



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Echahid Hamma Lakhdar El oued



Faculté de Technologie Département : Hydraulique et Génie Civil

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme du Master en Hydraulique

Option : Ouvrage Hydraulique

THEME

**Contributions à l'étude physico-chimique de la qualité des eaux de la nappe complexe
terminal de village cheggua comme EL Alia wilaya Touggourt.**

Dirigé par

Promoteur : SAYAH LEMBAREK Mohammed

Co-Promoteur : MILOUDI Abdelmounem

Présente par

KADDOURI Abdelaziz

Promotion : 2025/2026

Remerciements

Nous remercions Allah Tout-Puissant de nous avoir permis de réaliser ce modeste travail.

En premier lieu, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre encadrant, le **Docteur Sayah Lembarek Mohammed**, pour ses précieux conseils, son accompagnement et son soutien constant qui ont grandement contribué à la réalisation de ce projet.

Nous adressons également nos sincères remerciements au **Docteur Miloudi Abdelmounem** pour son aide et ses orientations.

Nous vifs remerciements vont aussi au **Docteure Zair Nadjjet** pour les efforts qu'il a fournis et pour son aide précieuse.

Enfin, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à tous nos enseignants pour leurs efforts, ainsi qu'à toute personne ayant contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents, que Dieu les protège, en reconnaissance de leur soutien et de leurs sacrifices.

À mes chers enfants : Nihal, Sohaib et Oussama,

et à mon épouse, compagne de route et soutien de tous les instants.

À mes frères et sœurs, avec toute mon affection.

À tous mes professeurs, collègues et amis, pour leur précieux accompagnement.

Kaddouri Abdelaziz

الملخص:

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم جودة المياه الجوفية وخطر التملح في منطقة شديدة الجفاف بالشقة بالجنوب الشرقي الجزائري، اعتمادًا على بيانات مأخوذة من 27 بئرًا يتراوح عمقها بين 84 و180 مترًا. شملت التحاليل قياس بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمياه مثل الأس الهيدروجيني، والناقلية الكهربائية، وإجمالي المواد الصلبة الذائبة، والملوحة، والعكارة. أظهرت النتائج وجود تمعدن مرتفع للمياه، حيث تراوحت الملوحة بين 2.15 و8.09، والناقلية الكهربائية بين 4054 و13980 ميكروسيمنس لكل سنتيمتر، بينما تراوحت قيم المواد الصلبة الذائبة بين 2027 و6994 ملغرامًا لكل لتر، مما يدل على أن المياه ذات طبيعة ملحية. كما كان الأس الهيدروجيني متعادلاً إلى قلوي قليلاً، مع انخفاض في قيم العكارة. كما أظهرت التحاليل الإحصائية وجود ارتباط قوي بين الناقلية الكهربائية وإجمالي المواد الصلبة الذائبة والملوحة، وبيّن تحليل التباين وجود فروق ذات دلالة إحصائية مرتبطة بعمق الآبار. وقد ساعدت الخرائط المعتمدة على نظم المعلومات الجغرافية في تحديد المناطق الأكثر عرضة للتملح، مما يشير إلى تأثير التبخر وتفاعلات الماء مع الصخور إضافة إلى الاستغلال المفرط للمياه الجوفية. وتوفر هذه الدراسة أساسًا علميًا يساهم في دعم الإدارة المستدامة لموارد المياه الجوفية في خزان المركب النهائي. الكلمات المفتاحية: منطقة الشقة، المركب النهائي، الملوحة والناقلية الكهربائية، خزان مائي شديد الجفاف، تفاعل الماء مع الصخور.

Abstract:

This study evaluates the quality of groundwater and the risk of salinization in the hyper-arid region of Cheggua, located in southeastern Algeria, based on data obtained from 27 wells (depths ranging from 84 to 180 m). The measured physicochemical parameters include pH, electrical conductivity (EC), total dissolved solids (TDS), salinity, and turbidity. The results reveal a high level of mineralization, with salinity ranging from 2.15 to 8.09 psu, EC between 4054 and 13,980 $\mu\text{S}/\text{cm}$, and TDS ranging from 2027 to 6994 mg/L. The average values are 3.25 psu for salinity, 5980 $\mu\text{S}/\text{cm}$ for EC, and 2990 mg/L for TDS, indicating a saline aquifer. The pH remains neutral to slightly alkaline (mean 7.75), while turbidity is low (median 1.2 FNU). Strong correlations exist between EC, TDS, and salinity ($r = 1.00$), whereas turbidity shows a negative correlation with mineralization ($r = -0.49$). ANOVA indicates significant differences in EC, TDS, and salinity according to depth categories ($p < 0.05$). Multiple regression explains 85% of the variance in salinity ($R^2 = 0.85$), with EC and TDS as significant predictors. GIS mapping identified vulnerable zones with $\text{TDS} \geq 4000$ mg/L, indicating saline intrusion and overexploitation. The aquifer is mainly confined (75–84 m), with mineralization controlled by evaporation and water–rock interactions. This study provides a scientific basis for sustainable management of the Terminal Complex.

Keywords:

Cheggua Region, Terminal Complex, Salinity and Electrical Conductivity hyper-arid aquifer, water–rock interaction, .

Résumé

Cette étude évalue la qualité des eaux souterraines et le risque de salinisation dans une région hyper-aride de Cheggua, au sud-est de l'Algérie, à partir de données issues de 27 puits (profondeur 84–180 m). Les paramètres physicochimiques mesurés comprennent le pH, la conductivité électrique (CE), les solides dissous totaux (TDS), la salinité et la turbidité. Les résultats révèlent une forte minéralisation, avec une salinité variant de 2,15 à 8,09 psu, une CE comprise entre 4054 et 13 980 $\mu\text{S}/\text{cm}$, et des TDS allant de 2027 à 6994 mg/L. Les valeurs moyennes sont de 3,25 psu pour la salinité, 5980 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour la CE et 2990 mg/L pour les TDS, traduisant un aquifère salin. Le pH reste neutre à légèrement alcalin (moyenne 7,75), tandis que la turbidité est faible (médiane 1,2 FNU). De fortes corrélations existent entre la CE, les TDS et la salinité ($r = 1,00$), alors que la turbidité présente une corrélation négative avec la minéralisation ($r = -0,49$). L'ANOVA indique des différences significatives de CE, TDS et salinité selon les catégories de profondeur ($p < 0,05$). La régression multiple explique 85 % de la variance de la salinité ($R^2 = 0,85$), avec la CE et les TDS comme prédicteurs significatifs. La cartographie SIG a permis d'identifier des zones vulnérables présentant des TDS $\geq 4\,000$ mg/L, indiquant une intrusion saline et une surexploitation. L'aquifère est principalement captif (75–84 m), avec une minéralisation contrôlée par l'évaporation et les interactions eau–roche. Cette étude fournit une base scientifique pour une gestion durable du Complexe Terminal.

Mots-clés :

Région de Cheggua - Complexe terminal- salinité et conductivité électrique - Aquifère hyper-aride - Interaction eau–roche.

LISTE DES ABREVIATIONS

ABHS: Agence de Bassin Hydrographique Sahara

ADE: Algérienne Des Eaux

APC: Assemblai populaire communale

AEA: Alimentation en Eau d'Agriculture.

AEP: Alimentation en Eau Potable.

ANRH: Agence Nationale des Ressources Hydriques

CI: Continental Intercalaire

CT: Complexe Terminal

DSA: Direction des Services Agricoles.

DRE: Direction des Ressources en Eau

GIRE: Gestion Intégrée de la Ressource en Eau.

OMS: Organisation Mondiale de la Santé.

ONM: Office National Météorologique

Table de matière

Remerciements.....	
Dédicace.....	
Abstract:	
Résumé.....	
LISTE DES ABREVIATIONS.....	
Table de matière	
Liste des figures	
Liste des tableaux.....	- 11 -
Introduction Générale.....	- 1 -

Chapitre I: Présentation de la zone d'étude et cadre général

I.1- Introduction :	- 5 -
I.2- Situation géographique :	- 5 -
I.3- Synthèse climatique sur la région :	- 6 -
I. 3.1- Température :	- 6 -
I.3.2- Précipitation :	- 7 -
1.3.3- L'humidité relative :	- 8 -
1.3.4- Vitesse du vent :	- 9 -
1.3.5- L'évaporation :	- 10 -
I.4-Réseau hydrographique :	- 11 -
I.4.1- Oued	- 12 -
I.4.2- Les oueds de la dorsale du M'zab :	- 12 -
I.5- Unités géomorphologiques et topographie :	- 12 -
I.5.1- Les Hamadas :	- 13 -
I.5.2- Les Regs :	- 13 -
I.5.3- Les accumulations sableuses :	- 13 -
I.5.4- Les Sebkha et les Chott :	- 13 -
I.5- Conclusion :	- 13 -

Chapitre II: Contexte géologie et hydrogéologie

II.1- Introduction :	- 15 -
II.2- Cadre géologique de la région :	- 15 -
II.2.1- Structure géologique du bassin oriental :	- 15 -
II.3- Géologie régionale :	- 16 -
II.4- Géologie locale :	- 17 -
II.4.1- Géologie et Géomorphologie de la région :	- 17 -

II.4.2- Description Stratigraphique :	- 20 -
II.5- Tectonique générale :	- 22 -
II.6- Paléogéographie :	- 24 -
II.7- Le Continental Intercalaire (CI) :	- 26 -
II.8- Le Complexe Terminal (CT) :	- 28 -
II.9- HYDROGEOLOGIE LOCALE :	- 32 -
II.9.1- La nappe du Continental Intercalaire :	- 32 -
II.9.2- La nappe du Complexe Terminal :	- 32 -
II.10- Conclusion :	- 33 -

Chapitre III : Méthodologie d'étude et analyses physico-chimique des eaux

III.1- Introduction :	- 35 -
III.2- Méthodologie :	- 35 -
III.3- Emplacement des points d'eaux échantillonnés :	- 36 -
III.3- Conclusion :	- 40 -

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.1- Introduction :	- 42 -
IV.2- Résultats et discussion :	- 42 -
IV.2.1- Répartition spatiale des points d'échantillonnage :	- 42 -
IV.3- Analyse spatiale des paramètres physico-chimiques :	- 43 -
IV.3.1- Interprétation du Le Potentiel d'Hydrogène (PH) :	- 43 -
IV.3.2- Distribution des TDS :	- 45 -
IV.3.3- Distribution de la conductivité électrique (CE) :	- 46 -
IV.3.4- Distribution de la salinité :	- 48 -
IV.4. Discussion générale :	- 49 -
IV.5. Conclusion :	- 49 -

Conclusion générale	- 50 -
----------------------------	---------------

Conclusion générale	- 51 -
---------------------	--------

Recommandations :	- 54 -
-------------------	--------

Références bibliographiques	- 55 -
------------------------------------	---------------

Liste des figures

Figure I.1: situation géographiques.....	- 5 -
Figure I.2 : Histogramme de distribution de la température moyenne mensuelle – station de Touggourt (1975-2013).....	- 7 -
Figure I.4 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles – Station de Touggourt (1975-2013).	- 8 -
Figure I.5 : Histogramme de distribution d'humidité moyenne mensuelle - station de Touggourt (1975-2013).....	- 9 -
Figure. I.6 : Histogramme de distribution de la vitesse de vent moyenne mensuelle de la station de Touggourt (1975-2013).....	- 10 -
Figure I.7 : Histogramme d'évaporations moyennes mensuelles de la station de Touggourt.	- 11 -
Figure I.8 : Réseau hydrographique dans la région d'étude (Ballais, 2012).....	- 12 -
Figure II.1 : Carte géologique du Sahara orientale.	- 17 -
Figure II.2 : Carte géologique de la région de Touggourt, extraite de la carte géologique au 1/500 000 de l'Algérie (M. Bétier, 1951), modifiée.	- 18 -
Figure II.3 : Les grandes unités géologiques au Sahara (Nesson, 1978)	- 19 -
Figure II.4 : Coupe géo structurale transversale régionale (WEC, 2007).....	- 19 -
Figure II.5 : Colonne litho-stratigraphique synthétique de la région de chag, (Helal et Ourihane., 2004).	- 22 -
Figure II.6 : Log stratigraphique synthétique de la région de chaggua.....	- 23 -
Figure. II.7 : Extension géographique du système aquifère CI et CT (UNESCO, 1972).	- 26 -
Figure II.8 : Coupe hydrogéologique de SASS (UNESCO, 1972).....	- 27 -
Figure II.9 : Carte piézométrique de référence du CI (OSS, 2003).	- 28 -
Figure. II.10 : Coupe hydrogéologique transversale du CT (UNESCO, 1972).	- 31 -
Figure. II.11 : Carte piézométrique de référence du CT (OSS, 2003).	- 31 -
Figure III.2: situation géographiques	- 37 -
Figure III.3: Prélèvement des échantillons.....	- 38 -
Figure III.4: Appareil de mesure.....	- 38 -
Figure IV.1: Localisation des points d'échantillonnage dans la région de Cheggua	- 42 -
Figure IV.2 : Analyse spatiale de la distribution des valeurs de pH.	- 43 -
Figure IV.3 : Carte de distribution des TDS (ppm)	- 45 -
Figure IV.4 : Carte de la conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$).....	- 46 -

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Températures moyennes mensuelles (°C) pour la station de Touggourt.....	- 6 -
Tableau I.3 : Humidité moyennes mensuelles (%) pour la station de Touggourt.....	- 8 -
Tableau I.4 : vitesses de vent moyennes mensuelles (m/s) pour la station de Touggourt.	- 9 -
Tableau I.5 : L'évaporation moyenne mensuelle de la station de Touggourt.	- 10 -
Table III.1: Resultants des caractristiques physico-chimiques des eaux analysées	- 39 -

Introduction Générale

Introduction générale

L'eau constitue une ressource naturelle indispensable au développement économique et social, en particu

lier dans les régions arides et semi-arides caractérisées par la rareté des ressources en eau de surface et l'irrégularité des précipitations. Dans ces régions, les eaux souterraines représentent la principale source d'approvisionnement pour les besoins domestiques et agricoles, notamment dans les zones sahariennes où l'agriculture repose essentiellement sur l'irrigation.

Au sud-est de l'Algérie, l'extension des activités agricoles et le développement des techniques de forage ont conduit à une augmentation importante du nombre de puits exploitant les nappes souterraines. Cette exploitation intensive peut engendrer plusieurs problèmes hydrogéologiques, notamment la baisse des niveaux piézométriques et la dégradation progressive de la qualité des eaux, en particulier à travers l'augmentation de la salinité et de la minéralisation.

L'évaluation de la qualité des eaux souterraines repose sur l'analyse de plusieurs paramètres physico-chimiques tels que le pH, la conductivité électrique (CE), les solides dissous totaux (TDS), la salinité et la turbidité. L'étude de ces paramètres permet de mieux comprendre les processus hydrochimiques contrôlant la composition des eaux souterraines, notamment les interactions eau-roche, les phénomènes d'évaporation ainsi que les conditions hydrogéologiques des aquifères.

Dans ce contexte, la présente étude a pour objectif d'évaluer la qualité des eaux souterraines dans la région de Cheggua, située dans le sud-est de l'Algérie, et d'analyser le risque de salinisation à partir de l'étude de plusieurs forages. Cette recherche s'appuie sur l'analyse des paramètres physico-chimiques de l'eau ainsi que sur l'utilisation de méthodes statistiques et d'outils de cartographie basés sur les Systèmes d'Information Géographique (SIG). Les résultats obtenus permettront de mieux comprendre la distribution spatiale de la qualité des eaux souterraines et de contribuer à une gestion plus rationnelle et durable des ressources en eau dans les régions arides.

