Sb1	SO4 - Ca	Sulfate calcique
	F. Hay El- Bordj	Sb2	SO4 - Ca	Sulfate calcique
Mansoura	F. Ain Losig	Ms1	SO4 - Ca	Sulfate calcique
	F. Zaoui	Ms2	Cl - Ca	Chlorure calcique
El-Menaia	F. Badraïne	Mn1	SO4 - Ca	Sulfate calcique
	F. Kef 01.	Mn2	SO4 - Ca	Sulfate calcique
	F. Taghit	Mn3	SO4 - Ca	Sulfate calcique

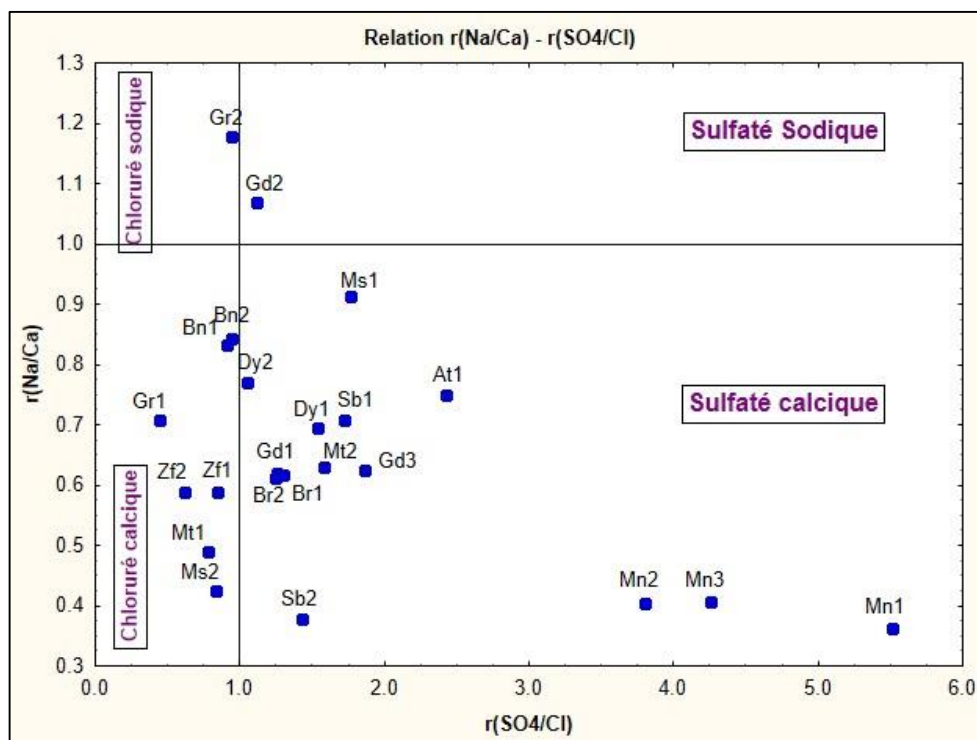


Figure n° 45- Représentation graphique des faciès chimiques des eaux du CI

3.2.2. Diagramme de PIPER

Le diagramme nous permet de représenter des anions et des cations sur deux triangles spécifiques dont les côtés témoignent des teneurs relatives en chacun des ions majeurs par rapport au total de ces ions (cations pour le triangle de gauche, anions pour le triangle de droite). La position relative d'un résultat analytique sur chacun de ces deux triangles permet de préciser en premier lieu la dominance anionique et cationique.

A ces deux triangles, est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle.

Ce point intersection représente l'analyse globale de l'échantillon, sa position relative permet de préciser le faciès de l'eau minérale concernée.

La représentation des analyses chimiques sur le diagramme de Piper montre que les eaux du CI dans notre secteur d'étude sont représentées par deux familles de faciès ;

La première est celle caractérisée par le faciès chloruré et sulfaté calcique ou magnésien. Cette famille est la plus dominante sur l'ensemble des forages analysés.

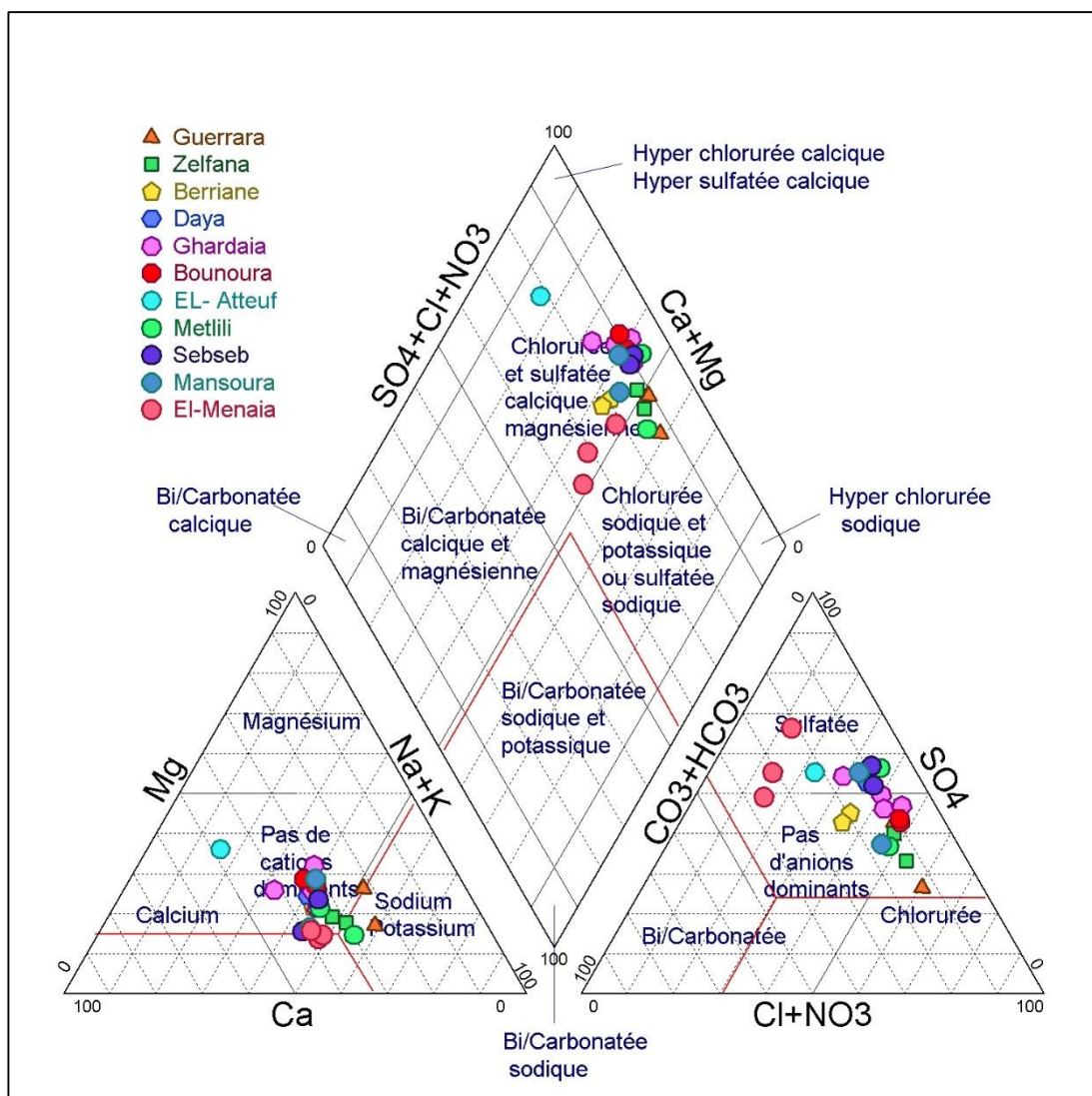


Figure n° 46- Facies chimique des eaux du CI selon le diagramme de Piper

La deuxième est celle caractérisée par le faciès chloruré sodique ou sulfaté sodique. Cette famille est moins dominante, localisée sur les forages de Zelfana et Guerrara (Zf1, Zf2, Gr1, Gr2).

3.2.3. Diagramme de SCHOELLER BERKALOFF

Le diagramme de Schöeller Berkaloff permet de représenter les faciès chimiques de plusieurs échantillons d'eaux. Les figures 47 et 48 représentent les différentes zones de la région de Ghardaïa montrent :