Afin de mener à bien ce travail, nous avons adopté une structure de mémoire contenant en quatre chapitres suivants :

Introduction générale

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude et cadre général

Chapitre II : Contexte géologie et hydrogéologie

Chapitre III : Méthodologie d'étude et analyses physico-chimique des eaux

Chapitre IV : Résultats et discussion

Conclusion générale

Chapitre I

Présentation de la zone d'étude et cadre général

I.1- Introduction :

Dans Ce chapitre, on va présenter notre zone d'étude, en donnant quelques composantes climatiques, hydrographiques et géomorphologiques de la zone de cheggua la commune d'Alia la Daïra d'EL Hadjira, Wilaya de Touggourt.

I.2- Situation géographique :

La zone d'étude correspond à la subdivision communale de Cheggua, administrative-ment rattachée à la wilaya de Touggourt, daïra d'El Hadjira, commune d'El Alia. Elle est située au sud-ouest du centre-ville de Touggourt et au nord de la commune d'El Alia, à environ 72 km de Touggourt et 30 km du chef-lieu communal d'El Alia. Géographiquement, elle s'étend entre 33°15'09.36" N et 32°46'54.24" N de latitude, et entre 5°48'49.57" E et 5°01'29.53" E de longitude. Elle est limitée au nord par la commune de Morara (wilaya d'El Oued), au sud par El Alia, à l'est par la commune de Blidet Amor et à l'ouest par la commune de Guettara (wilaya de M'Sila) (Figure 1) (C.A.D.A.S.T.R.E., 2025 ; A.N.R.H., 2022).

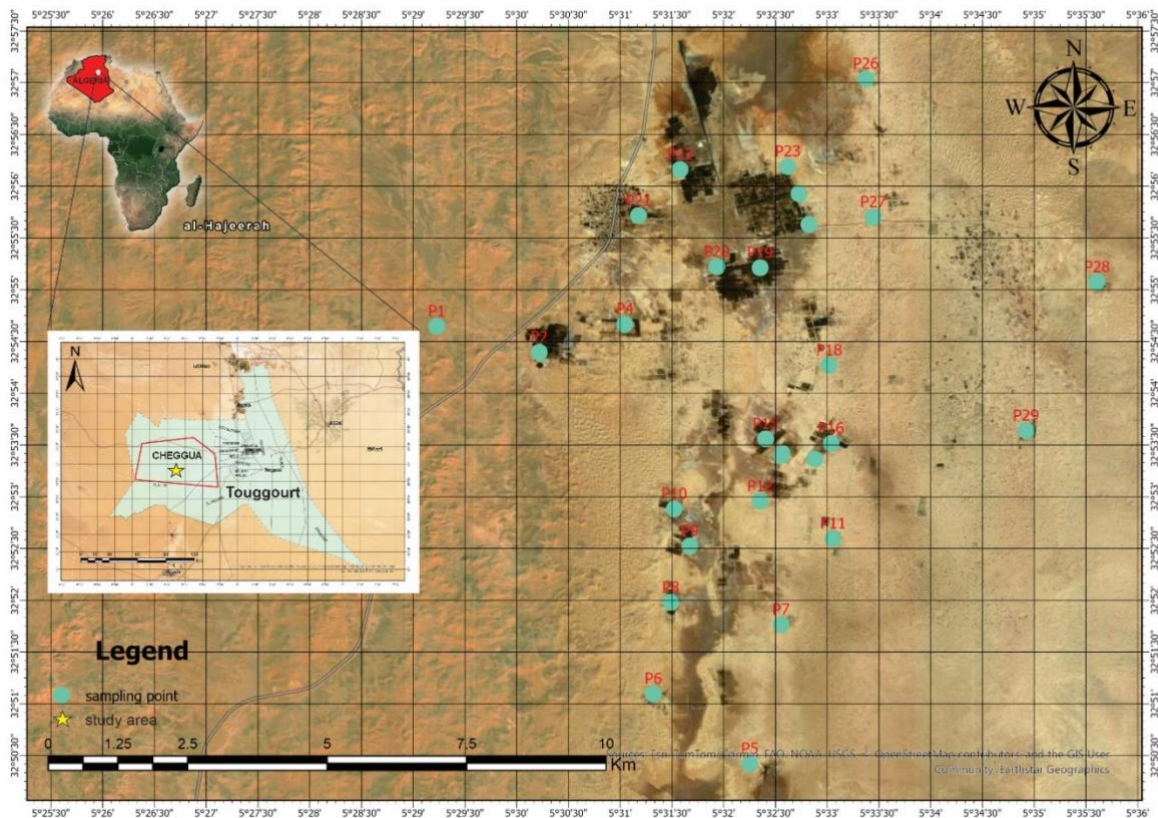


Figure I.1: situation géographies

Le climat est aride à hyperaride, caractérisé par des précipitations faibles, rares et irrégulières, avec une période sèche quasi totale de mai à août. Le maximum mensuel des précipitations est enregistré en janvier (17,68 mm). L'humidité relative moyenne annuelle est

d'environ 48 %, variant de 33 % à 65 % ; juillet est le mois le plus sec et janvier le plus humide. La vitesse moyenne du vent atteint un maximum en mai (4,18 m/s) et un minimum en décembre (2,54 m/s), avec des directions dominantes variables. Les températures moyennes mensuelles varient de 9,82 °C en janvier à 33,15 °C en août ; sur la période 1975–2005, l'année 1983 a été la plus sèche et 1980 la plus froide (C.A.D.A.S.T.R.E., 2025 ; A.N.R.H., 2022).

La coupe géologique révèle une succession multicouche. Une couche argilo-sableuse gypseuse (0–12 m) constitue un horizon imperméable de couverture. Elle est suivie d'un grès ocre (12–58 m), à perméabilité modérée à faible en raison de sa teneur en argile. La couche d'argiles et de marnes (58–75 m) agit comme niveau de confinement. L'aquifère principal correspond à une couche sableuse à grains moyens à grossiers (75–84 m), hautement perméable. Enfin, un calcaire marneux (84–90 m) forme un substratum peu perméable, jouant un rôle de couche de base confinant (Figure 2).

I.3- Synthèse climatique sur la région :

La région de cheggua est caractérisée par un climat typiquement saharien qui se manifeste par des précipitations très faibles, des températures élevées et un taux d'humidité relativement faible, D'après les données de plusieurs années d'observations météorologiques au niveau de la station de l'ONM de Touggourt période (1975-2013).

I. 3.1- Température :

Les moyennes mensuelles des températures sont données au (Tableau I.2).

L'histogramme montre que les mois les plus chauds sont : Juillet et Août avec des valeurs moyennes de 33.89 et 33.41°C respectivement. Les mois les plus froids sont : Décembre et Janvier avec des températures de 11.50 et 10.52°C respectivement. La valeur moyenne enregistrée est de l'ordre de 22.05°C (Fig I.2)

Tableau I.1 : Températures moyennes mensuelles (°C) pour la station de Touggourt.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dés	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
T. (°C)	29.08	22.79	15.82	11.50	10.52	12.93	16.69	20.85	25.89	31.18	33.89	33.41

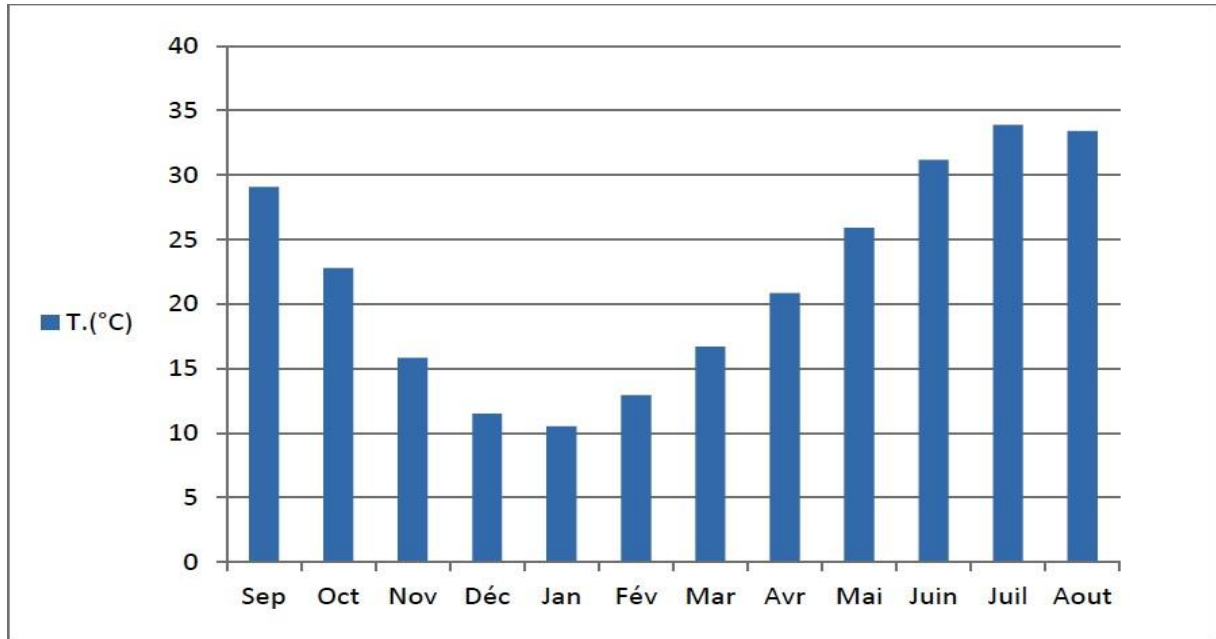


Figure I.2 : Histogramme de distribution de la température moyenne mensuelle – station de Touggourt (1975-2013).

I.3.2- Précipitation :

La région d'étude est caractérisée par des pluies rares et aléatoires avec une influence d'un gradient pluviométrique décroissant du Nord vers le Sud dans les régions sahariennes.

L'histogramme montre que la précipitation moyenne mensuelle maximale est enregistrée en mois de Janvier avec une valeur de l'ordre de 16.93 mm et une valeur minimale de l'ordre de 0.96 mm en mois de Juillet. Notant, que l'année la plus pluvieuse est celle de 2004 avec un cumul de précipitation de 161.8 mm. Tandis que l'année la plus sèche est l'année 1989 avec une précipitation de 11.5 mm (Fig I.3). Le Tableau I.3 montre les précipitations moyennes mensuelles.

Tableau I.2 : Distribution de précipitations moyennes mensuelles (mm) à la station de Touggourt.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dés	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
P. (mm)	5,47	6,10	7,87	5,81	16,93	4,91	9,29	6,90	4,92	1,47	0,96	2,74

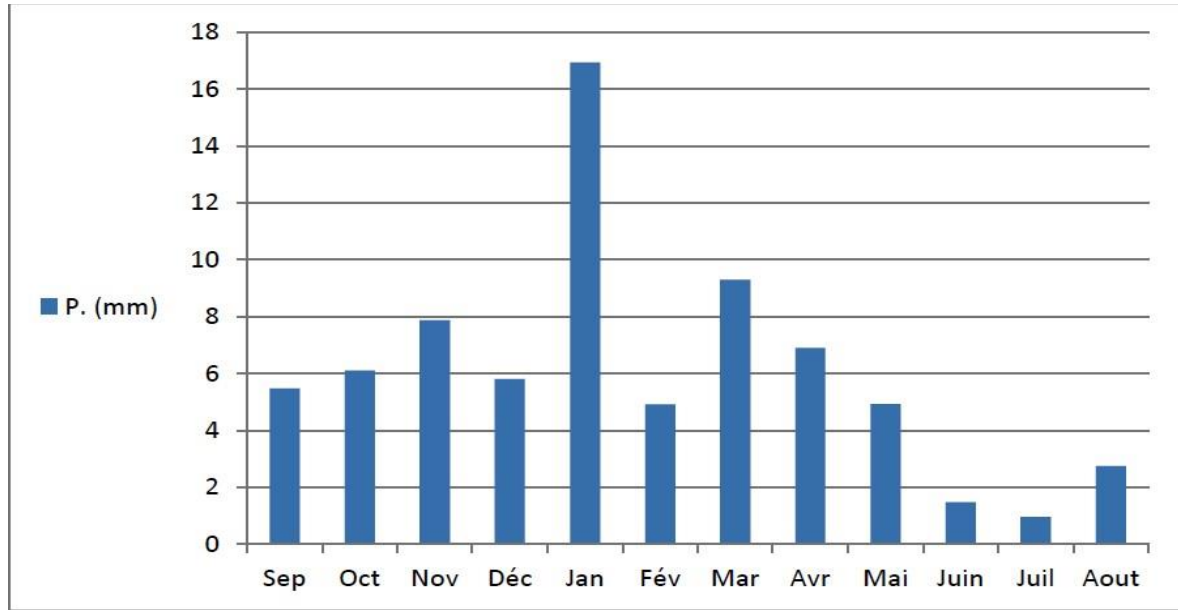


Figure I.4 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles – Station de Touggourt (1975-2013).

1.3.3- L'humidité relative :

L'humidité relative est le rapport entre la tension de vapeur d'eau « e » et la tension de vapeur saturant « ew » à la même température exprimée en % « $U = e / ew * 100$ ». Le (Tableau I.4) présente, les valeurs d'humidité relatives moyennes calculées sur la base de 39 ans.

L'histogramme montre que l'humidité maximale est de l'ordre de 62.47 % en mois de Décembre, par contre l'humidité minimale est de 30.98 % enregistrée en mois de Juillet (Fig. I.4). Il est à noter que les mois humides ($H > 45,51\%$) sont : Octobre, Novembre, Décembre, Janvier, Février et Mars. Tandis que, les mois secs ($H < 45,51\%$) caractérisent le reste des mois de l'année.

Tableau I.3 : Humidité moyennes mensuelles (%) pour la station de Touggourt.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dés	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
H (%)	42.00	49.35	57.73	62.47	61.54	50.77	46.45	41.68	37.88	33.01	30.98	32.31

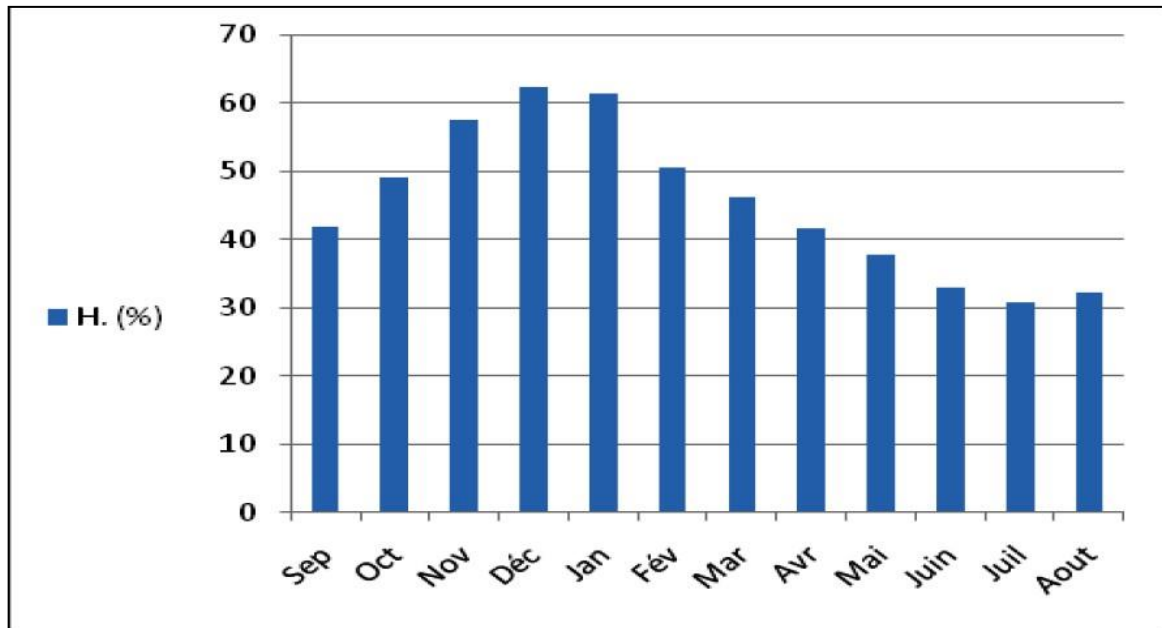


Figure I.5 : Histogramme de distribution d'humidité moyenne mensuelle - station de Touggourt (1975-2013).