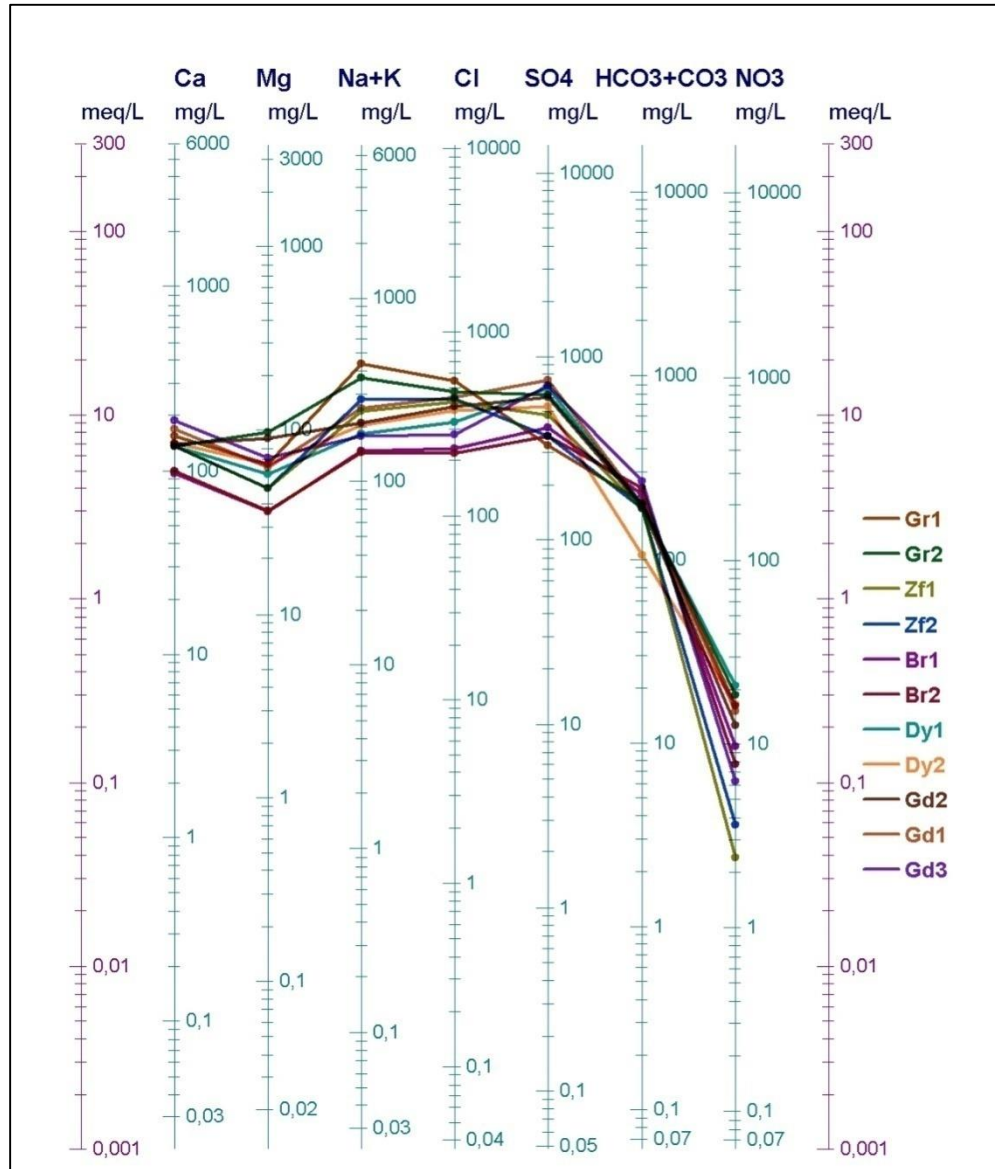


Figure n° 47- Diagramme de SCHOELLER BERKALOFF :
faciès chimique des eaux du CI.

La domination des eaux sulfatées chlorurées sodiques dans l'ensemble de la partie Nord (Zelfana, Guerrara) et au centre (Berriane et Ghardaïa) de notre région d'étude.

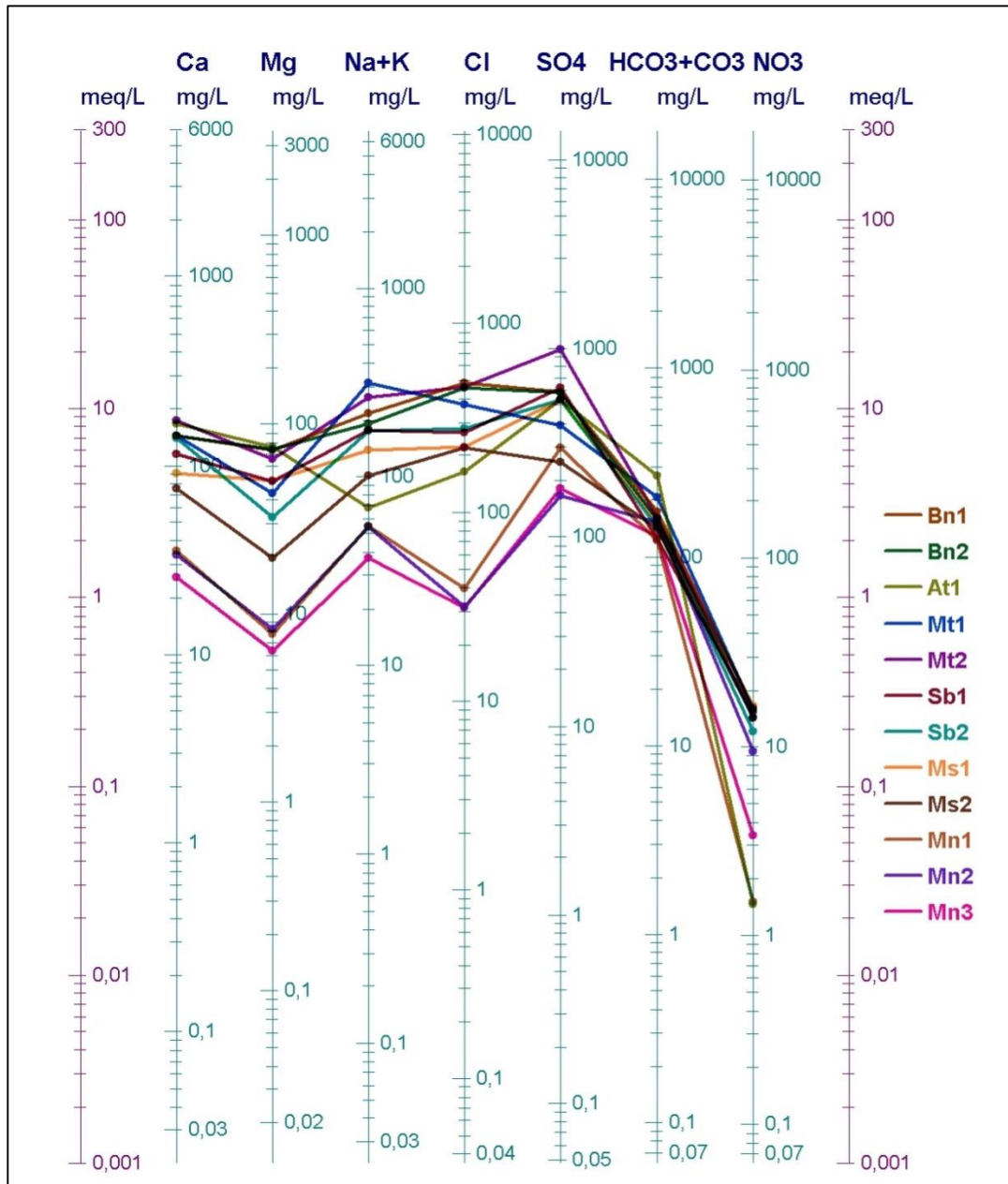


Figure n° 48- Diagramme de SCHOELLER BERKALOFF :
faciès chimique des eaux du CI.

3.3. Etude de la répartition des paramètres physicochimiques des eaux du CI

3.3.1. Conductivité électrique : La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La conductivité où son inverse est la résistivité permet donc une estimation de la minéralisation des eaux.

On sait qu'une eau salée est très conductrice, par contre une eau pure est très résistante.

Tableau. 17 : Les valeurs du pH et la conductivité électrique

Zone	Forage	Conductivité électrique (µs/cm)	pH
Guerrara	F. Rahmanite	2390	7.67
	F. S'hane	2530	7.48
Zelfana	F. Nouveau (Moussalaha)	1957	7.44
	F. Guifla	1970	7.55
Berriane	F. Cheikh Amer 01.	1235	7.61
	F. Bassa	1911	7.44
Daya	F. Boubrik	1804	6.70
	F. Tidefet	2090	7.62
Ghardaia	F. Ben Smara II	2400	7.64
	F. Oude Nechou III	2160	7.89
	F. TEM. ADE.	1851	7.72
Bounoura	F. Azouil	2080	7.43
	F. Sidi Abaz I	1908	7.41
EL- Atteuf	F. El-Hamrayatte	1463	7.56
Metlili	F. Noumerat 1	1512	7.61
	F. Meguisem	2060	7.58
Sebseb	F. El ferd	1533	7.71
	F. Hay El- Bordj	1529	7.43
Mansoura	F. Ain Losig	933	7.41
	F. Zaoui	969	7.66
El-Menaia	F. Badriane	397	8.01
	F. Kef 01.	283	7.97
	F. Taghit	262	7.97

Dans notre secteur la conductivité maximale est mesurée au niveau du forage S'hane à la zone de Guerrara de l'ordre de 2530 µs/cm et la valeur minimale, qui est très faible au niveau du forage Kef 01 dans la zone Sud a El-Menia de l'ordre de 283 µs/cm.

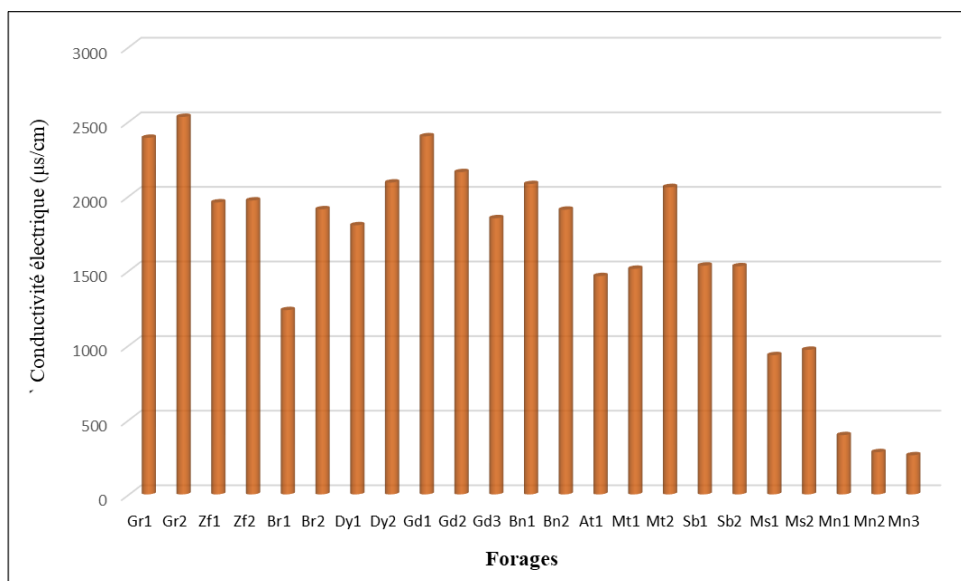


Figure n° 49- Histogramme de la conductivité électrique

3.3.2. Potentiel Hydrogène (pH) : C'est un paramètre qui détermine l'acidité ou l'alcalinité d'une eau par la concentration en ions H⁺, les valeurs du pH dans la région d'étude varient entre 8 dans la zone d'El-Menia (Forage Badriane) à 6,7 dans la zone de Daya (Forage Boubrik). Ces valeurs sont dans les normes de potabilité.

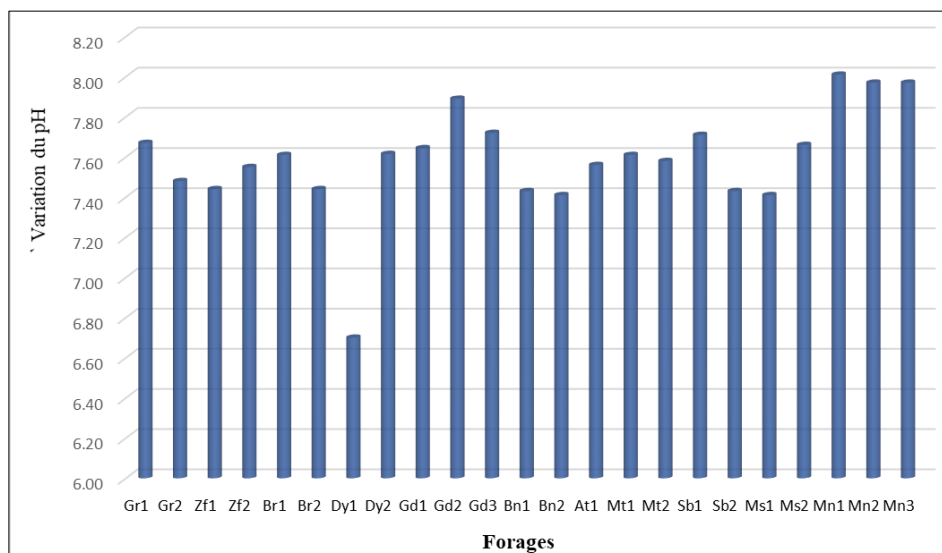


Figure n° 50- Histogramme de la variation du pH des eaux du CI

3.3.3. Le Calcium (Ca²⁺) : La présence des ions Ca⁺⁺ dans l'eau indique, soit une dissolution des formations carbonatées, calcite (CaCO₃), dolomie [(Ca,Mg)CO₃] ou bien la dissolution des formations évaporitiques, gypse [CaSO₄, 2(H₂O)] et anhydrite (CaSO₄).

Les résultats d'analyses des eaux du Continental Intercalaire dans notre secteur d'étude, montrent que les fortes concentrations du calcium se localisent sur les forages situés au Nord dans la zone de Ghardaïa, avec plus de 187,5 mg/l (Br1, Br2, Gd1, Gd2, Gd3, Bn1, At1, Mt1, Mt2). Des concentrations un peu moins à Guerrara et Zelfana (Gr1, Gr2, Zf1, Zf2).

Les faibles valeurs sont localisées au Sud dans les régions de Mansourah et El Menia de 33,66 mg/l (Figure 48).

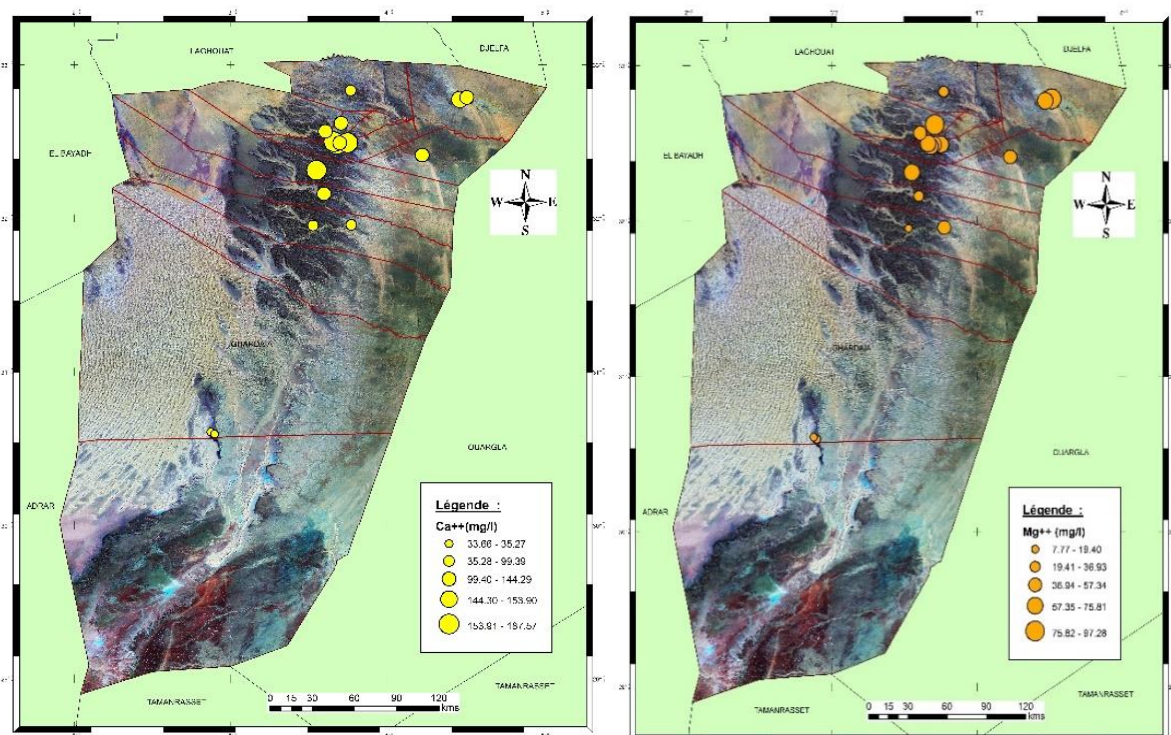


Figure n° 51- Cartes de la variation du Calcium et du Magnésium dans les eaux du CI

3.3.4. Le Magnésium (Mg^{+2}) : Le magnésium est un élément très abondant dans les eaux souterraines, Il est souvent présent dans les roches évaporitiques (sel de Mg), la carnallite ($KMgCl_3 \cdot 6H_2O$), la kiesérite ($MgSO_4 \cdot H_2O$), et carbonatés, la dolomie [$(Ca, Mg) CO_3$], les fortes valeurs du magnésium sont localisées dans la région Nord dans la zone de Guerrara de 67,28 mg/l, et les plus faibles au Sud dans la zone d'El-Menia de 7,77 mg/l.

3.3.5. Le Sodium et le Potassium (Na^+ , K^+) : Le sodium et le potassium sont toujours présents dans les eaux naturelles en proportion variable. Le sodium peut provenir du lessivage des formations géologiques riches en NaCl ; le potassium est beaucoup moins abondant que le sodium, rarement présent dans l'eau à des teneurs supérieures à 20 mg/l (Norme OMS).

En général, les concentrations sont peu élevées dans tout le secteur d'étude. Les valeurs maximales sont localisées dans la zone de Guerrara (439,66 mg/l), et les minimales sont localisées dans la zone d'El-Menia (54,5mg/l).

3.3.6. Les Chlorures (Cl⁻) : Ils sont toujours présents dans les eaux naturelles en proportions très variables, leur présence dans l'eau souterraine résulte de la dissolution des sels naturels par la dissolution de la Sylvite (KCl) et de l'halite (NaCl).

Les teneurs en chlorures sont très élevées dans les forages de la région de Guerrara de 545,97 mg/l (S'hene), et faible dans la zone sud à El-Menia de 31,9 mg/l (figure 49). Donc les eaux du Cl au Sud sont les moins chargées en chlore.

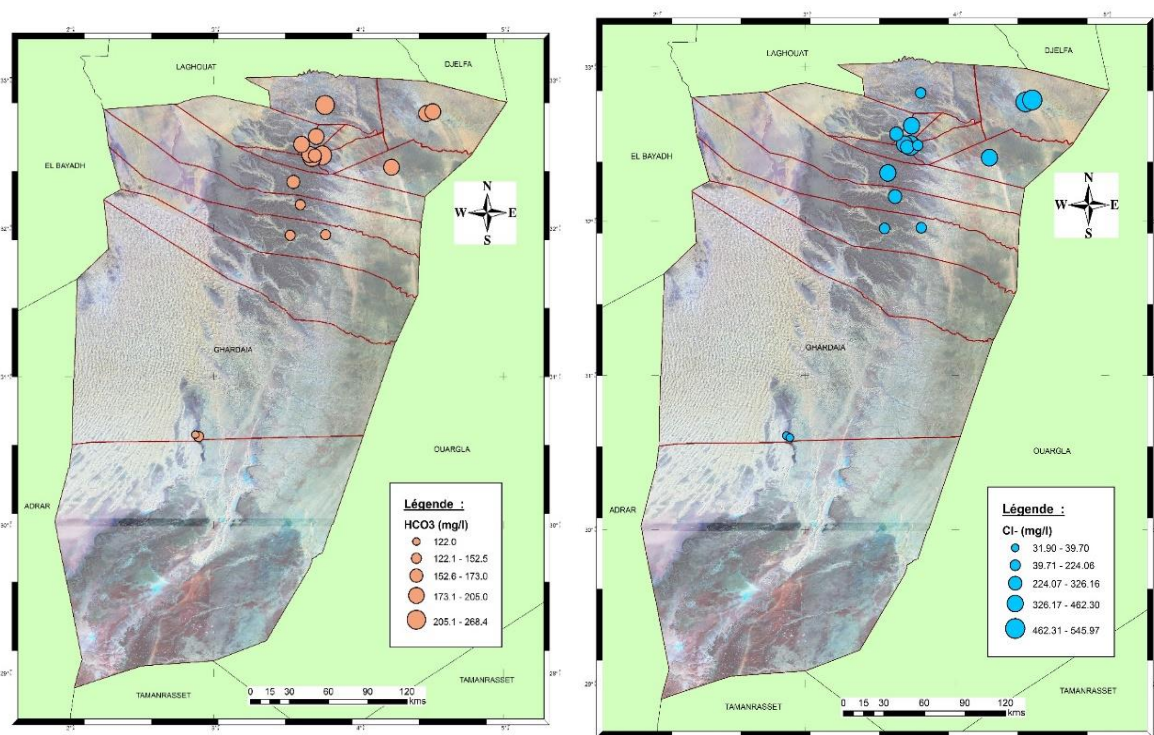
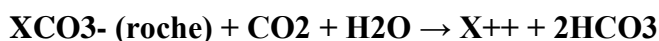


Figure n° 52- Cartes de la variation du Chlore et des Bicarbonates dans les eaux du Cl

3.3.7 Les Bicarbonates (HCO₃²⁻) : Les ions bicarbonates se forment à partir de la dissolution des minéraux carbonatés par des eaux chargées en gaz carbonique lors de son l'infiltration dans le sous-sol.