1.3.4- Vitesse du vent :

Les vents qui influencent dans la région de Touggourt soufflent suivant des directions différentes généralement, NNE en hiver et SSE en été. Ceci provoque le déplacement des dunes et le dessèchement des végétaux. Il dépasse 20 km/s. D'après Benhaddya, (2006) et le (Tableau I.5) et l'histogramme (Fig I.5), la valeur maximum est enregistrée au mois de Mai avec une vitesse de 4.15 m/s tandis que, le minimum en décembre (2.59 m/s).

Tableau I.4 : vitesses de vent moyennes mensuelles (m/s) pour la station de Touggourt.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dés	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Vit. (m/s)	2.97	2.76	2.67	2.59	2.68	2.83	3.52	4.09	4.15	3.77	3.34	3.10

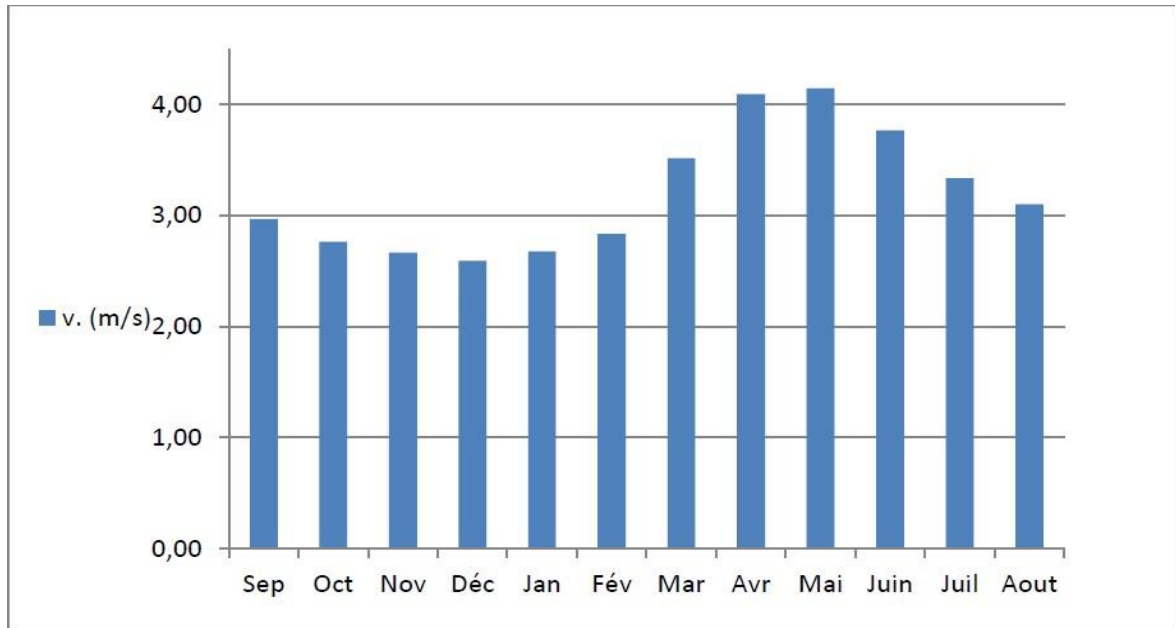


Figure. I.6 : Histogramme de distribution de la vitesse de vent moyenne mensuelle de la station de Touggourt (1975-2013).

1.3.5- L'évaporation :

Le phénomène d'évaporation intervient dans le cycle hydrologique dès le moment où les précipitations, sous forme liquide ou solide, atteignent la surface du sol. De plus l'humidité du sol, soit qu'elle provienne des pluies récentes infiltrées à faible profondeur, soit qu'elle remonte par capillarité de la nappe phréatique, constitue directement ou par l'intermédiaire de la couverture végétale.

L'évaporation moyenne mensuelle est présentée dans le tableau ci-après. On constate que l'évaporation est maximale au mois de juillet (399.79 mm) et minimale au mois de janvier (117.07 mm).

Tableau I.5 : L'évaporation moyenne mensuelle de la station de Touggourt.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août
Eva (mm)	269.08	190.36	125.81	107.39	117.07	131.90	201.12	253.92	313.33	370.603	399.79	364.66

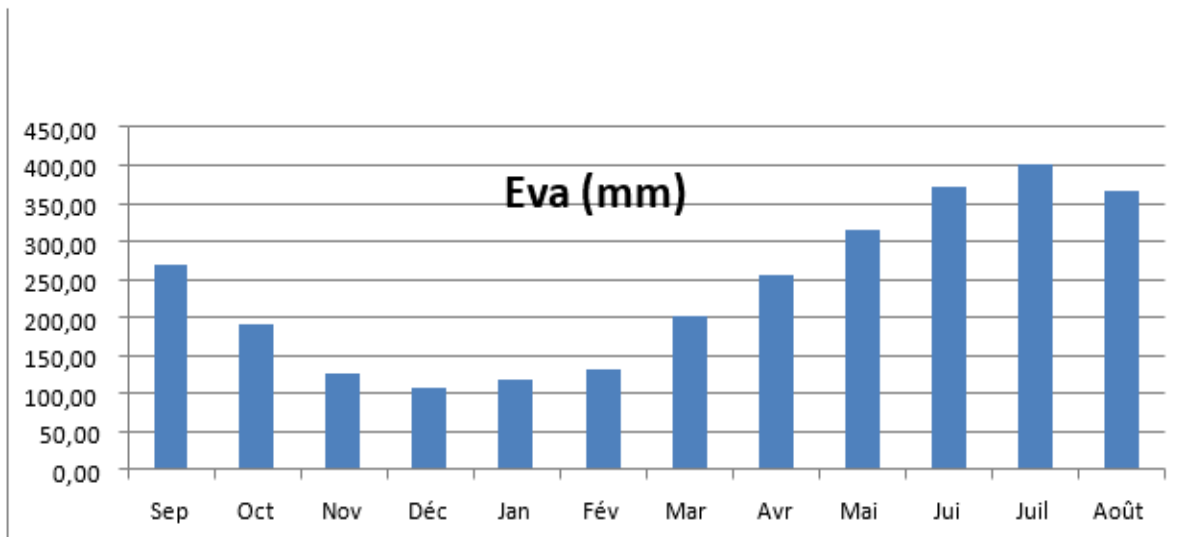


Figure I.7 : Histogramme d'évaporations moyennes mensuelles de la station de Touggourt.

I.4-Réseau hydrographique :

L'hydrographie du Sahara septentrional basée sur les travaux des chercheurs fondateurs :

Est reconsidérée par des recherches universitaires récentes effectuées par M. Côte (2005) montre que les oueds mythiques, Igharghar à partir du sud du Grand Erg Oriental, M'ya au niveau de Ouargla et Rhir n'existent pas. Parmi les oueds réels fonctionnels, on commence à mieux connaître ceux qui descendent de l'Atlas saharien avec leurs barrages et beaucoup moins bien ceux de la dorsale du M'zab. Des oueds réels fossiles viennent d'être découverts dans le Souf, à l'amont du Grand Erg Oriental. Les seules vraies rivières, pérennes, tel le grand drain, sont celles alimentées par les eaux de colature des oasis et des réseaux pluviaux des villes. (Ballais, 2012).

En effet, dans le Sahara septentrional, les précipitations sont non seulement rares, mais toujours très irrégulières. Par suite les conditions de l'écoulement y sont particulières (l'absence d'un écoulement permanent dans les talwegs, la dés organisation du réseau hydrographique et la dispersion de l'eau (Dubief, 1953).

La basse vallée de Oued M'ya (Ouargla) et le canal de l'Oued Rhir (Touggourt, Djamaa, et M'ghaïer) et l'oueds Ittel (stil) où appartiennent les localités de notre zone d'étude, sont drainés par différents et plusieurs oueds, qui déposent leurs apports en eaux et en minéraux dans les chotts Melrhir et Merouane.

I.4.1- Oued Right :

La dépression topographique de l'Oued Right paraît bien trop immense 15 à 30 km de large (Bisson, 1972) pour être constituée par une vallée, même celle d'un très grand cours d'eau.

I.4.2- Les oueds de la dorsale du M'zab :

Des oueds drainent le versant des piedmonts Sud-Est de l'Atlas saharien à l'Est de la dorsale du M'Zab (Figure I.6), encore parfois fonctionnel, constitué de vallées orientées ouest-est qui se jettent dans deux vastes collecteurs, l'oued M'ya au sud et l'oued Right au nord jalonnés par une série de dépressions qui empêchent maintenant tout écoulement continu.

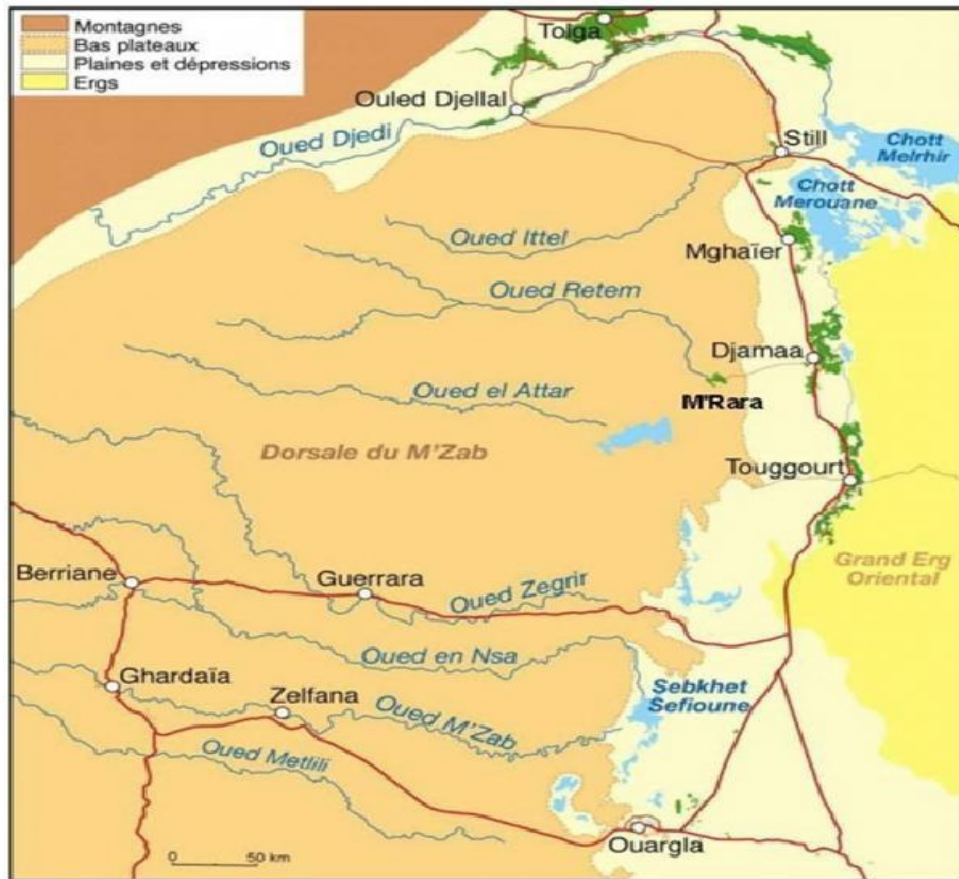


Figure I.8 : Réseau hydrographique dans la région d'étude (Ballais, 2012)

I.5- Unités géomorphologiques et topographie :

Sur le plan géomorphologique, le Sahara possède plusieurs paysages caractéristiques. Les oueds descendant des reliefs se perdent souvent dans des dépressions, s'envoient dans les ergs ou terminent leur course en mer. On peut aussi distinguer des plateaux sur lesquels s'érigent des reliefs (Hamdi Issa, 2001).

I.5.1- Les Hamadas : Ce sont des plateaux rocheux à topographie très monotone, souvent plate à perte de vue.

I.5.2- Les Regs : Ce sont des plaines de graviers et de fragments rocheux. Au Sahara, ils occupent des surfaces démesurées.

I.5.3- Les accumulations sableuses : Le sable est un élément essentiel du paysage saharien. Cependant, les dunes sont loin de recouvrir la totalité du Sahara, mais se localisent généralement dans de vastes régions ensablées appelées les ergs, les dunes peuvent avoir des formes différentes en fonction de la direction dominante du vent.

I.5.4- Les Sebkha et les Chott : Ce sont des dépressions qui se forment lorsque les eaux s'évaporent sous l'effet de la chaleur, des plaques de sels divers se déposent en surface formant suivant l'origine de leurs eaux (phréatiques ou superficielles) les chotts et les sebkhas. Les sebkhas sont apparues au cours d'une période humide antérieure, vraisemblablement le dernier grand épisode pluvial contemporain à la glaciation de Würm, (Dubief, 1963).

I.5- Conclusion :

La zone de Cheggua représente un environnement saharien caractérisé par un climat aride à hyper-aride et par une forte dépendance aux ressources en eaux souterraines pour les activités agricoles et domestiques. La localisation géographique, les conditions climatiques ainsi que les caractéristiques géologiques et hydrogéologiques de la région jouent un rôle déterminant dans la disponibilité et la qualité des ressources en eau.

Ainsi, la compréhension du cadre naturel et des caractéristiques générales de la zone d'étude constitue une étape essentielle pour analyser le fonctionnement de l'aquifère et évaluer la qualité des eaux souterraines. Dans cette perspective, le chapitre suivant sera consacré à l'étude du contexte géologique et hydrogéologique afin de mieux comprendre les processus qui contrôlent la minéralisation et la salinisation des eaux dans la région de Cheggua.

Chapitre II

Contexte géologie et hydrogéologie

II.1- Introduction :

La reconnaissance géologique de la région est une étape indispensable dans toute étude hydrogéologique. Elle permet la détermination de la nature lithologique et la description stratigraphique des formations et distinguer par conséquent celles pouvant renfermer des nappes souterraines.

Dans le but d'identifier les caractéristiques géologiques du réservoir, nous aborderons en premier lieu les aspects géologiques à l'échelle régionale puis à l'échelle locale propre à la zone d'étude.

II.2- Cadre géologique de la région :

Lorsqu'on aborde le Sahara par le Nord, on est surpris par la rapidité avec laquelle on passe des montagnes et plateaux de l'Atlas à la plate-forme désertique saharienne. Ce passage souligné par des affleurements de calcaires blancs sub-verticaux, correspond à l'accident sud-atlasique, qui est selon les endroits un pli, un pli-faille, ou une flexure. Au sud de cet accident qui va d'Agadir au Golfe de Gabès, s'étend le bouclier africain formé de roches éruptives et métamorphiques où se sont déposés plusieurs milliers de mètres de terrains sédimentaires allant du Cambrien au Quaternaire (Cornet, 1964). On y subdivise en deux (02) sous domaines : le bassin occidental et le bassin oriental, séparés par l'anticlinal du M'Zab. Notre zone d'étude, s'inscrit dans cet immense bassin sédimentaire oriental occupant dès le Secondaire, l'emplacement de l'actuel Sahara septentrional (Gouscov, 1952).