Les bicarbonates sont le résultat de l'équilibre physicochimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique, selon l'équation générale suivante ;



Les teneurs en bicarbonates dans les eaux de la zone d'étude varie entre 150 et 200 mg/l, avec des valeurs maximales dans la zone de Ghardaïa et El-Atteuf de 268,4 et 265,96 mg/l. Les teneurs les plus faibles sont enregistrées dans la zone Sud à El-Menia de 122 mg/l (Figure 49).

3.3.8. Les Sulfates (SO_4^-) : La présence des sulfates est généralement liée au lessivage des formations évaporitiques, tel que le gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$) et l'anhydrite (CaSO_4), ils peuvent provenir également de l'oxydation de la pyrite (FeS_2).

Les teneurs des sulfates dans les eaux de la région varient de 987,72 mg/l dans la zone de Metlili à 164,42mg/l dans la zone sud (El-Menia) (Figure 50).

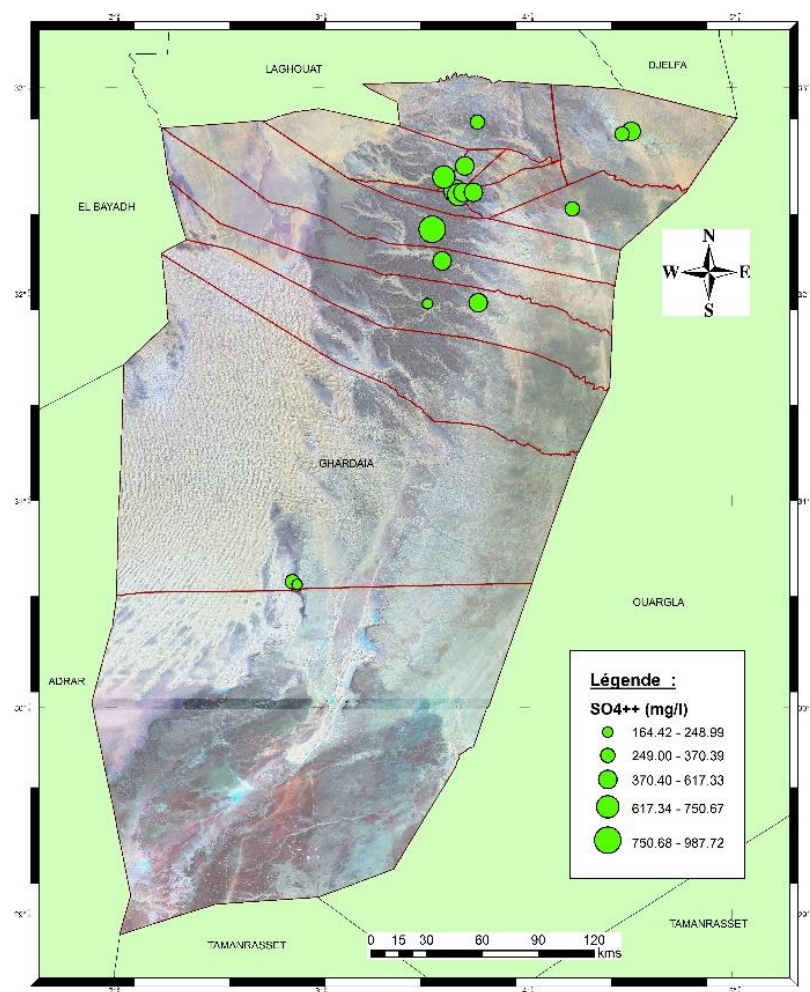


Figure n° 53- Carte de la variation des sulfates dans les eaux du CI

3.4. Les éléments de pollution

3.4.1. Les Nitrates (NO_3^-) : L'ion nitrate est la forme oxydée de l'azote, les sources naturelles de nitrate sont principalement la pluie et les interactions avec le sol et la végétation, l'origine artificielle des nitrates sont les contaminations par des engrais et les rejets domestiques.

La concentration des nitrates dans les eaux du CI de la région de Ghardaïa sont très faibles, varient entre 21 et 1,5 mg/l. En général, toutes les valeurs des échantillons analysés sont inférieures au norme algérienne admissible qui est de 50 mg/l.

3.4.2. Les Nitrites (NO_2^-) : Les nitrites représentent la forme du passage entre les nitrates et l'ammonium. Il s'agit d'une forme toxique. Dans l'ensemble, les teneurs en nitrites dans les eaux de notre secteur d'étude sont négligeables inférieures à 0.1 mg/l.

3.4.3. L'Ammonium (NH_4^+) et les Phosphates (PO_4^-) : L'Ammonium est la forme d'azote la plus toxique, sa présence dans l'eau est liée à une contamination urbaine ou industrielle. Les dosages n'ont pas détecté cet élément dans les eaux du CI dans notre secteur d'étude.

L'origine des phosphates dans les eaux est liée aux rejets urbains ou à la dissolution des engrais chimiques. Les dosages n'ont pas détecté cet élément dans les eaux de la nappe du CI dans notre région d'étude.

Tableau 20 : Statistiques élémentaires des paramètres physico-chimiques

Paramètre	N.A	N.OMS	Min	Max	Moy	Ecart-type
Ca^{+2} (mg/l)	200	200	25.65	187.57	122.62	44.8743
Mg^{+2} (mg/l)	150	150	6.31	70.95	51.6	25.3418
Na^+ (mg/l)	200	200	30.91	416.6	180.32	96.9119
K^+ (mg/l)	20	12	6	23	12.26	5.30598
Cl^- (mg/l)	500	250	31.19	545.97	312.13	151.308
SO_4^{-2} (mg/l)	400	250	179.84	987.7	500.63	194.598
HCO_3^- (mg/l)	300	240	128.1	268.4	180.24	44.5971
NO_3^- (mg/l)	50	50	3.38	20.93	11.54	5.92676
pH	6.5-8.5	6.5-8.5	6.7	8.01	7.59	0.26712
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	2800	1000	262	2530	1618.57	662.694

4. Qualité des eaux vis-à-vis à la potabilité

La comparaison des analyses chimiques avec les normes algériennes et de l’OMS (Tableau 18), nous permet de constater que les eaux du CI dans le secteur d’étude ont des concentrations moyennes inférieurs aux normes, à l’exception de l’élément des sulfates qui est légèrement supérieure. Donc les eaux du CI sont potable.

5. Aptitude des eaux du CI à l’Irrigation

Les eaux du CI sont largement utilisées pour irriguer des grands périmètres agricoles dans la région de Ghardaïa, où l’évolution des caractéristiques chimiques des eaux influent sur les différentes cultures.

Cette étude chimique des eaux pour l’irrigation est nécessaire pour mettre en évidence le danger que présente certains éléments chimiques, pour les plantes qui supportent mal les sols saturés en sodium, une classification des eaux en fonction du pourcentage du sodium absorbé par l’eau (méthode de Richards) permet de bien classée les eaux en fonction de la conductivité électrique et le SAR (Sodium Adsorption Ration). La formule est définie comme suit : (les éléments sont exprimés en meq/l)

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

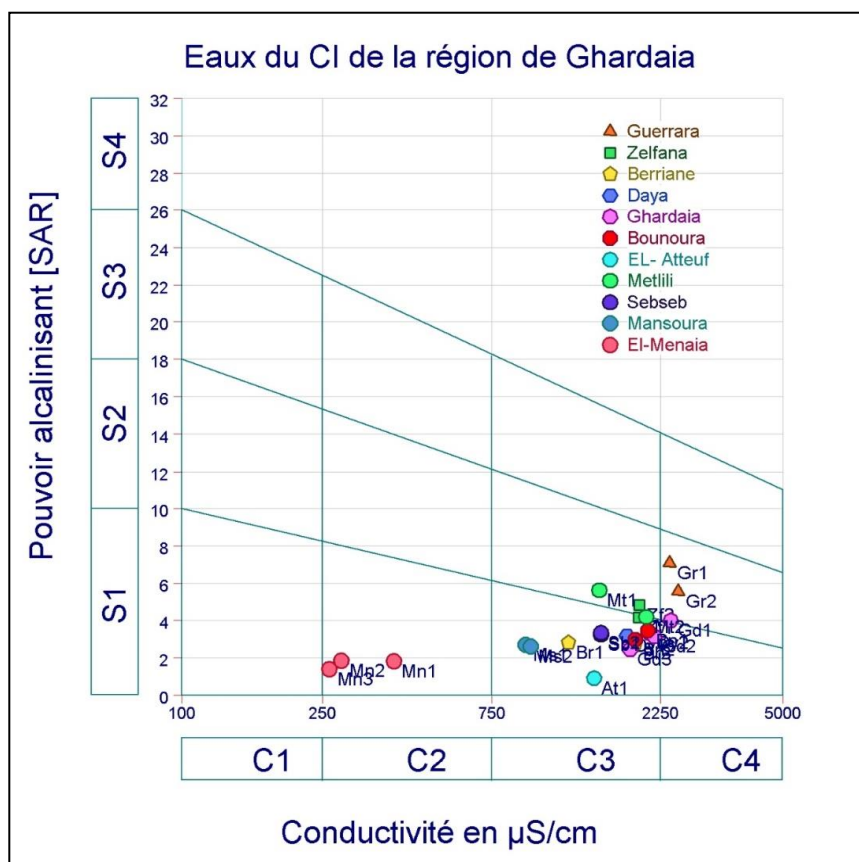


Figure n° 54- Diagramme du SAR (méthode de Richards)

Selon le diagramme de Richards, les eaux du CI dans notre secteur d'étude se répartissent comme suit :

- Classe C4-S2 : concerne la zone de Guerrara et Ghardaïa. La qualité est médiocre, en général, les eaux sont fortement minéralisées utilisées seulement pour des plantes résistantes aux sels.
- Classes C3-S2 et C3-S1 ; concerne les zones de Zelfana, Ghardaïa, Bounoura, El Atteuf, Metlili, Sebseb, Mansourah Berriane et Daya. La qualité est admissible, la salinité doit être contrôlée.
- Classe C2-S1 ; concerne seulement la zone Sud à d'El-Menia, la qualité est bonne, l'eau convient aux plantes qui ont une tolérance aux sels.

Une autre classification de l'aptitude des eaux à l'irrigation a été établie par Wilcox. Ce diagramme tient en compte du pourcentage de sodium, et de la conductivité électrique, la formule est la suivante ;

$$Na^+ \% = \frac{Na^+}{Ca^{++} + Mg^{++} + (Na^+ + K^+)} \times 100$$

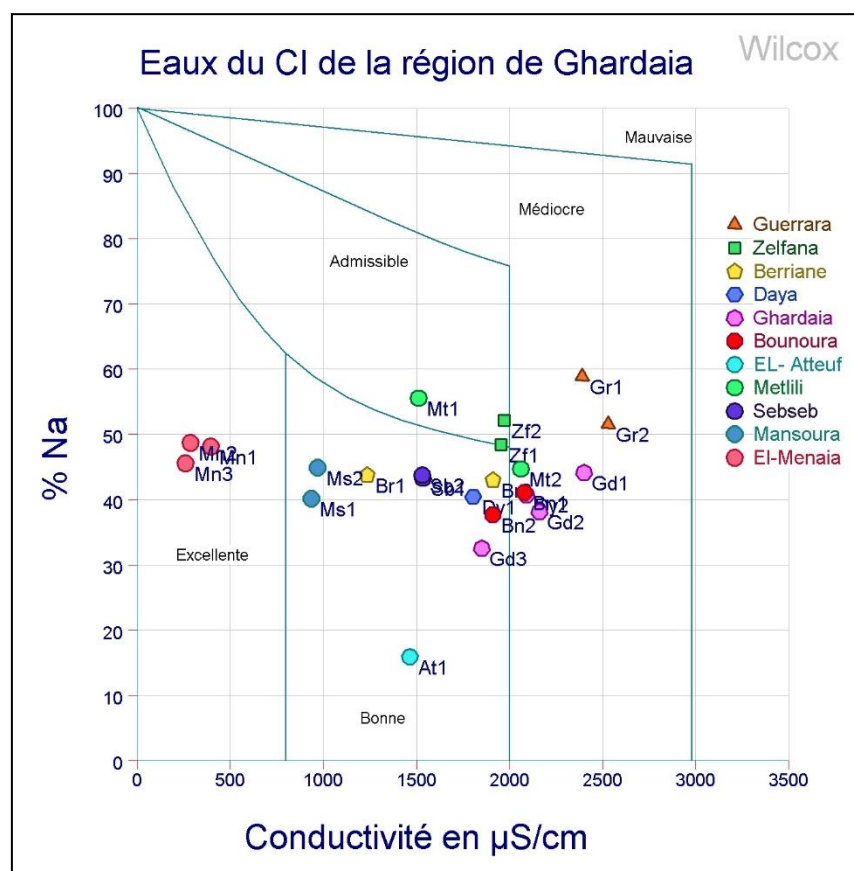


Figure n° 55- Diagramme du SAR (méthode de Wilcox)

D'après le diagramme, nous constatons que les eaux du CI dans la zone du Sud (El-Menia) sont excellentes pour l'irrigation. Le CI des zones du centre a une eau bonne pour l'irrigation, à l'exception de Bounoura, Metlili et l'aval de Ghardaïa, elles sont médiocres. Par contre dans la partie Nord-Est (Zelfana et Guerrara), les eaux du CI dans ces régions sont médiocres.

6. Origines de la minéralisation des eaux de continental intercalaire

6.1. La matrice de corrélation des éléments chimiques

La matrice de corrélation des éléments chimiques (Tableau 19.) montre, une corrélation positive significative entre Ca^{2+} - SO_4^{2-} , Na^+ - Cl^- , Mg^{2+} - Cl^- , Ca^{2+} - Cl^- , K^+ - SO_4^{2-} et Mg^{2+} - SO_4^{2-} . Ces liaisons témoignent de l'influence évaporitique sur le chimisme de l'eau de la nappe de continentale intercalaire.

Tableau 21 : La matrice de corrélation des éléments chimiques.

Variable	rCa	rMg	rNa	rK	rHCO3	rCl	rSO4
rCa	1,0	0,816	0,631	0,435	0,502	0,772	0,758
rMg		1,0	0,596	0,496	0,410	0,753	0,706
rNa			1,0	0,590	0,201	0,893	0,362
rK				1,0	0,616	0,495	0,053
rHCO3					1,0	0,187	0,182
rCl						1,0	0,556
rSO4							1,0

6.2. Etude des rapports caractéristiques

L'étude des rapports caractéristiques permet déterminer l'origine géologique des éléments chimiques à partir de la bonne corrélation qui existe entre eux.

6.2.1. Couple Na^+ - Cl^- :

Ces deux éléments chimiques sont souvent liés à la dissolution de l'halite (NaCl). L'évolution du sodium est étudiée en fonction des teneurs en chlorure, car ce dernier est considéré comme un traceur stable et conservatif des évaporites, très soluble, entrant rarement dans les précipitations salines, n'intervenant pas dans les phénomènes d'oxydoréduction et peu influencé par l'intervention des bactéries. En plus son déplacement n'est pas retardé dans l'eau. Le graphe (Fig.56) montre un alignement des points sur la droite de dissolution de l'halite, ce qu'il confirme que les eaux de la nappe résultent de la dissolution de l'halite présent dans les sables argileux de l'Albien. Cette relation confirme par l'existence du faciès

chloruré sodique. Cependant quelques points présentent un excès de sodium, d'autres un excès des chlorures. Cela s'explique par l'existence d'une autre origine des ions de Na⁺ et Cl⁻

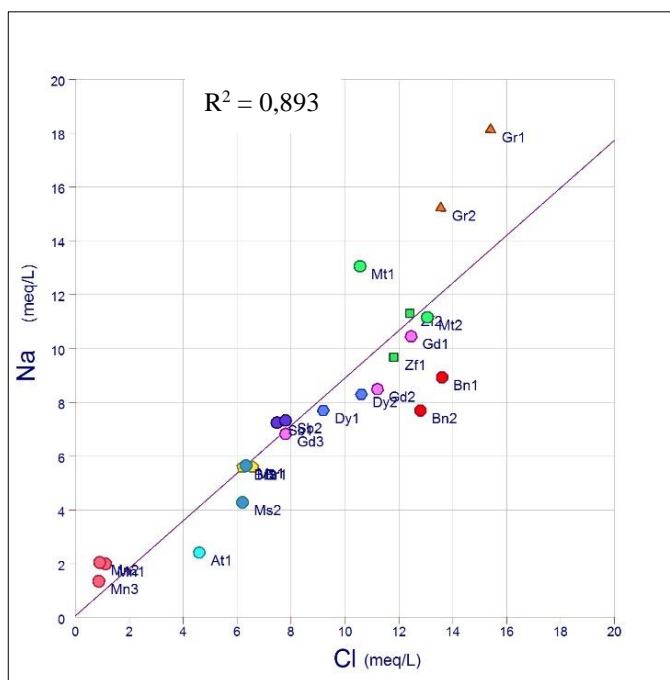


Figure n° 56- Relation Cl- et Na+

6.2.2. Couple Ca²⁺ - SO₄²⁻

La variation de Ca²⁺ en fonction de SO₄²⁻ donne une bonne corrélation linéaire (R = 0,75). L'examen de cette relation montre une évolution proportionnelle des sulfates et du calcium (Fig.57). Cette relation traduit la dissolution de gypse et anhydrite. Cependant quelques points présentent un excès de sulfate (provient d'une origine autre que le gypse et l'anhydrite). Cette relation est confirmée par l'existence du faciès sulfaté calcique.

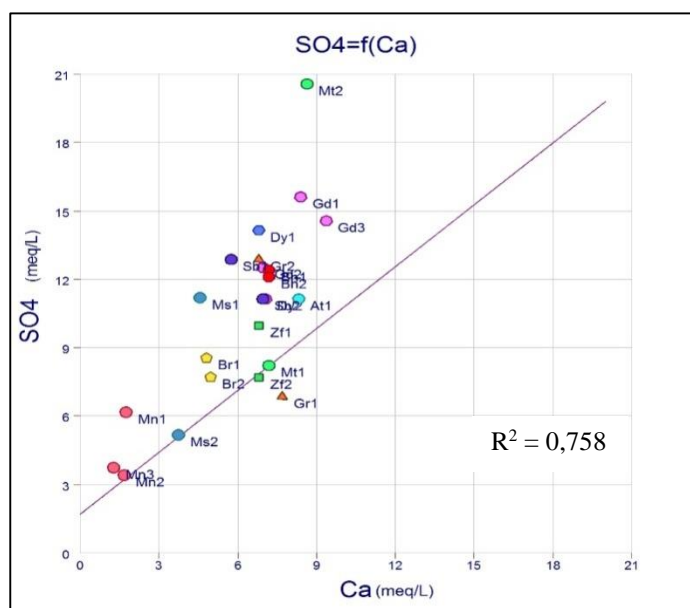


Figure n° 57- Relation Ca²⁺ - SO₄²⁻.