II.2.1- Structure géologique du bassin oriental :

Le bassin oriental du Sahara (Fig II.1), à couverture sédimentaire, d'âge paléozoïque au Récent, est nettement mieux connu que sa contrepartie occidentale, grâce aux recherches pétrolières. Il est limité à l'Ouest par la dorsale du M'zab et au Sud par les plateaux du Tademaït et du Tinrhert, se plonge vers l'est en Tunisie et en Libye. Il comporte à la base des sédiments Paléozoïques plissés, et pénéplaines par l'orogénèse hercynienne, surmontés en discordance par des sédiments variés (marins et continentaux) du Secondaire et du Tertiaire sur une épaisseur de 2000 mètres environ. Le bassin oriental se présente également comme un vaste synclinal, ouvert vers le Nord. Dans sa moitié Sud, ce synclinal est traversé par un grand axe anticlinal Nord-Sud ; siège de plusieurs gisements pétroliers. C'est le haut-fond d'Amguid-El Biod. Cet axe n'est plus apparent dans les formations du Mio-Pliocène ; il y a même inversion de relief puisque l'axe de l'actuel synclinal Mio-Pliocène se superpose à l'ancien haut-fond.

Dans le bassin du Sahara septentrional, une seconde zone haute a existé, du Cénomanién au Mio-Pliocène, entre Hassi-Messaoud et la frontière tunisienne. Cette structure est orientée Est-Ouest ; elle sépare la fosse des chotts au nord, du reste du bassin.

Il semble que cet axe joue un rôle important dans l'hydrogéologie de cette région.

II.3- Géologie régionale :

La région de cheggua fait partie du Bas Sahara situé entre l'accident sud atlasique, et les premiers contreforts des monts des Aurès, au Nord ; la falaise méridionale du Tinehert, au Sud. Les affleurements crétacés du Dahar, à l'Est et la dorsale du Mzab, à l'Ouest.

Le Bas Sahara est caractérisé par l'extrême simplicité de sa topographie. Mis à part le côté Nord, les autres bordures sont de hauteur modeste et s'inclinent en pente douce vers la partie déprimée, matérialisée par l'axe SSW-NNE et parcourue par les oueds Mya et Righ. Toutefois, vers le Nord, se dresse une haute barrière composée des monts des Ouled Naïl, des Aurès et des Nemamcha, bordant une dépression longitudinale occupée par des chotts dont le fond est inférieur au niveau de la mer. Il s'étend sur 720 000 Km² de superficie.

Le Bas Sahara se présente ainsi comme une cuvette synclinale dont les terrains, depuis le Cambrien jusqu'au Tertiaire sont dissimulés en grande partie par le grand erg oriental. Cependant, quelques affleurements sont observés sur les bordures.

Nous distinguons de bas en haut, trois ensembles (Fig. II.3) :

- Les terrains paléozoïques affleurent au Sud, entre les plateaux du Tademaït et Tinehert et le massif du Hoggar,
- Les terrains du Mésozoïque et Cénozoïque, constituent l'essentiel des affleurements des bordures du Bas Sahara.
- Des dépôts continentaux de la fin du Tertiaire et du Quaternaires, occupent le centre de la cuvette.

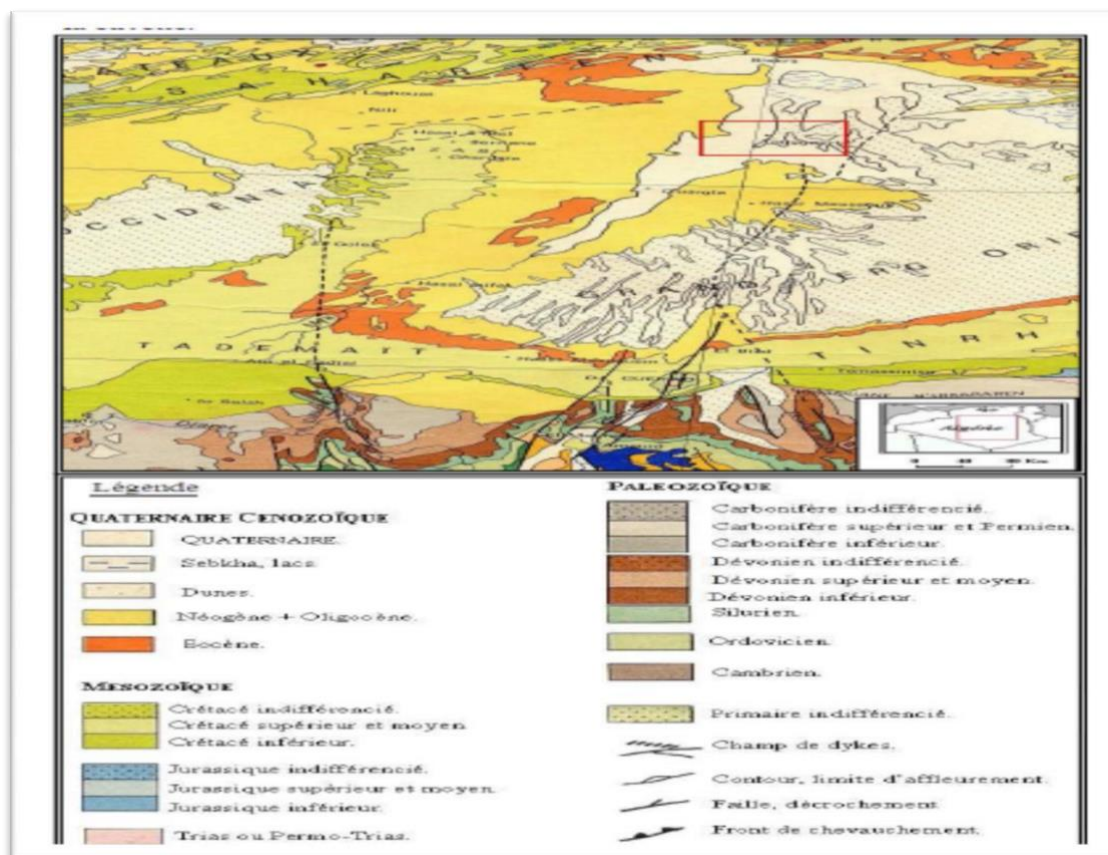


Figure II.1 : Carte géologique du Sahara orientale.

II.4- Géologie locale :

II.4.1- Géologie et Géomorphologie de la région :

D'après les travaux menés par Bel et Fabre (1976) et qui constituent les références de base pour comprendre la géologie de la région on peut constater qu'à une profondeur de plus de 3000 m se trouve le socle le plus ancien, ce dernier surmonté par les grès primaires plus ou moins plissés et érodés. Au-dessus, s'entassent les grès du Continental Intercalaire qui contiennent l'aquifère du même nom.

A la suite de la discordance cénomaniennne s'empilent encore les couches marines du Sénonien et de l'Eocène qui se terminent par la couverture continentale du Miopliocène également aquifère (Mio-pliocène). Du point de vue morphologie, la région étudiée fait partie d'un large fossé de subsidence de direction Sud-Nord, prenant son origine légèrement au Sud de la palmeraie d'EL Goug et débouchant sur le Chott Merouane. La pente générale est de l'ordre de 1‰ ; cependant le profil longitudinal de la vallée est très irrégulier et on note une succession de petits chotts communiquant entre eux par des seuils bas. Le fond de la vallée est comblé de sédiments sableux entrecoupés de lentilles d'argile salifère. La dénivelée entre le

haut et le bas est de quelques mètres seulement et le relief est peu marqué. La zone Complexe Terminal appartient au bas Sahara, elle s'étend sur des ensembles géologiquement différents totalement aplanis au début de l'Ere secondaire ; elle se comporte actuellement comme une vaste dalle rigide et stable.

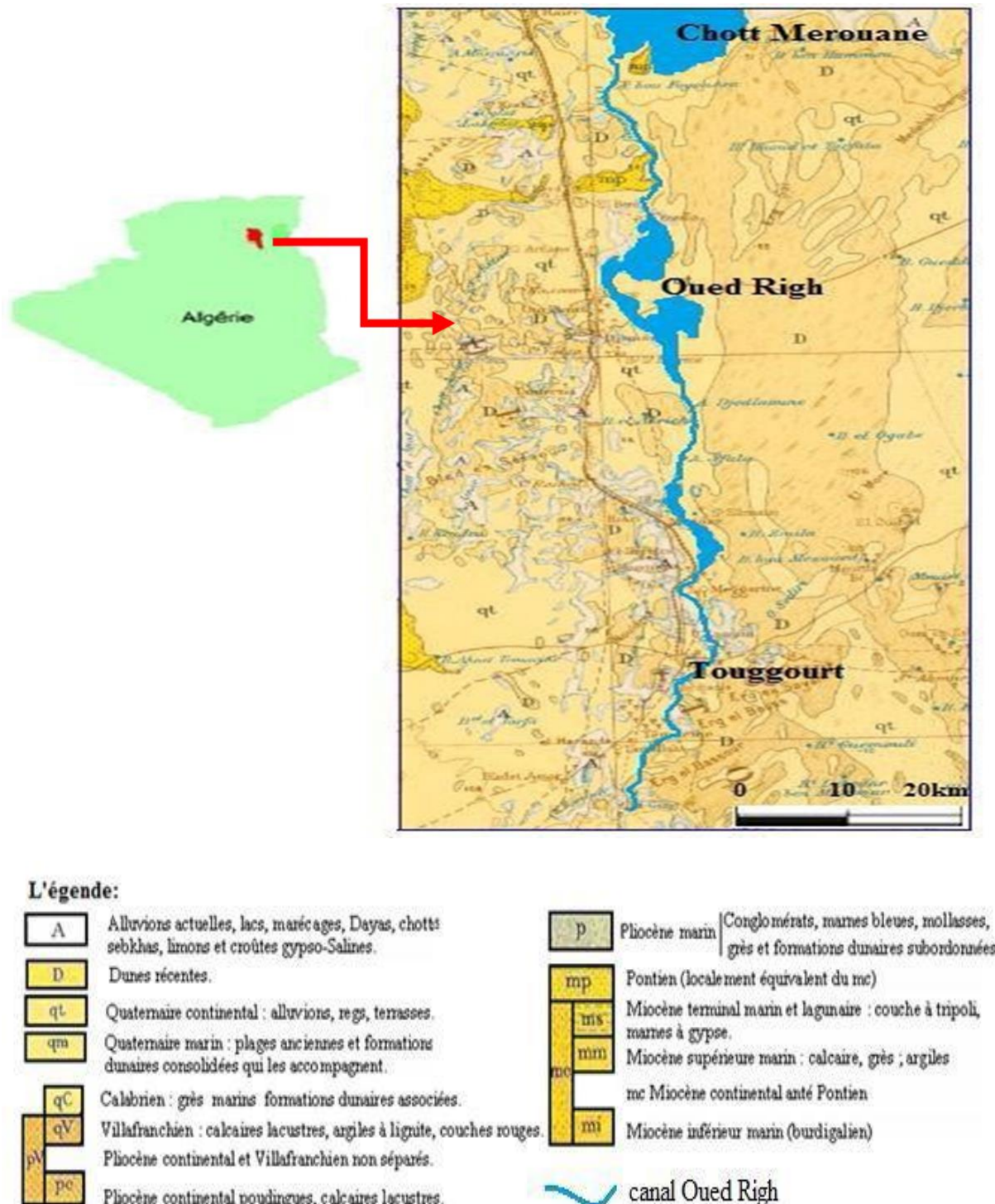


Figure II.2 : Carte géologique de la région de Touggourt, extraite de la carte géologique au 1/500 000 de l'Algérie (M. Bétier, 1951), modifiée.

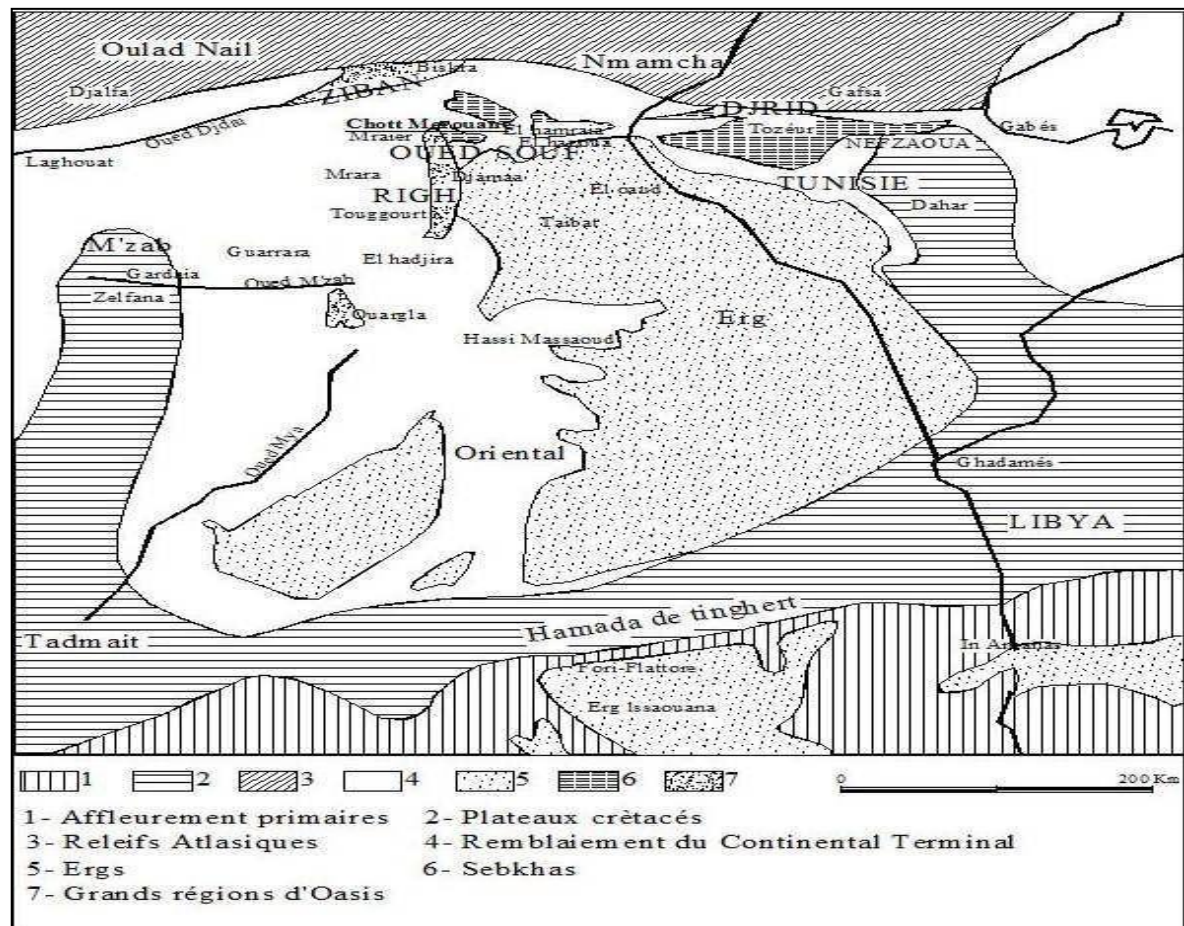


Figure II.3 : Les grandes unités géologiques au Sahara (Nesson, 1978)

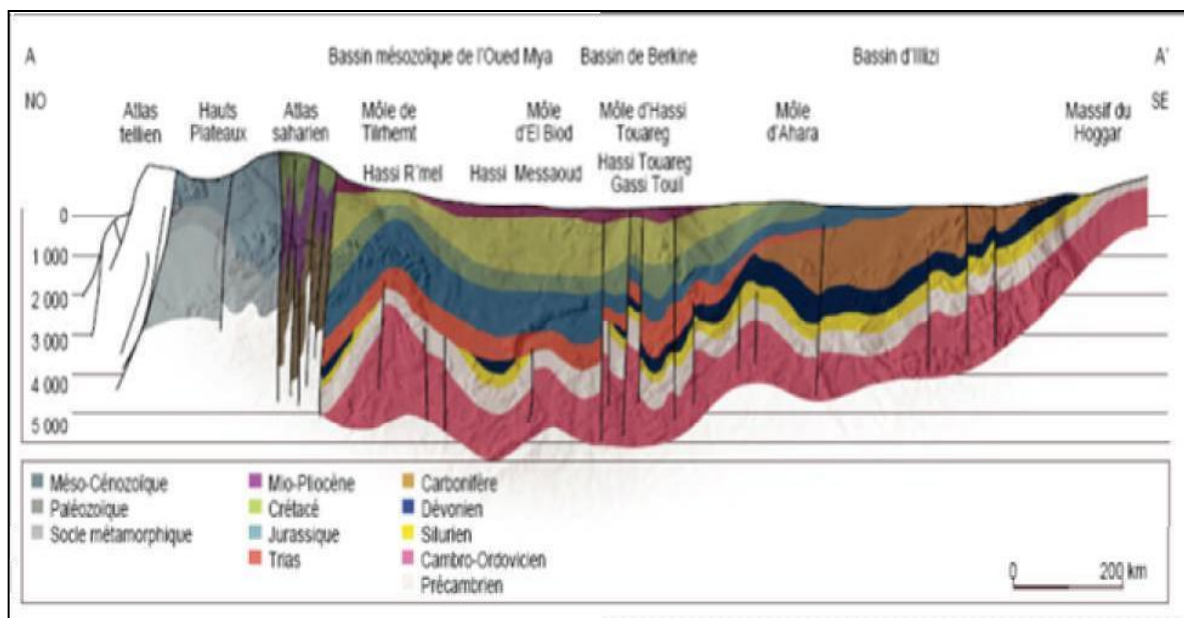


Figure II.4 : Coupe géo structurale transversale régionale (WEC, 2007).

II.4.2- Description Stratigraphique :

Les formations géologiques de la zone étudiée sont décrites du plus ancien au plus récent :

A- Secondaire :

- **Albien** : se présente comme une série très épaisse formée d'une alternance de couche gréseuses avec des passées d'argiles schisteuses.
- **Vraconien** : Il est constitué d'une alternance irrégulière de niveaux argileux et Dolomitiques, d'argiles sableuses et plus rarement de passées de grès à ciment calcaire.
- **Cénomanién** : présente une épaisseur considérable qui diminue progressivement vers le Nord. Il affleure dans la zone atlasique. Ce Cénomanién est composé essentiellement de dépôt lagunaire marneux où prédominent des couches d'anhydrite et parfois même de sel.
- **Turonien** : représenté par un dépôt marin, calcaro-marneux, son épaisseur reste à peu près constante.
- **Sénonien** : essentiellement de calcaire blanc avec une alternance de calcaire de marne et de couche de gypse. Il est formé de deux ensembles très différents du point de vue lithologique : le Sénonien lagunaire, à la base et le Sénonien carbonaté, au dessus.

B- Tertiaire :

- **Eocène** : on distingue deux ensembles lithologiques ; l'Eocène carbonaté à la base, l'Eocène évaporitiques au-dessus.

❖ Eocène inférieur carbonaté :

L'Eocène carbonate a des caractéristiques lithologiques qui le rendent difficile à distinguer du Sénonien. Seule la présence ou l'absence de nummulites permet de faire la différence.

Les calcaires ont tendance à prédominer sur les dolomies et les évaporites sont beaucoup plus rares que dans le Sénonien, sinon totalement absentes.

Les calcaires à silex rencontres au sommet du Sénonien carbonate se poursuivent dans l'Eocène. La puissance de cette formation varie entre 100 et 500 m.

❖ Eocène moyen évaporitique :

Il est formé par une alternance de calcaire, d'anhydrite et de marnes. Son épaisseur atteint une centaine de mètres sous les Chotts (BEL et CUCHE, 1969). Dans l'oued Righ, la nappe des calcaires semble être située dans un niveau carbonaté appartenant à l'Eocène évaporitiques.

➤ **Miopliocène** : BEL et DEMARGNE (1966) distinguent de bas en haut quatre niveaux dans ces dépôts lenticulaires :

- **Niveau 01** : argileux, peu épais, il existe uniquement dans la zone centrale du Sahara Oriental suivant une bande Nord-Sud.

Ces argiles constituent une barrière très peu perméable entre la nappe du Sénonien et de l'Eocène carbonaté et celle des sables de niveau 02.

- **Niveau 02** : grés-sableux, c'est le niveau le plus épais et le plus constant à sa base on trouve parfois des graviers, alors que le sommet se charge progressivement en argiles pour passer au niveau 03. Il atteint 400 m au Sud de Gassi Touil. Le niveau 02 est le principal horizon aquifère du Moi-pliocène.
- **Niveau 03** : C'est une formation argilo sableuse dont les limites inférieures et supérieures sont assez mal définies. Cette couche imperméable n'existe que dans certaines zones ; elle est épaisse et constante que dans la région des chotts.
- **Niveau 04** : C'est le deuxième niveau sableux du Miopliocène. Parfois en continuité avec le niveau 02. Le sommet de niveau 04 affleurant sur de grandes surfaces et souvent constitué par une croûte de calcaire gréseux (croûte hamadienne). L'épaisseur de cet horizon est de l'ordre de 300 m.

C- Quaternaire :

Essentiellement sableux, à la base des couches d'argile et d'évaporites semi-perméables. Cette formation Quaternaire est à l'origine de la formation de la nappe phréatique alimentée principalement par l'infiltration des eaux des oueds et surtout par percolation des eaux en excès lors des périodes d'irrigation. (Fig II.5) :

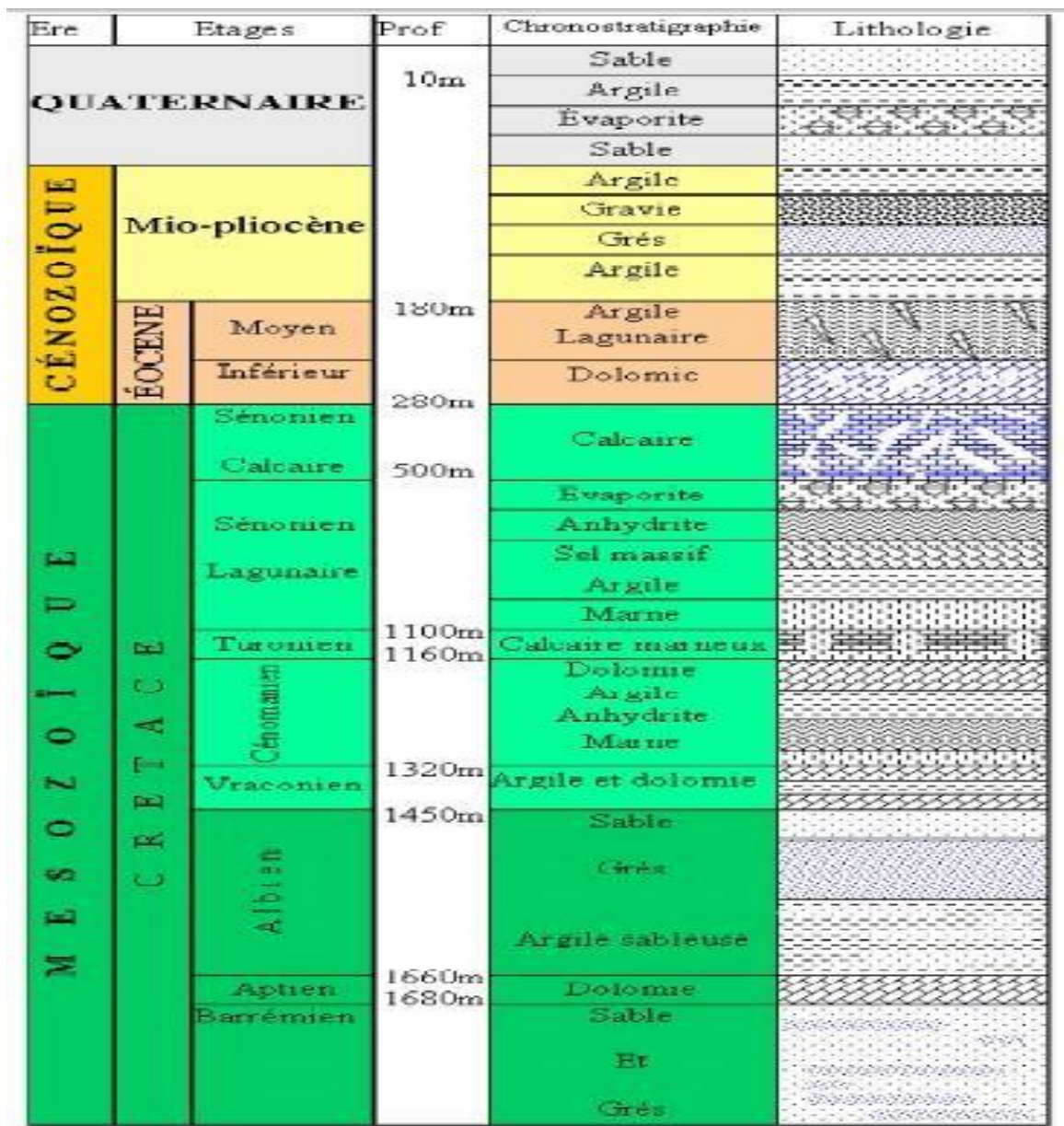


Figure II.5 : Colonne litho-stratigraphique synthétique de la région de chag, (Helal et Ourihane., 2004).

II.5- Tectonique générale :

Au cours du Secondaire, le Sahara algérien oriental subissait des mouvements verticaux d'ensemble. Pendant que de véritables chaînes de montagnes se formaient plus au Nord, dans le géosynclinal de l'Atlas saharien, la zone saharienne tendait plutôt à un effondrement progressif de sa partie centrale, suivant un axe passant sensiblement par la vallée de l'Oued R'hir et par le tronçon supérieur de la vallée de l'Oued Mya (Fabre, 1976).

La géométrie actuelle des formations du Continental Intercalaire et du Complexe Terminal du Sahara est caractérisée par l'absence des déformations tectoniques importantes

(Fig II.6). La chaîne des Maghrébides qui a subi plusieurs phases orogéniques au Tertiaire, va avoir des contrecoups sur la plateforme saharienne :

- Les mouvements de l'Eocène moyen à supérieur, sont bien nets, la phase du Miocène inférieur qui succède et donne naissance au Tell et aux aurès,
- Enfin la phase plio-quaternaire qui s'insère avec les précédentes dans la phase alpine ; d'où l'apparition des fractures de direction Est-Ouest, forment la surrection du massif des aurès et l'affaissement de la partie Sud « sillon sud Aurésien », ces fractures régissent l'écoulement des eaux souterraines d'où la naissance des chotts tels que chott merouane et chott Melghir. La flexure sud atlasique de direction Est-Ouest qui sépare deux domaines distincts, c'est ainsi qu'on, peut avoir au Nord des points culminant « monts des aurès » et au Sud les points les plus affaissés.

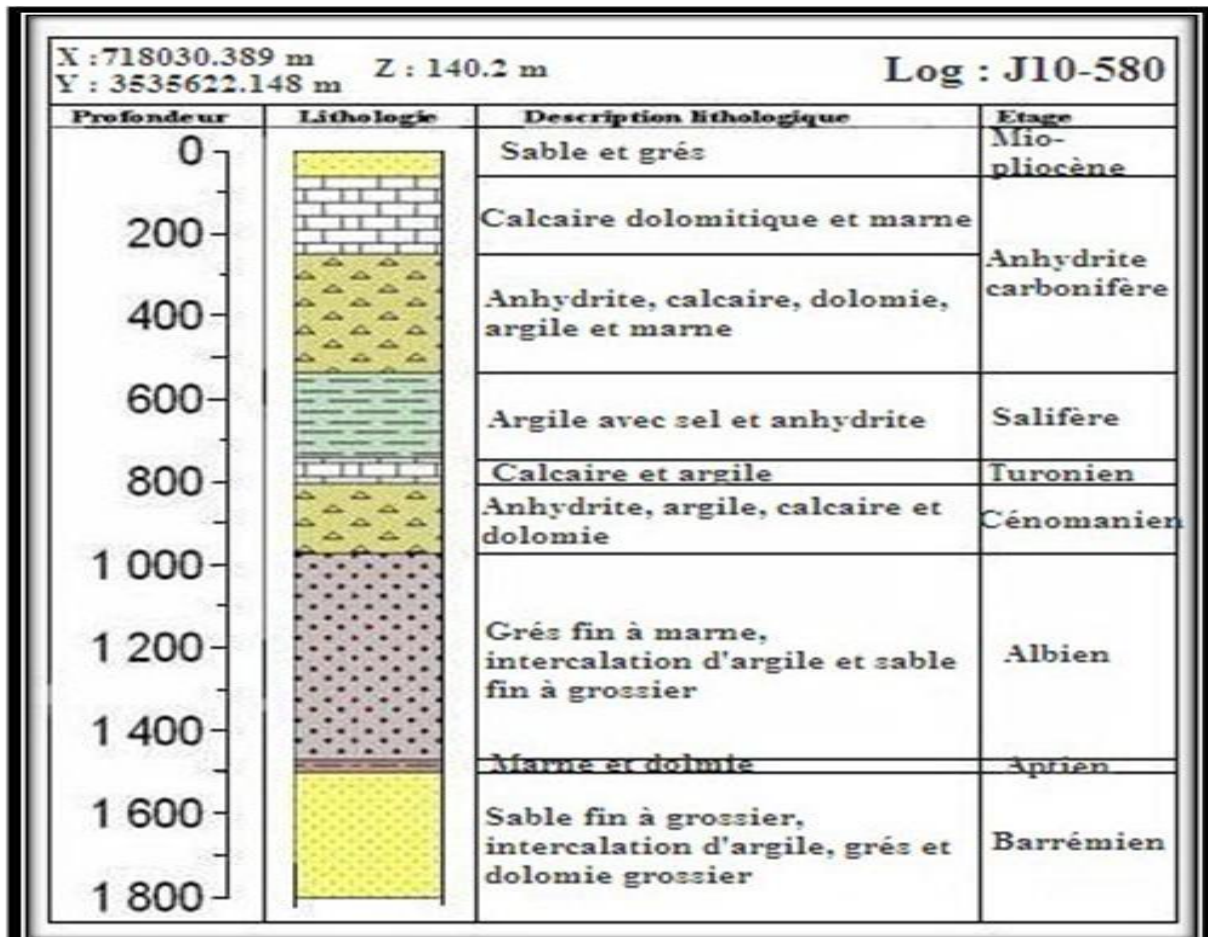


Figure II.6 : Log stratigraphique synthétique de la région de Chagga.

II.6- Paléogéographie :

Les caractéristiques paléogéographiques du Sahara oriental, du Cénomaniens à la fin de l'Eocène sont donc :

- L'existence d'une plateforme très régulière sur laquelle les moindres variations du niveau de la mer, provoque des changements importants dans la sédimentation.
- L'existence d'une mer profonde dans le Bas Sahara actuel à partir de laquelle se produisent plusieurs transgressions dont les plus importantes étant celles du Cénomaniens et du Sénonien supérieur.
- A la fin de l'Eocène et la régression définitive de la mer s'accompagne de bouleversements importants.
 - L'érosion enlève une partie des calcaires du Sénonien et l'Eocène.
 - Le régime marin est remplacé par un régime continental.

Cette reconstitution paléogéographique, est tirée des travaux de F. BEL et F. DEMARGNE (1966), elle s'applique à l'ensemble du Bas Sahara.

Pendant la première moitié de l'ère secondaire, la sédimentation dans la région de Touggourt et dans tout le Sahara oriental a été de type continental. En effet, du Trias à l'Albien, se sont déposés des argiles et des sables et des évaporites d'origine éolienne ou fluviale. On note cependant, quelques rares incursions marines, en particulier en Jurassique et à l'Albien.

Ces dépôts constituent « le continentale intercalaire » et contiennent la plus importante ressource aquifère du Sahara.