6.2.3. Couple Mg^{+2} - SO_4^{-2}

Le diagramme de corrélation entre rSO_4^{2-} et rMg^{2+} (Figure 58) montre que la relation sulfate magnésium est bien liée avec une évolution proportionnelle, le coefficient de la corrélation est de 0,70. L'origine est probablement du sel de magnésium ; la kiesérite ($MgSO_4$)

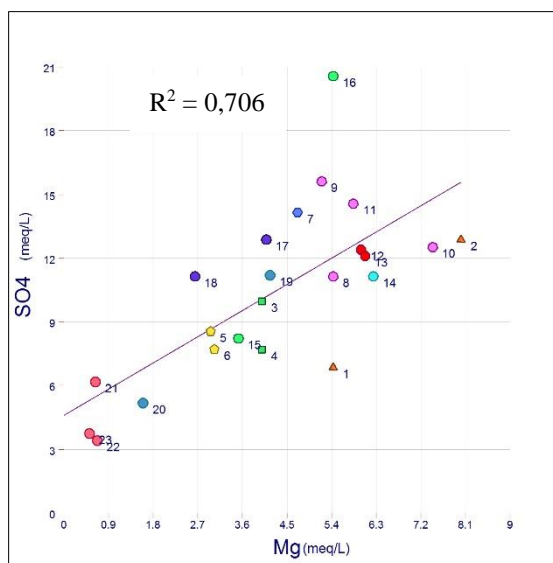


Figure n° 58- Relation Mg^{+2} - SO_4^{-2} .

6.3. Indice d'échange de base (i.e.b)

L'utilisation de l'indice d'échange de base (i.e.b.) permet de mettre en évidence les modifications du chimisme de l'eau au cours de son trajet souterrain. Connue aussi sous le nom de l'indice Chloro – alcalin, défini par H. SCHOELLER en 1956, il est le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existants dans l'eau. Il est obtenu par la relation suivante (, 1956) ;

$$i.e.b = r \left[\frac{Cl - (Na + K)}{Cl} \right]$$

- Si l'i.e.b < 0 : les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} de l'eau sont échangés contre les ions K^+ et Na^+ des formations encaissantes.
- Si l'i.e.b > 0 : alors les ions Na^+ et K^+ de l'eau sont remplacés par les ions Mg^{2+} et Ca^{2+} des formations encaissantes.
- Si l'i.e.b = 0 : il y a un équilibre entre les compositions chimiques de l'eau et celles du terrain encaissant.

L'interprétation des données des i.e.b. (Tableau 22) calculés montre que 30% des points d'eau, ont des i.e.b. négatifs (localisés à Guerrara et El-Menia), les eaux échangent donc les

ions (Ca^{2+} et Mg^{2+}) contre les ions Na^+ des argiles, contre 70% présentant des i.e.b. positifs, où les ions Na^+ des eaux sont échangés contre les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} de la roche réservoir.

Tableau. 22 : Les valeurs de l'i.e.b des points eaux du CI

Zone	Forage	Symbole	i.e.b
Guerrara	F. Rahmanite	Gr1	-0,215
	F. S'hane	Gr2	-0,162
Zelfana	F. Nouveau(Moussalaha)	Zf1	0,143
	F. Guifla	Zf2	0,052
Berriane	F. Cheikh Amer 01.	Br1	0,085
	F. Bassa	Br2	0,029
Daya	F. Boubrik	Dy1	0,148
	F. Tidefet	Dy2	0,189
Ghardaia	F. Ben Smara II	Gd1	0,138
	F. Oued Nechou III	Gd2	0,21
	F. TEM. ADE.	Gd3	0,06
Bounoura	F. Azouil	Bn1	0,323
	F. Sidi Abaz I	Bn2	0,373
EL- Atteuf	F. El-Hamrayatte	At1	-0,405
Metlili	F. Noumerat 1	Mt1	0,266
	F. Meguisem	Mt2	0,128
Sebseb	F. El ferd	Sb1	-0,003
	F. Hay El- Bordj	Sb2	0,042
Mansoura	F. Ain Losig	Ms1	0,075
	F. Zaoui	Ms2	0,295
El-Menaia	F. Badriane	Mn1	-0,987
	F. Kef 01.	Mn2	-1,485
	F. Taghit	Mn3	-0,71

6.4. L'indice de saturation des eaux de continentale intercalaire

L'équilibre des eaux avec la matrice est souvent exprimé soit par le taux de saturation $[S = (\text{PAI}/K_s) \cdot 100]$, soit par l'indice de saturation $[Is = \log(K) - \log(\text{PI})]$ où PI est le produit d'activité des ions concernés et K le produit de solubilité du minéral considéré. L'indice de saturation est la forme la plus utilisée pour les eaux souterraines.

L'eau est en équilibre avec un minéral lorsque $Is = 0$, elle est sous-saturée lorsque Is est < 0 et sursaturée lorsque Is est > 0 . Quand une solution est sous-saturée à l'égard d'un minéral, celui-ci aura tendance à se dissoudre.

Dans le but d'expliquer les mécanismes d'acquisition de la minéralisation, on a utilisé le programme WATEQ pour déterminer les indices de saturation de quelques minéraux (Fig.59). Les calculs ont montré que (Tableau 23).

Les minéraux carbonatés présentent des degrés de saturation différents. En effet, celui de la calcite varie de -0.03 à $+0.69$, et celui de la dolomite varie de -1.22 à $+0.96$. À l'instar de ces résultats on peut dire que les deux minéraux ont atteint l'état de l'équilibre.

Les minéraux évaporitiques montrent des degrés de saturation plus faibles que les minéraux Carbonatés. Les minéraux sulfatés montrent tous une sous-saturation ; le gypse enregistre des indices qui varient de -1.76 à -0.7 et l'anhydrite dont l'indice varie de -1.98 jusqu'à -0.85 et enfin l'halite dont les indices de saturation varient de -7.59 à -5.29 (donc très sous saturés).

Tableau 23 : Résultats de calcul de l'indice de saturation des minéraux

Forage	Anhydrite	Aragonite	Calcite	Dolomite	Gypsum	Halite
F Rahmanite	-1,3	0,34	0,48	0,95	-1,08	-5,29
F Shane	-1,13	0,04	0,19	0,57	-0,91	-5,43
F Moussalaha	-1,15	0,03	0,17	0,23	-0,93	-5,67
F Guifla	-1,25	0,15	0,3	0,49	-1,03	-5,58
F CheikhAmer01	-1,3	0,15	0,29	0,5	-1,08	-6,14
F Bassa	-1,32	0,04	0,19	0,28	-1,1	-6,17
F Boubrik	-1,03	-0,73	-0,59	-1,22	-0,81	-5,88
F Tidfet	-1,1	-0,04	0,1	0,21	-0,89	-5,78
F BenSmaraiI	-0,94	0,28	0,42	0,75	-0,72	-5,63
F OudeNechouIII	-1,1	0,45	0,6	1,35	-0,88	-5,75
F TEMADE	-0,92	0,54	0,69	1,29	-0,7	-6,01
F Azouil	-1,08	-0,03	0,12	0,28	-0,86	-5,65
F Sidi Abazi	-1,08	-0,07	0,07	0,19	-0,86	-5,74
F ElHamrayatte	-1,03	0,38	0,53	1,05	-0,81	-6,67
F NoumeratI	-1,2	0,27	0,41	0,64	-0,98	-5,59
F Meguisem	-0,85	0,1	0,24	0,4	-0,63	-5,59
F Elferd	-1,11	0,02	0,17	0,3	-0,89	-5,99
F HayElBordj	-1,07	-0,09	0,05	-0,19	-0,85	-5,96
F Ain Lossig	-1,24	-0,26	-0,12	-0,16	-1,02	-6,16
F Zaoui	-1,52	-0,04	0,1	-0,05	-1,3	-6,27
F Badraïne	-1,7	-0,07	0,07	-0,18	-1,48	-7,33
F Kef01	-1,91	0,02	0,16	0,06	-1,69	-7,4
F Taghit	-1,98	-0,17	-0,03	-0,33	-1,76	-7,59

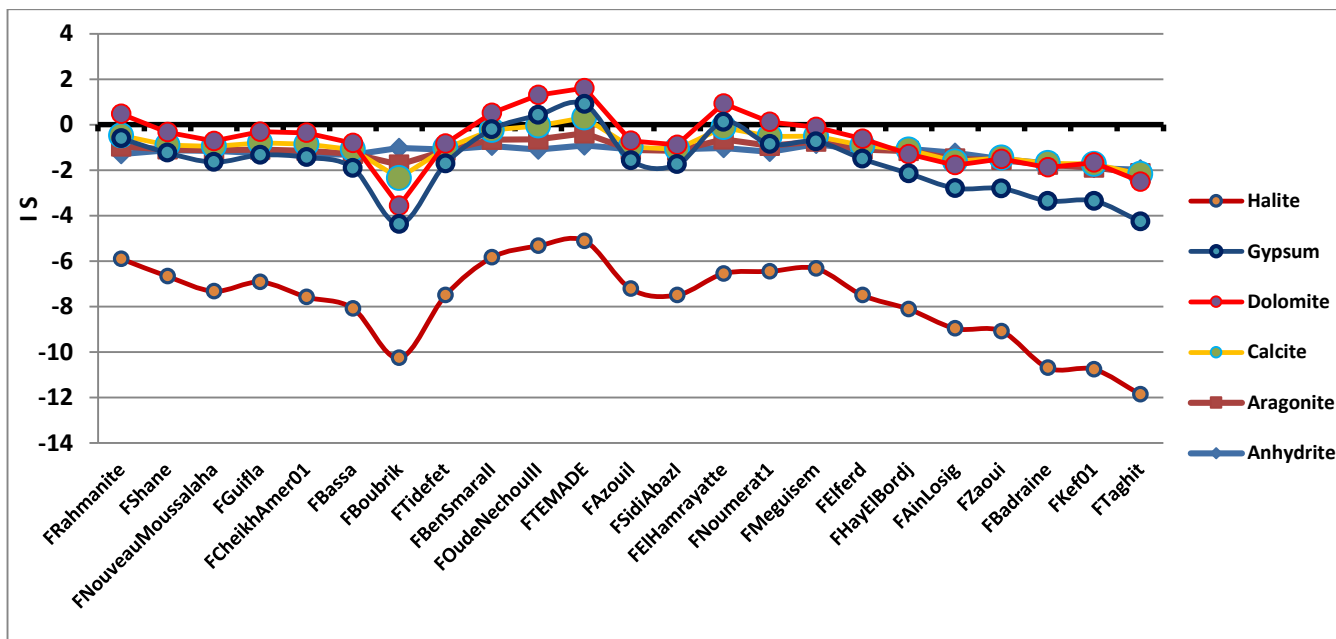


Figure 59: Variation de l'indice de saturation des minéraux).

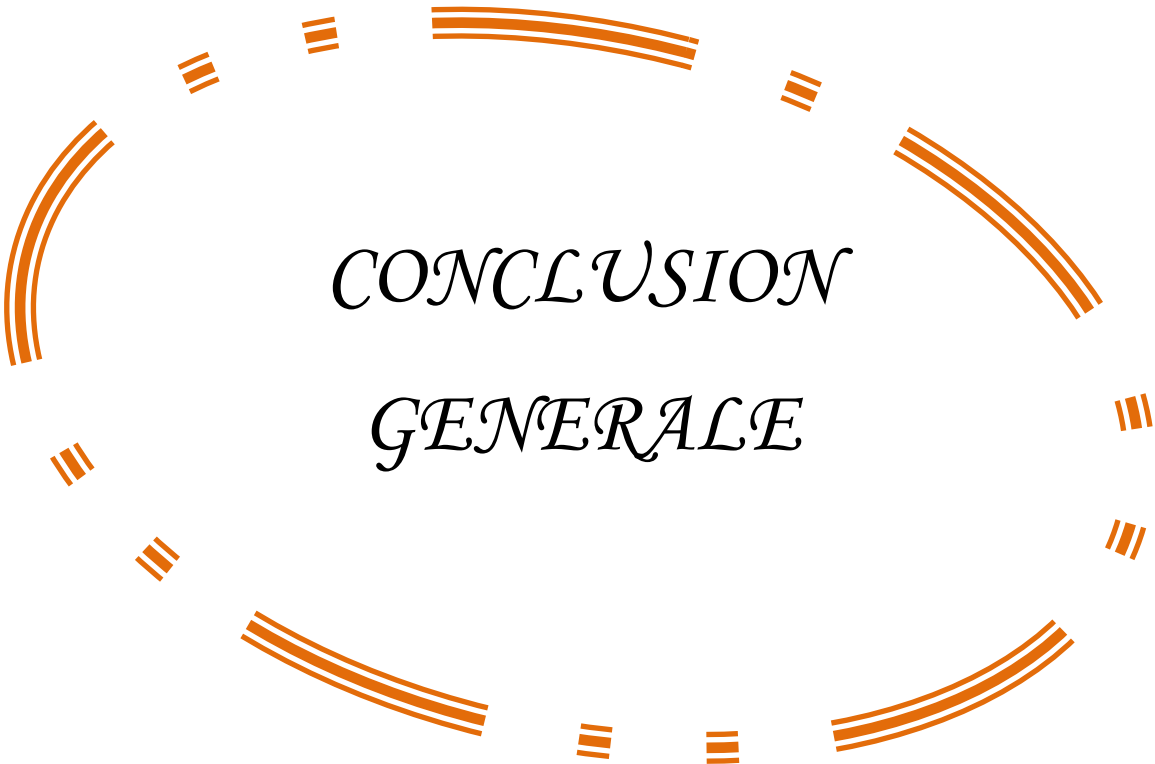
Conclusion

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

Les eaux de l'aquifère de CI présentent des concentrations inférieures en référence des normes algérienne pour les eaux potables. La représentation de ses eaux sur le diagramme de Richards, montre qu'elles sont de qualité médiocre pour l'irrigation à Guerrara et Ghardaïa, de qualité admissible à Zelfana, Ghardaïa, Bounoura, El Atteuf, Metlili, Sebseb, Mansourah et Berriane et de bonne qualité à El-Menia.

En plus les eaux de la nappe sont protégées sur toute la région de Ghardaïa de la pollution d'origine anthropique, car la nappe est confinée par des formations imperméables.

L'étude de l'origine de la minéralisation des eaux de la nappe du continentale intercalaire montre qu'elles sont liées à la dissolution des évaporites (gypse et halite en particulier) et au phénomène d'échange de base.



*CONCLUSION
GENERALE*

Conclusion générale

L'étude hydrogéologique du Continental Intercalaire dans la région de Ghardaïa, nous permis d'avoir un aperçu sur l'état quantitatif et qualitatif sur l'évolution piézométrique et géochimique de ces eaux dans la région, ainsi, nous pouvons conclure que :

L'étude géomorphologique a mis en évidence trois ensembles différents : la chebka, la plaine de dalle du hamda et les régions en sablées.

L'étude climatique nous a montré que la région est soumise à un typiquement saharien, caractérisé par son aridité, marqué notamment par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations et par l'amplitude thermique et les températures très élevées.

Du point de vue hydrologique, la région de Ghardaïa est tracée par un grand réseau d'oueds dont les principaux sont Oued Zegrir, Oued Sebseb, Oued Metlili, Oued N'Sa, et oued M'Zab, l'ensemble de ces oueds constitue le bassin versant de la dorsale du M'Zab. Les écoulements sont temporaires et s'effectue de l'Ouest vers l'Est pour atteindre rarement la dépression de Ouargla.

L'étude géologique, nous a permis de situer la zone d'étude dans son contexte régional et local. Elle est placée sur les bordures occidentales du bassin sédimentaire secondaire du Bas-Sahara, dont les terrains affleurant sont en grande partie attribués au Crétacé supérieur, composés principalement par des dépôts calcaires turoniens dolomitiques. Le quaternaire correspond au dépôt de recouvrement alluvionnaire de la plupart des vallées des oueds de la région de Ghardaïa.

L'étude hydrogéologique a montré que la région de Ghardaïa fait partie du grand système aquifère du Sahara Septentrional (SASS), ou le Continental Intercalaire (CI) est le principal aquifère capté avec succès avec plus de 766 forages ; soutirant un volume d'eau de plus de 400 millions de mètres cube par an.

L'étude de la piézométrie du CI dans la région a montré que ;

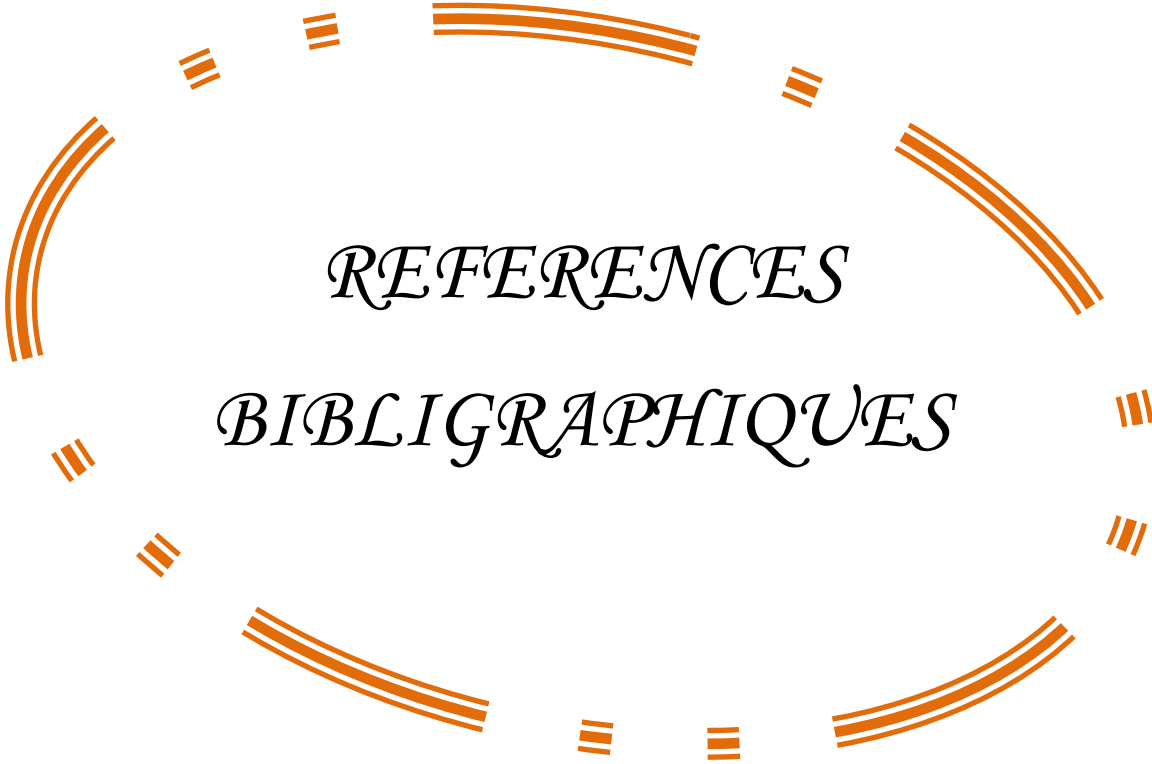
- Les cartes piézométriques que nous avons réalisé de l'année 2010 et 2018, présentent des sens d'écoulements identiques à ceux connus par le SASS ; du Nord (zone d'alimentation de l'Atlas Saharien) vers l'Est (Centre du Bassin SASS) et l'autre du Nord vers le Sud – Ouest (plateau de Tademaït), avec des perturbations locales marquées par des gradients hydrauliques élevés.
- Des dépressions piézométriques localisées aux niveaux des grandes agglomérations, causées certainement par les excès des prélèvements et les concentrations des forages.
- L'évolution piézométrique entre les deux périodes a montré une baisse générale du niveau piézométrique, avec des valeurs maximales de 18 mètres au niveau du chef-lieu de la wilaya.
- L'interprétation des essais de puits deux forages, nous a permis de calculer leurs équations caractéristiques et de montrer qu'ils ont été bien conçus et développés.