Durant la seconde moitié du secondaire, d'autres phénomènes se sont succédé :

Au-dessous des grès continentaux albiens viennent en transgression les calcaires marins du Cénomaniens. Ces calcaires qui s'intercalent avec les argiles et les évaporites. Cette alternance est l'indice d'un régime marin peu profond, évoluant vers un régime lagunaire responsable du dépôt des évaporites et des argiles gypsifères.

Au Turonien, le régime marin s'est stabilisé, permettant le dépôt d'une barre calcaire homogène, atteignant parfois plus de 100 mètres dans le Sahara oriental. La stabilisation du régime marin durant le Turonien n'est que temporaire.

En effet, dès le début du Sénonien à Touggourt se dépose en alternance de l'anhydrite, des argiles, des dolomies ainsi que quelques bancs calcaires. Le dépôt parfois d'un banc de sel massif à la base dans le Bas Sahara témoigne particulièrement du régime lagunaire qui s'était installé sur le Sahara oriental durant tout le Sénonien inférieur.

Au Sénonien supérieur, le régime marin réapparaît une nouvelle fois déposant ainsi la seconde série calcaire. Cette transgression Sénonienne semble moins importante que celle du Turonien. En effet, on note la présence de petites intercalations d'évaporites dans les calcaires Sénoniens, ce qui n'est pas le cas des dépôts turoniens.

Au début de l'Eocène inférieur, la mer recouvre toujours le Sahara oriental, c'est le dépôt des calcaires à Nummulites.

Durant l'Eocène moyen et supérieur, les sédiments marins de l'Eocène inférieur sont peu à peu remplacés par des dépôts lagunaires où alternent les argiles, les évaporites et les calcaires. La faible extension de ce golfe marin localisé dans le Bas Sahara marque les dernières manifestations de la mer saharienne dont la disparition définitive se situe vers la fin de l'Eocène.

A la fin de l'Eocène, le Sahara oriental se présente sous l'aspect d'une plateforme calcaire émergée qui sera exposée à l'érosion durant tout l'Oligocène.

Au Mio-pliocène, suite à l'épirogénèse alpine, des sédiments argileux et sableux continentaux se déposent sur l'ensemble du Sahara oriental. Cette sédimentation continentale se poursuit durant le Quaternaire. C'est donc aux époques Tertiaires et Quaternaire que le Sahara oriental a pris la configuration que nous lui connaissons aujourd'hui.

❖ Contexte hydrogéologie :

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS), (Fig. III.1) s'étend sur une vaste zone dont les limites sont situées en Algérie, Tunisie et Lybie. Ce bassin renferme une série de couches aquifères qui ont été regroupées en deux réservoirs appelés : le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT).

Le domaine du SASS couvre une superficie d'environ 1 000 000 km² dont 70 % se trouve en Algérie, 24 % en Lybie et 6 % en Tunisie, sa réserve est estimée à 31.000×10⁹ m³ (Ould Baba Sy, 2005). Il s'étend du Nord au Sud, depuis l'Atlas saharien jusqu'aux affleurements de Tidikelt et du rebord méridional de Tinrhert et d'Ouest en Est depuis la vallée de Guir-Saoura jusqu'au graben de Hun en Lybie. En Algérie, ce système aquifère couvre une surface de 700.000 Km², et est d'une épaisseur de 4000 à 5000 mètres environ (Cornet, 1964). Nous rappelons ci-dessous les définitions des aquifères du "CI" et du "CT".

Le terme "Continental Intercalaire" désigne un épisode continental localisé entre deux cycles sédimentaires marins :

En base, le cycle du Paléozoïque qui achève l'orogénèse hercynienne.

Au sommet, le cycle du Crétacé supérieur, résultat de la transgression cénomaniennne.

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).

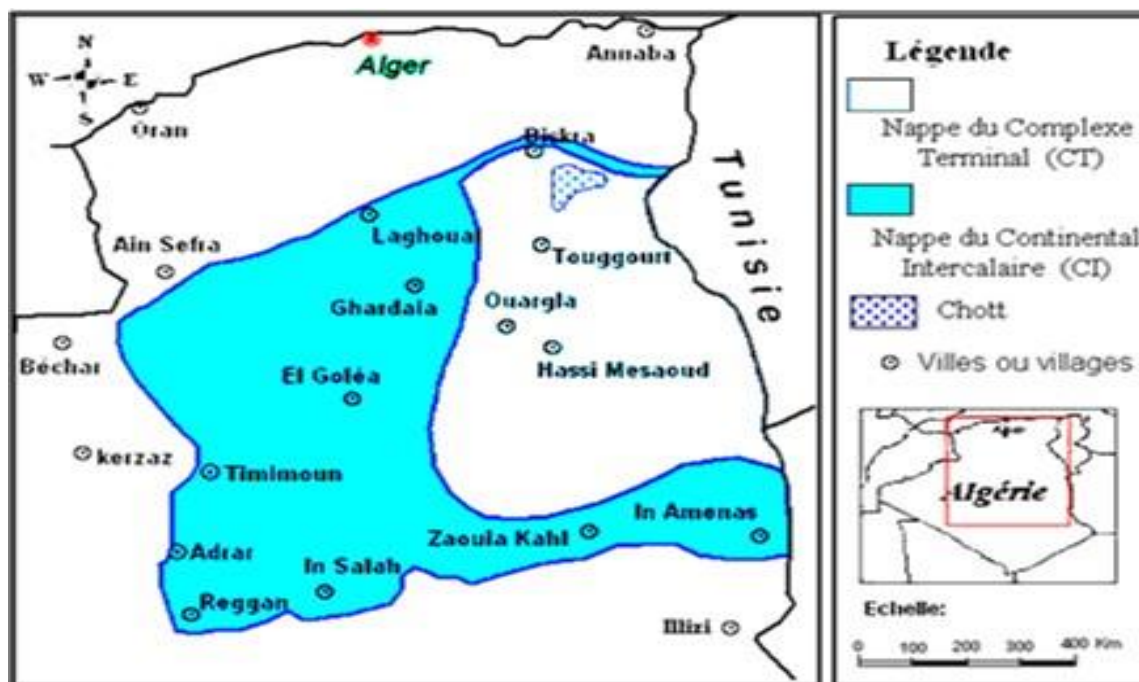


Figure. II.7 : Extension géographique du système aquifère CI et CT (UNESCO, 1972).

II.7- Le Continental Intercalaire (CI) :

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

La carte piézométrique (Figure III.3) de référence du Continental Intercalaire établie, à l'état stationnaire (peu ou pas influencée par les pompages), sur la base des études antérieures (Cornet 1964 ; UNESCO 1972 Pallas 1978), met en évidence les zones d'alimentation suivantes (Ould Baba Sy, 2005) :

- Piémont sud atlasique au Nord-Ouest ;
- Tinrhert au Sud ;
- Dahar à l'Est ;
- Jebel Nafusa au Nord-est ;
- Jebel Hassawna au Sud, où la nappe du Cambro-Ordovicien est drainée vers le Nord par la nappe du Continental Intercalaire.

Les zones d'exutoire sont :

- Les foggaras du Touat-Gourara et du Tidikelt ;
- L'exutoire tunisien marqué par la faille d'El-Hamma ;
- L'exutoire libyen au niveau d'Ain Tawargha.

Les failles de la dorsale d'Amguid (Figure III.2) sont à l'origine d'une drainance verticale, préalablement signalée, des eaux du CI vers la nappe du CT (Guendouz, 1985, Edmunds et al, 2003 ; Moulla et al, 2002 ; Guendouz et al, 2003).

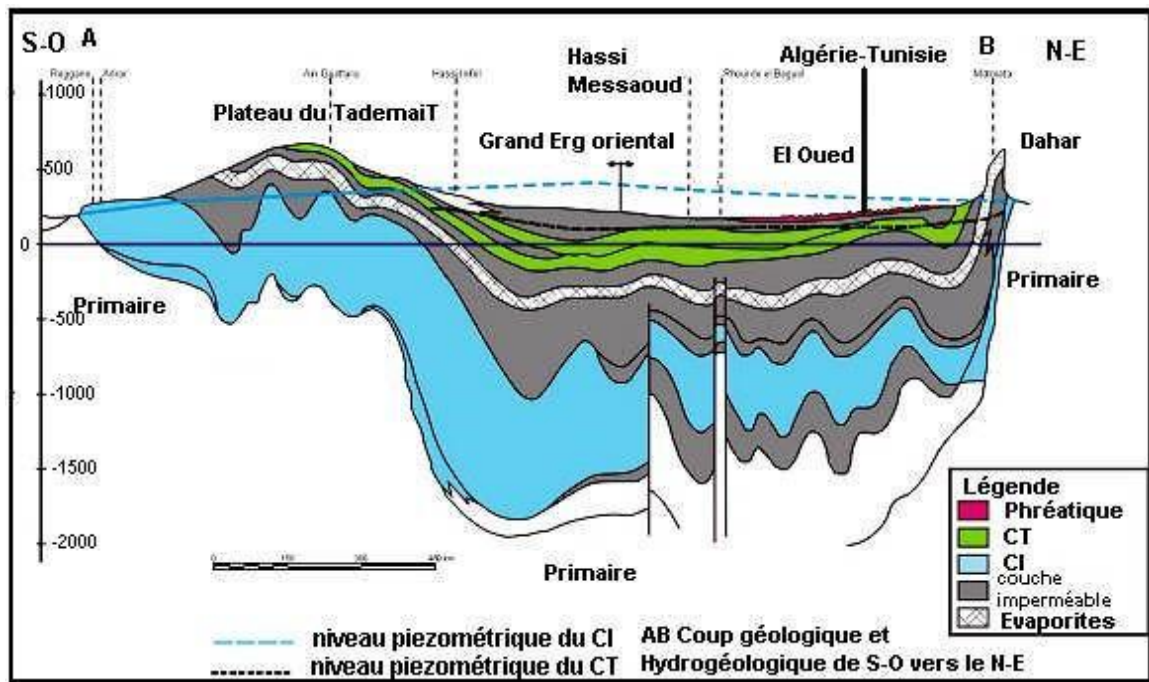


Figure II.8 : Coupe hydrogéologique de SASS (UNESCO, 1972).

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.

Le système aquifère du "Complexe Terminal" couvre la majeure partie du bassin oriental du Sahara septentrional sur environ 350 000 km².

La profondeur du "CT" est comprise entre 100 et 600 m et sa puissance moyenne est de l'ordre de 300 m.

Le "Complexe Terminal" affleure aux endroits suivants :

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

Comme pour le "CI", la construction de la carte piézométrique du "CT" est le résultat de l'accumulation des contributions successives élaborées depuis quarante ans, depuis la publication par Cornet, (1964) de la première carte piézométrique couvrant tout le Continental Terminal du Sahara. Parmi les contributions les plus significatives, on peut citer notamment Bel et Cuhe, (1969) et le projet ERESS, (1972).

L'ensemble de ces travaux a permis de dresser une carte piézométrique initiale ou encore peu influencée par pompage, à l'échelle du bassin du Sahara Septentrional.

Cette piézométrie a concerné les formations calcaires sénoniennes et éocènes ainsi que les sables du Pontien (Oued Righ et Djérid) assez souvent en relais hydrogéologiques. Elle se raccorde parfaitement et permet d'avoir la continuité de l'écoulement souterrain en passant d'une zone à l'autre, (OSS, 2003).

L'examen de la carte piézométrique (Fig. III.5) met en évidence les zones d'alimentation, à savoir :

- L'Atlas Saharien du Nord-ouest.
- Le Dahar à l'Est.
- Le Tinrhert au Sud.
- Le J. Nafusa au Nord-est.

Les zones d'exutoires sont principalement centrées sur les Chotts algéro-tunisiens et sur le Golfe de Syrte.

L'écoulement de cette nappe se produit (Fig. III.4) :

- A partir de la dorsale du M'zab, où l'ensemble de l'écoulement converge vers les zones des chotts (c'est-à-dire qu'il se renverse et s'effectue du Sud vers le Nord sous le Grand Erg Oriental).
- Dans le sens Ouest-est, où les eaux en provenance de l'Atlas Saharien, convergent vers la zone des chotts.
- Dans le sens Sud-Nord, du plateau du Tinrhert vers la zone des chotts et le golfe de Syrte.

Le concept de recharge ainsi que ses conditions sont adoptables pour tout les aquifères du SASS, de ce fait, le CT doit obéir aux mêmes conditions.

Certains auteurs pensent que les eaux des nappes du Sahara sont fossiles (Burdon, 1977 ; Margat & Saad, 1982 et 1984 ; Margat, 1990) in Ould Baba Sy, (2005), c'est-à-dire qu'elles se sont infiltrées et accumulées au cours des temps géologiques, leur alimentation s'est poursuivie au cours des périodes pluvieuses du Quaternaire par infiltration sur les affleurements des couches perméables jusqu'à débordement de ces derniers, et que le niveau actuel des nappes traduit le résultat d'un tarissement pur depuis l'Holocène (Ould Baba Sy, 2005). Pour d'autres par, contre il existe une recharge actuelle des nappes sahariennes. Cette alimentation se manifeste lorsque certaines conditions climatiques, topographiques et géologiques sont réunies (Dubief, 1953).

Les précipitations exceptionnelles associées à certaines conditions de surface spécifiques (sols à grains grossiers) peuvent être particulièrement génératrices de recharges (Ould Baba

Sy, 2005). L'alimentation des nappes du Sahara septentrional, par exemple se manifeste sur les bordures Nord du bassin lorsque trois conditions sont réunies :

- Des précipitations suffisantes.
- Un relief relativement accentué pour produire un ruissellement dans les oueds.
- L'affleurement de formations perméables appartenant à un des systèmes aquifères ou en relation directe avec un des aquifères sahariens (Dubief, 1953).

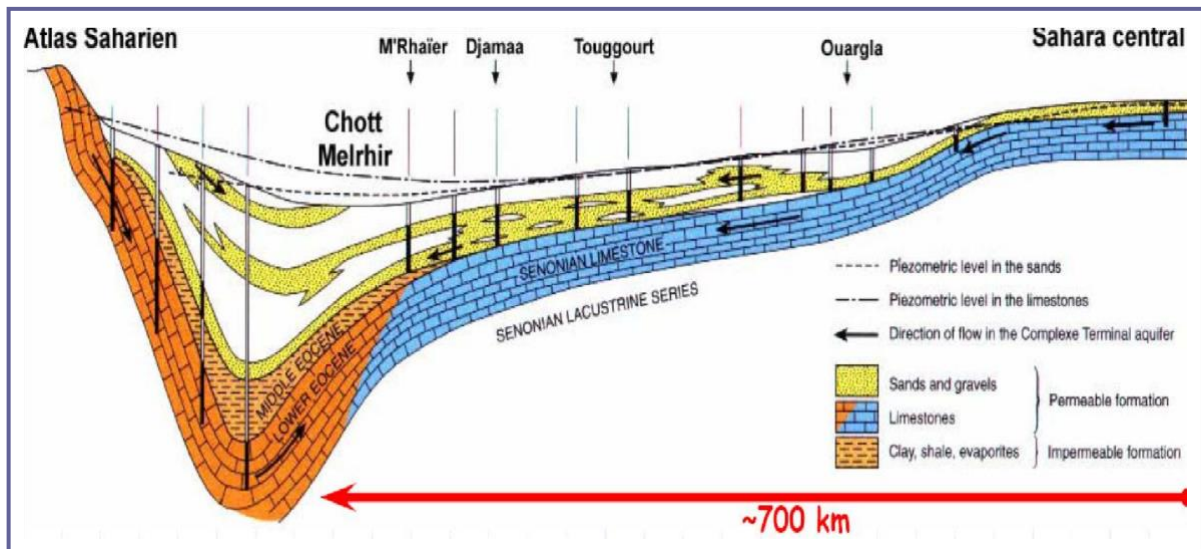


Figure. II.10 : Coupe hydrogéologique transversale du CT (UNESCO, 1972).

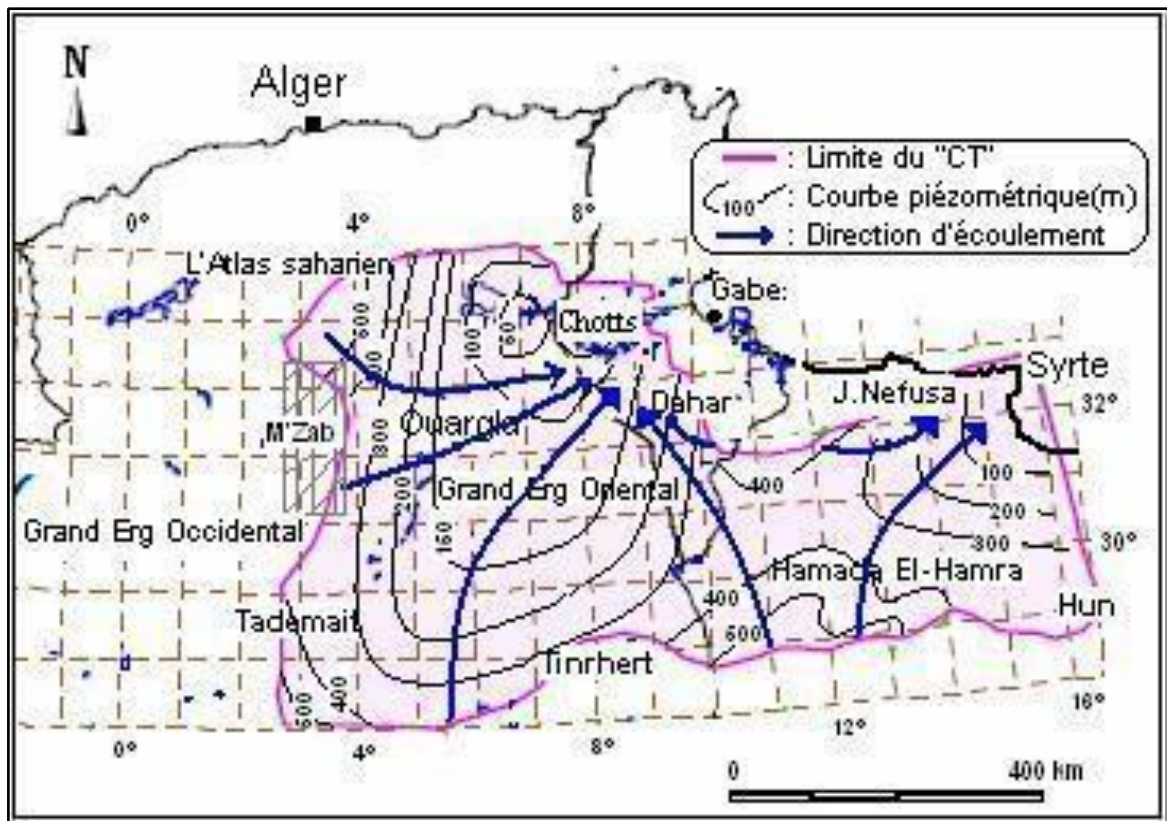


Figure. II.11 : Carte piézométrique de référence du CT (OSS, 2003).

II.9- HYDROGEOLOGIE LOCALE :

II.9.1- La nappe du Continental Intercalaire :

La nappe du Continental Intercalaire (CI) dans la région de Touggourt est caractérisée par :

- Sa grande profondeur, plus de 1500 m,
- Un fort artésianisme (15 à 20 bars),
- Un grand débit d'exploitation (250 à 400 l/s),
- Une température de l'eau élevée (50 à 65 °C),
- Une charge en CO₂, qui lui donne un caractère corrosif, ❖ Un résidu sec des eaux variant entre 3 et 5 g/l.
- L'épaisseur totale est de l'ordre 500 m mais l'épaisseur utile est de l'ordre de 371 m.

II.9.2- La nappe du Complexe Terminal :

Dans la région de l'Oued Righ, trois formations aquifères sont bien différenciées :

La Première et la deuxième nappe des sables du Miopliocène, puis la nappe des calcaires de L'Eocène Inférieur. (Fig. I.4).

II.9.2.1- La première nappe des sables :

Cette nappe est la moins profonde de 50 à 100 m. Elle est constituée de sable fin à moyen, sable argileux et grès, d'âge Miopliocène.

Le faciès sableux varie largement et latéralement. Un niveau d'argiles constitue son substratum et son toit est formé par des argiles et des évaporites. C'est une nappe captive qui était jadis très exploitée, avec un débit faible à moyen, de l'ordre de 20 à 40 l/s, (le débit global d'exploitation proche de 6 m³/s). Cependant, à cause de la salinité élevée de l'eau, les Forages qui la captent sont actuellement moins utilisés.

II.9.2.2- La deuxième nappe des sables :

Les formations contenant cette nappe sont également d'âge Mio-pliocène. Comme la première nappe, elle est formée essentiellement des grès, de gravier et de sables avec la présence de quelques lentilles argileuses. L'épaisseur de la couche aquifère est de 20 à 36 m. Cette nappe captive est très exploitée par des forages moyennement profonds 100 et 165 m, avec un débit variant entre 25 et 45 l/s. Des argiles à niveaux calcaires et des marnes, forment son substratum, alors que des argiles et les argiles sableuses constituent son toit. Ces deux nappes de Mio-pliocène sont alimentées localement par les rares précipitations et les infiltrations d'eaux de surface de nappe phréatique et du canal de l'Oued Righ et les

percolations des nappes artésiennes sous-jacentes. Les prélèvements par forages représentent leur seule exhaure.

II.9.2 3- La nappe du Sénonien-Eocène :

Ces deux étages géologiques ont été regroupés parce qu'ils forment un ensemble lithologique et hydrogéologique homogène. Essentiellement carbonaté, il est formé de calcaires, calcaires dolomitiques ou marneux, d'anhydrite et gypse. Il n'est pas très exploité à Touggourt, donnant un débit de 25 à 40 l/s et parfois présentant un artésianisme à faible débit (0,3 à 0,6 l/s). Leur toit est supérieur à 180 m, dont le débit global peut atteindre 2,8 m³/s. A la base, le Sénonien lagunaire forme le substratum de cette nappe et au sommet, le toit est surtout argileux. La porosité moyenne de cette nappe est de 20%.

II.10- Conclusion :

La région de cheggua fait partie du Bas Sahara qui se présente comme une cuvette synclinale. Tous les terrains, depuis le Cambrien jusqu'au Tertiaire sont dissimulés en grande partie par le grand erg oriental. Cependant, quelques affleurements sont observés, sur les bordures.

Les prospections géophysiques et les sondages pétroliers ont précisé la profondeur du socle précambrien, situé entre 3000 et 5000 mètres. Il s'ensuit que les dépôts sédimentaires ont environ 4000 mètres d'épaisseur.

- Les terrains paléozoïques affleurent au Sud, entre les plateaux du Tademaït et Tingher et le massif du Hoggar.
- Les terrains du Mésozoïque et du début du Cénozoïque constituent l'essentiel des affleurements des bordures.

Les dépôts continentaux tertiaires et quaternaires occupent le centre de la cuvette.

La série géologique permet de distinguer deux ensembles hydrogéologiques, post paléozoïques, importants : le Continental intercalaire et le Complexe terminal.

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS) regroupe deux énormes réservoirs d'eaux souterraines ; le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT). Ce dernier s'étale sur une surface de 350 000 km² et couvre la majeure partie du bassin oriental du Sahara septentrional, sa puissance moyenne est de 300 m environ.

La recharge actuelle de cette nappe peut se réaliser lorsque certaines conditions climatiques (des précipitations exceptionnelles), topographiques (relief favorisant le ruissellement des oueds) et géologiques (affleurements perméables) se réunissent.

***Chapitre III : Méthodologie
d'étude et analyses physico-
chimique des eaux***

III.1- Introduction :

Ce chapitre est consacré à la présentation de la méthodologie adoptée dans le cadre de cette étude. Il décrit les différentes étapes suivies pour la collecte des échantillons d'eau ainsi que les méthodes d'analyses physico-chimiques utilisées afin d'évaluer la qualité des eaux souterraines de la zone d'étude.

Les paramètres analysés, les techniques de mesure et les outils de traitement des données sont également présentés, permettant ainsi d'assurer une interprétation fiable des résultats obtenus.

III.2- Méthodologie :

Dans cette étude, les données ont été collectées à partir de 27 forages d'eau souterraine situés dans la zone d'étude, une région hyper-aride de Cheggua où l'exploitation de l'aquifère constitue la principale source d'approvisionnement en eau pour les usages domestiques et agricoles. Les forages étudiés présentent des profondeurs comprises entre 84 m et 180 m. Leurs positions géographiques ont été relevées à l'aide de coordonnées GPS précises afin de permettre une analyse géospatiale détaillée de la distribution de la qualité des eaux .

Les paramètres physicochimiques mesurés comprennent le pH, la conductivité électrique (CE), les solides dissous totaux (TDS), la salinité et la turbidité, largement reconnus comme des indicateurs essentiels pour évaluer l'aptitude de l'eau à la consommation humaine et à l'irrigation.

L'étude repose sur une méthodologie systématique visant à évaluer la qualité des eaux souterraines et les risques de salinisation dans le contexte aride du sud-est algérien (Figure 3). La démarche débute par la délimitation de la zone d'étude, en mettant l'accent sur l'aridité climatique et la rareté des ressources en eau. Une campagne d'échantillonnage a été réalisée sur le terrain avec des mesures in situ des principaux indicateurs hydrochimiques ainsi que l'enregistrement des profondeurs des puits.

Après les travaux de terrain, des analyses de laboratoire et un contrôle qualité ont été effectués, incluant l'étalonnage des instruments, des mesures répétées et la validation des données, afin de garantir la fiabilité analytique. L'analyse hydrochimiques a ensuite permis de classer les types d'eau, d'examiner les rapports ioniques et d'identifier les processus dominants de minéralisation, notamment la dissolution des évaporites et le mélange d'eaux ayant des temps de résidence différents.

Des méthodes statistiques et multivariées, telles que l'analyse de corrélation, l'analyse de variance (ANOVA) et la classification ascendante hiérarchique (CAH), ont été appliquées

afin d'examiner les relations entre la profondeur des puits et les paramètres de qualité de l'eau, et d'identifier des groupes de puits présentant des signatures hydrochimiques similaires .

Parallèlement, les Systèmes d'Information Géographique (SIG) ont été utilisés pour élaborer des cartes spatiales, visualiser la distribution de la salinité et des TDS, et identifier les zones les plus vulnérables à l'intrusion saline et à la surexploitation .

Enfin, les résultats ont été interprétés afin d'évaluer l'influence de la lithologie, de la profondeur, des contrôles hydrogéologiques et des conditions de recharge sur la qualité des eaux souterraines. Des recommandations de gestion sont proposées, incluant la mise en place d'un suivi régulier de la qualité de l'eau, la définition de seuils d'aptitude à l'irrigation et l'adoption de mesures visant à limiter la salinisation et à promouvoir une exploitation durable des ressources en eau souterraine dans ce contexte hyperaride.

III.3- Emplacement des points d'eaux échantillonnés :

Vingt -sept (27) échantillons d'eau (Figure 1) de la nappe du complexe terminal de la région de Cheggua ont été collectées à partir des inventaires établis par l'ANRH.

Remarque : Le points trois est mener d'un appareil (delat water) et les points 13 et 14 sont de points doubler.

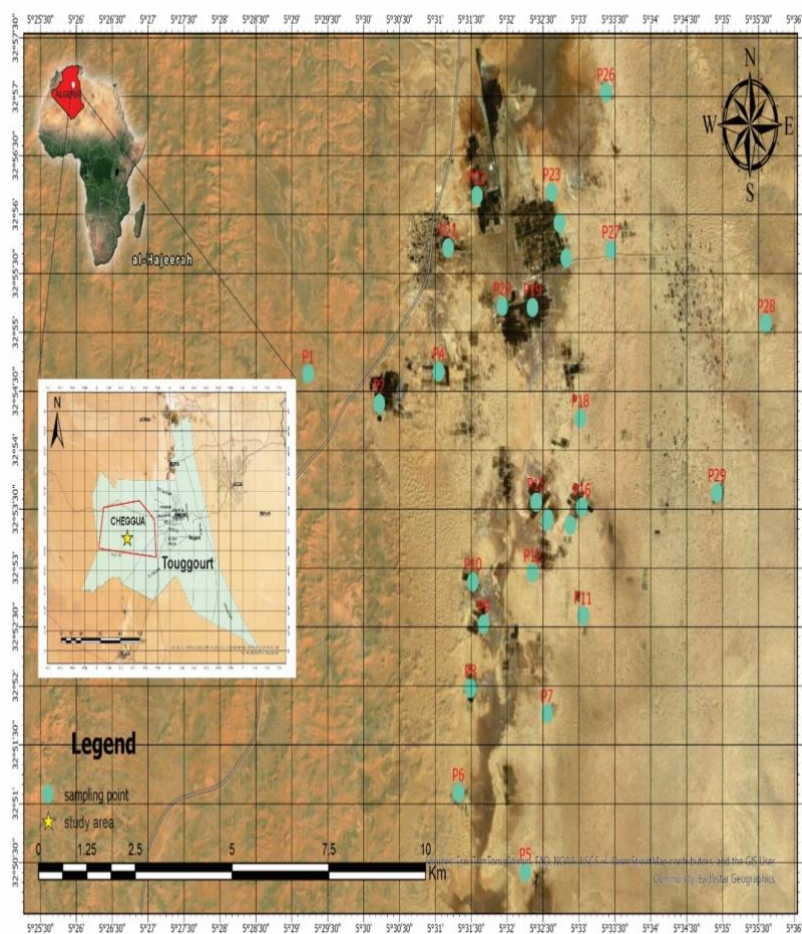


Figure III.2: situation géographiques



Figure III.3: Prélèvement des échantillons



Figure III.4: Appareil de mesure

III.4 - Résultats des caractéristiques physico-chimiques des eaux analysées

Table III.1: Resultants des caractéristiques physico-chimiques des eaux analysées

N°	x	Y	PH	Sal (psu)	EC (μS/cm)	TDS (mg/L)	Prof (m)
P1	5.48713	32.91078	7.87	2.28	4308	2154	104
P2	5.50362	32.90662	7.75	2.17	4105	2052	115
P3	5.51741	32.9111	7.70	2.18	4120	2060	90
P4	5.53755	32.84035	7.68	5.20	9330	4665	130
P5	5.52199	32.85161	7.56	2.72	5130	2565	142
P6	5.54256	32.86274	7.59	3.59	6578	3289	104
P7	5.52480	32.8663	7.81	2.42	4530	2265	115
P8	5.52787	32.8754	7.80	2.36	4434	2217	104
P9	5.52537	32.88138	7.76	3.30	6064	3032	125
P10	5.55095	32.87663	7.72	2.51	4713	2357	123
P11	5.53918	32.88264	7.72	2.27	4276	2138	107
P12	5.54255	32.88993	8.00	4.09	7434	3717	107
P13	5.54009	32.89268	7.74	2.66	4966	2483	104
P14	5.55065	32.89192	7.67	3.62	6643	3321	120
P15	5.548	32.88937	7.74	2.22	4189	2094	118
P16	5.55033	32.9045	7.87	2.38	4478	2239	110
P17	5.53917	32.92019	7.86	4.21	7616	3808	84
P18	5.53222	32.92037	7.88	3.33	6119	3059	100
P19	5.51959	32.92861	7.66	2.21	4173	2087	100
P20	5.52632	32.93603	7.77	3.71	6794	3397	180
P21	5.54365	32.93653	7.93	4.36	7873	3936	100
P22	5.54543	32.93215	7.66	3.08	5688	2844	100
P23	5.54707	32.92719	7.81	2.54	4756	2378	100
P24	5.55624	32.95065	7.88	8.09	13980	6994	120
P25	5.55738	32.92839	7.74	2.15	4054	2027	104
P26	5.59343	32.91793	7.49	2.38	4472	2236	112
P27	5.58199	32.894	7.81	3.07	5668	2834	95

III.3- Conclusion :

La méthodologie adoptée dans cette étude a permis de collecter et d'analyser les données relatives à la qualité des eaux souterraines à partir de 27 puits de la région de Cheggua. L'analyse des principaux paramètres physico-chimiques, tels que le pH, la conductivité électrique (CE), les solides dissous totaux (TDS), la salinité et la turbidité, a constitué une base essentielle pour l'évaluation de l'état hydrochimique des eaux souterraines. Les méthodes d'analyse et de traitement des données appliquées permettent ainsi d'assurer une interprétation fiable des résultats, qui seront présentés et discutés dans le chapitre suivant.