L'étude hydrochimique basée sur les résultats d'analyses effectuées sur plus de 23 échantillons, nous avons pu caractériser les eaux de la nappe du continentale intercalaire par l'étude des caractéristiques physico-chimique ;

- Les différentes classifications que nous avons utilisées (Schoeller - Berkloff, Piper Wilcox, SAR,) ont montré que les eaux de la nappe se regroupent en deux types de faciès chimique qui sont prédominant, chloruré sulfaté calcique et chloruré sulfaté sodique.
- L'étude de la potabilité des eaux de la nappe, elles sont classées potable selon les normes OMS et algérienne.
- L'aptitude à l'irrigation a montré que les eaux des zones situées dans le Nord et Nord-Est ont des qualités varies entre Médiocre et admissible, et les eaux de la zone Sud (El-Menia) sont de bonne qualité.

Pour cette situation nous recommandons ;

1. Une gestion rationnelle de cette ressource, et de lutter contre toute forme de gaspillage d'eau.
2. Dans le domaine agricole, nous recommandons l'utilisation des techniques modernes qui permet d'économiser les eaux en irrigation comme les gouttes à gouttes et l'aspersion)
3. De procéder à des contrôles et au suivi périodiques de la nappe du point de vue piézométrique et chimique.
4. De lutter contre tous les forages illicites et de boucher les forages abandonnés ou détériorés.



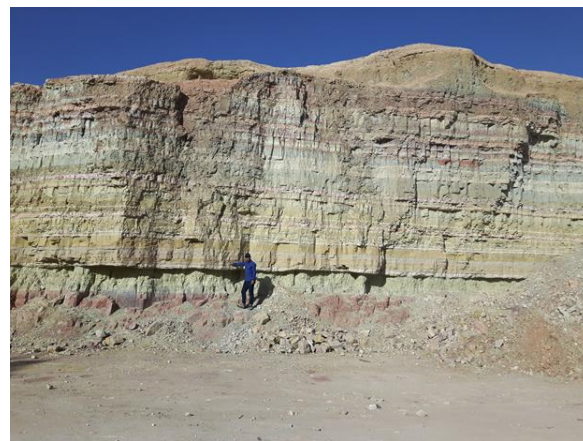
*REFERENCES
BIBLIGRAPHIQUES*

- A.N.A.T (1987). Plan d'aménagement de la wilaya de Ghardaia (rapport d'orientations).
- ACHOUR, M. (2014). Vulnérabilité et protection des eaux souterraines en zone aride : Cas de la vallée du M'zab (Ghardaia - Algérie). Département des Sciences de la Terre, Université d'Oran. Magister: 155.
- ANRH (2016). Inventaire des forages et enquête sur les débits extraits de la nappe albienne dans la Wilaya de Ghardaïa. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques. DRS. Ouargla ;
- BELLAOUEUR, A. E. A. (2008). Etude hydrogéologique des eaux souterraines de la région de Ouargla Soumise à la remontée des eaux de la nappe phréatique et Perspectives de solutions palliatives (Sahara Nord-Est Septentrional - Algérie), Université El-Hadj Lakhdar – Batna: 146.
- Busson, G. (1972). Principes, méthodes et résultats d'une étude stratigraphique du Mésozoïque saharien. Paris: 464.
- DETAY M. (1993). Le forage d'eau (Realisation, entretien, rehabilitation), Masson, Paris, P 402.
- DPAT (2016). Monographie de la wilaya de Ghardaia. W. d. G. DPAT. DPAT, Wilaya de Ghardaia.
- DUBIEF, J. (1953). Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. Institut de Météorologie et de Physique du Globe de l'Algérie Service des Etudes Scientifiques ; Alger, Algérie.
- FABRE, J. (1976). Introduction à la géologie du Sahara algérien et des régions voisines. SNED, Alger.
- O.N.M (2018). bulletins de météorologie, Station Ghardaia.
- OSS (2003). Système Aquifère du Sahara Septentrional. Volume 2 : Hydrogéologie. S. R. interne. SASS. Tunis, Tunisie, Rapport interne, SASS. Tunis, Tunisie: 275.
- OULD BABA SY, M. (2005). RECHARGE ET PALEORECHARGE DU SYSTEME AQUIFERE DU SAHARA SEPTENTRIONAL. DEPARTEMENT DE GEOLOGIE, UNIVERSITE DE TUNIS EL MANAR. Doctorat: 271.
- UNESCO/ERSS. (1972). *Etude des Ressources en eau du Sahara Septentrional Algérie-Tunisie*. Retrieved from UNESCO:
- ANRH Ghardaïa Rapport de fin de sondage, Forage de El-Boustane (2017), El Menia.
- ANRH Ghardaïa Rapport de fin de sondage, Forage Chentir (2015), Hassi El Fhel.
- ANRH Ghardaïa Rapport de fin de sondage, Forage Zazratou (2012), Ghardaïa.
- ANRH Ghardaïa Rapport de fin de sondage Forage DIM Zone Industrielle (2011), Guerrara.

ANNEXE



Aspect des argiles du Cénomanién (El Menia)



Affleurement des argiles cénomaniennes multicolores (El-Gara El Malha à El Menia)



Aspect des argiles du Sénonien inférieur



Niveau statique dans un forage à El Menia)



Mesure du niveau piézométrique (PZ 01 - El Menia)

Résumé :

Dans la région de Ghardaïa l'aquifère du Continental Intercalaire (CI) est considéré comme la seule source disponible pour satisfaire les besoins croissants en alimentation en eau potable, en agriculture et pour l'industrie. Cet aquifère est fortement exploité par un nombre très important de forages, alors que son alimentation est très faible, considéré comme non renouvelable. Ce qui nécessite un suivi et un contrôle périodique de ses prélèvements, de son niveau piézométrique et de sa qualité physico-chimique.

L'objectif de notre étude est de connaître l'état actuel l'aquifère du Continental Intercalaire (CI) dans la région de Ghardaïa, tout en étudiant la piézométrie et la qualité chimique de ces eaux. Les résultats ont montré une chute du niveau piézométrique très importante au niveau des zones urbaines (Ghardaïa, Berriane, Metlili, Zelfana) avec plus de 8 mètres. Les eaux du Continental Intercalaire (CI) sont classées potables selon les normes OMS et algérienne, et de qualité médiocre à admissible pour l'irrigation. La minéralisation de ces eaux est liée principalement à la dissolution des évaporites (gypse et halite en particulier) présentes dans les sables argileux de l'Albien.

Mots clés : Ghardaïa, Continental Intercalaire, Piézométrique, exploitation, irrigation.

ملخص

تعتبر طبقة المتداخل القاري في منطقة غرداية المصدر الوحيد المتاح لتلبية الاحتياجات المتزايدة لتزويد بالمياه للشرب والزراعة والصناعة. هذا الخزان المائي الجوفي مستغل بكثرة وبعدها كبير من الآبار الارتوازية العميقة، تغذيته ضئيلة جدا، لدى فهي طبقة غير متجددة تتطلب المراقبة والمتابعة الدورية لمستواها البيزومتري وخصائصها الفيزيوكيميائية. الهدف من دراستنا هو معرفة الوضع الحالي لهذه الطبقة بمنطقة غرداية وذلك بدراسة المستوى البيزومتري ومقارنته بوضعية سابقة وكذلك التحليل الكيميائي لمياهه. أظهرت النتائج، انخفاضا كبيرا في منسوب المستوى البيزومتري خاصة على مستوى المدن (غرداية، بريان، متليلي وزلفانة) بأكثر من 8 أمتار. مياه المتداخل القاري تصنف على أنها صالحة للشرب وفقا لمعايير منظمة الصحة العالمية والمعايير الجزائرية. كما أنها ذات نوعية متوسطة ومؤهلة للري الزراعي. معادن هذه المياه مرتبطة أساسا بانحلال معادن الملح (الجبس والهاليت خاصة) المتواجدة بكثرة في الرمال الصخرية المكونة لخزان المتداخل القاري.

الكلمات المفتاحية: غرداية، المتداخل القاري، البيزومتري، استغلال، الري.

Summary:

In the Ghardaïa region, the Continental Intercalaire (CI) aquifer is considered to be the only source available to satisfy the growing needs of drinking water supply, agriculture and industry. This aquifer is heavily exploited by a large number of boreholes, while its diet is very low, considered non-renewable. This requires periodic monitoring and control of its piezometric level and its physicochemical quality.

The aim of the study is to know the current status of the aquifer of the Continental Intercalaire (CI), while studying the piezometry and the chemical quality of the water. The results show a very significant fall in the piezometric level in the cities (Ghardaïa, Berriane, Metlili, Zelfana) with more than 8 meters. The waters of the Continental Intercalaire (CI) are classified as drinking according to WHO and Algerian standards. They are of mediocre quality to qualify for irrigation. The mineralization of these waters is mainly related to the dissolution of evaporites (gypsum and halite in particular), present in the sand of the CI.

Key words: Ghardaïa, Continental Intercalaire, Piezometric, exploitation, irrigation.