Chapitre IV :
Résultats et discussion

IV.1- Introduction :

Ce chapitre est consacré à la présentation et à l'analyse des résultats obtenus à partir des analyses physico-chimiques des eaux souterraines de la région de Cheggua la commune d'Alia la Daïra d'EL Hadjira, Wilaya de Touggourt.

Les différents paramètres étudiés sont interprétés afin d'évaluer la qualité des eaux et de mettre en évidence les facteurs influençant leur composition.

L'interprétation de ces résultats permettra de mieux comprendre les caractéristiques hydro chimiques des eaux souterraines de la zone d'étude ainsi que le risque éventuel de salinisation.

IV.2- Résultats et discussion :

IV.2.1- Répartition spatiale des points d'échantillonnage :

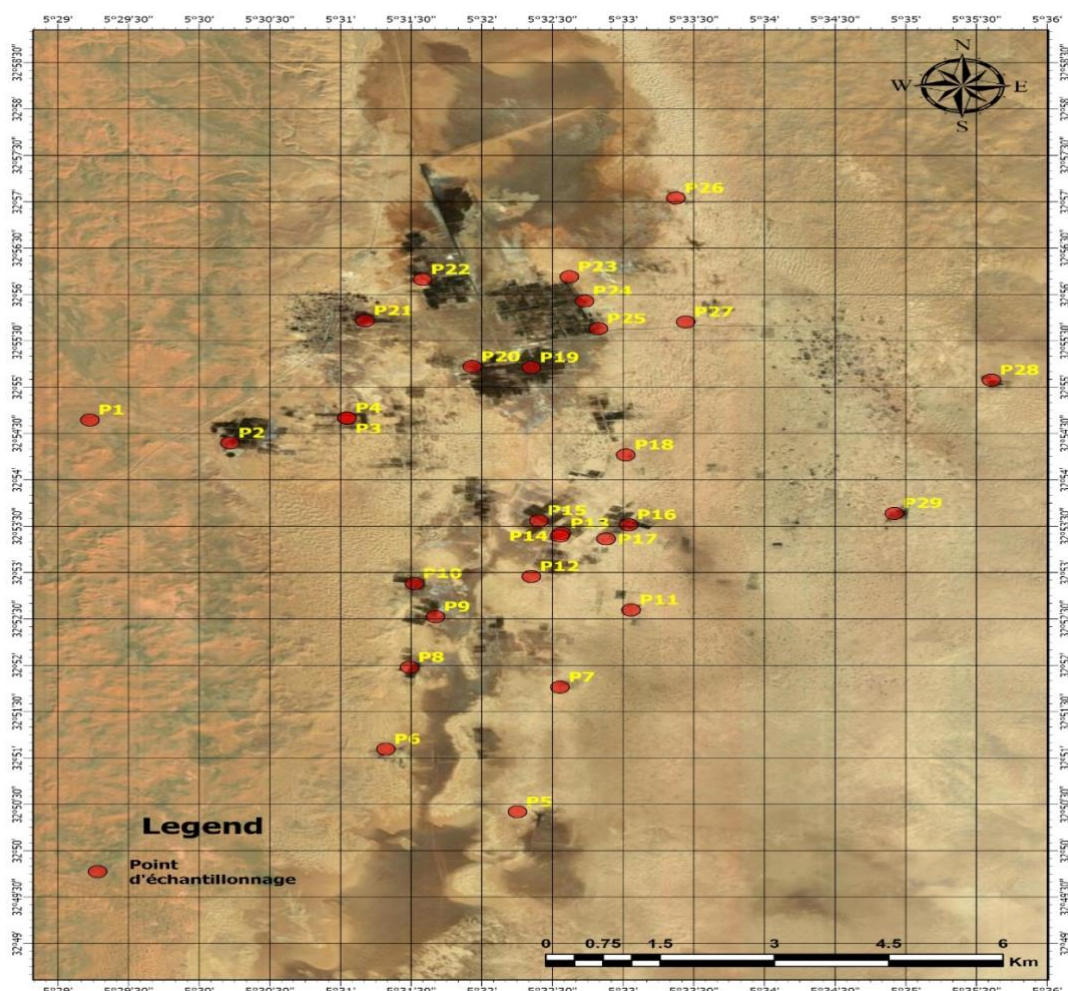


Figure IV.1: Localisation des points d'échantillonnage dans la région de Cheggua

La carte montre la distribution des 27 points d'échantillonnage répartis sur l'ensemble de la zone d'étude. On observe une forte concentration au centre, correspondant aux zones agricoles, tandis que les points périphériques sont plus dispersés.

Cette distribution permet d'avoir une couverture spatiale représentative de la zone et facilite l'analyse des variations de la qualité des eaux souterraines.

IV.3- Analyse spatiale des paramètres physico-chimiques :

IV.3.1- Interprétation du Le Potentiel d'Hydrogène (PH) :

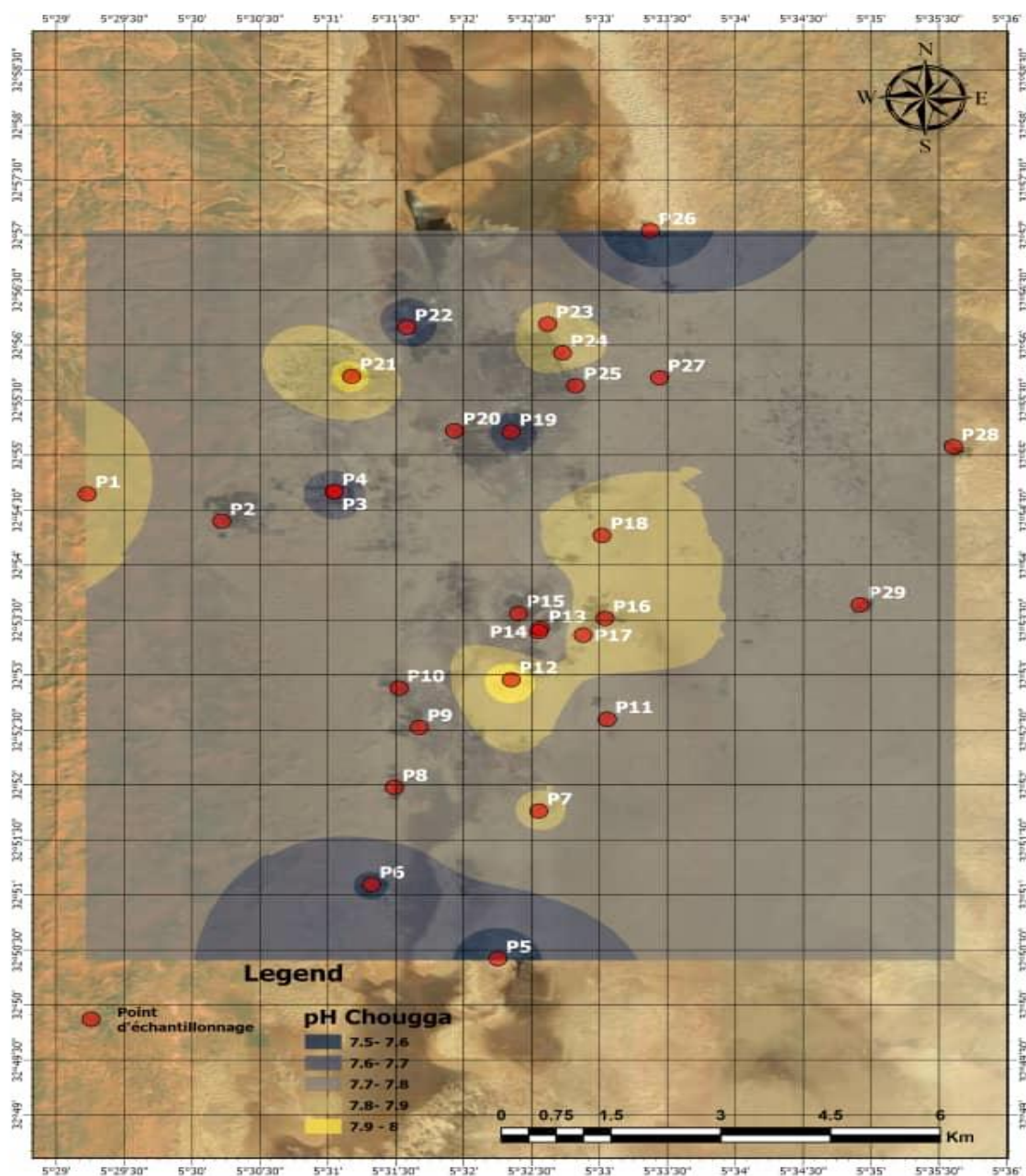


Figure IV.2 : Analyse spatiale de la distribution des valeurs de pH.

La carte met en évidence la relative stabilité du pH dans la zone étudiée, avec des variations spatiales limitées reflétant l'influence des caractéristiques géologiques et hydrologiques locales. Les résultats confirment également que l'eau est légèrement alcaline, dans les limites acceptables pour l'environnement, ce qui indique une qualité d'eau relativement satisfaisante et l'absence de variations importantes de son équilibre chimique.

Cette carte représente la distribution spatiale des valeurs de pH dans la zone étudiée, d'après une série de points de mesure de terrain représentés par des points rouges (P1 à P27). Des analyses géomatiques et des techniques d'interpolation spatiale ont été utilisées pour illustrer les variations spatiales des valeurs de pH dans les différentes parties de la zone.

Le pH est l'un des indicateurs physico-chimiques les plus importants pour évaluer la qualité de l'eau. Il permet de déterminer l'acidité ou l'alcalinité du milieu aquatique et influe directement sur la solubilité des éléments chimiques, l'activité des micro-organismes et l'aptitude de l'eau à divers usages.

La légende de la carte indique que les valeurs de PH se situent approximativement entre :
7,5 et 8.00

Ces valeurs indiquent généralement un caractère neutre à légèrement alcalin pour l'eau dans toute la zone étudiée.

Le pH est la mesure de la concentration en ions hydrogènes de la solution (H^+). Il est représenté par une expression logarithmique, c'est donc dire que la concentration en H^+ , à pH 6,0 est 10 fois plus grande que celle à pH 7,0 et 100 fois plus grande que celle à pH 8,0. Plus la concentration en ions hydrogènes est élevée, plus le pH est bas et plus c'est acide. Le pH influence la forme et la disponibilité des éléments nutritifs dans l'eau d'irrigation. Le pH de l'eau d'irrigation devrait se situer entre 6,5 et 8,4. (cf : École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Notion fondamentales d'irrigation).

Le pH varie entre 7,5 et 8,0 (moyenne 7,75), indiquant une eau neutre à légèrement alcaline, compatible avec l'irrigation et sans effet limitant.

IV.3.2- Distribution des TDS :

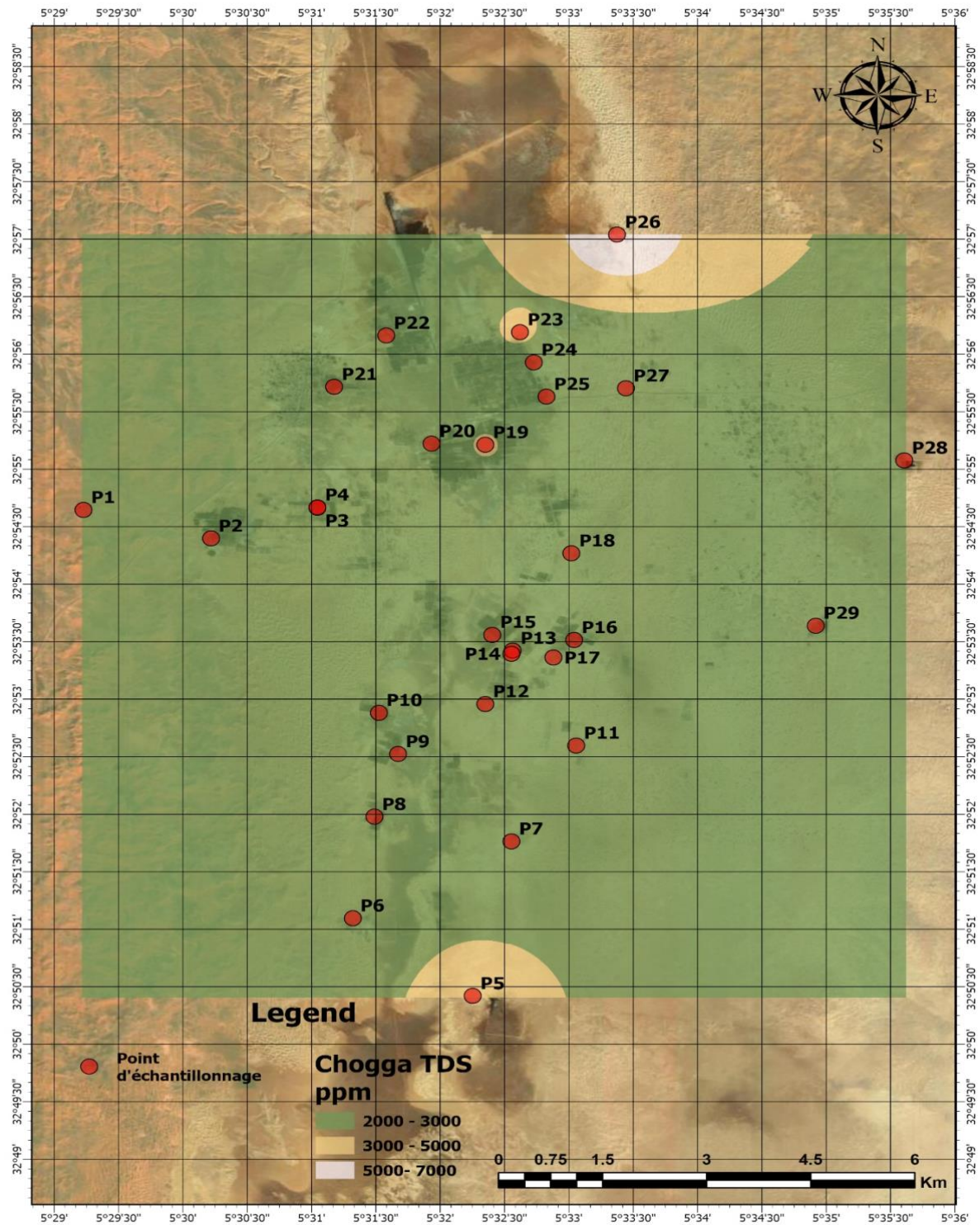


Figure IV.3 : Carte de distribution des TDS (ppm)

La carte des solides dissous totaux (TDS) montre que la majorité de la zone présente des valeurs comprises entre 2000 et 3000 ppm, indiquant une minéralisation modérée.

Cependant, certaines zones localisées, notamment vers le nord et le sud, présentent des valeurs plus élevées (3000 à 5000 ppm, voire jusqu'à 7000 ppm), ce qui traduit une augmentation de la salinité.

Cette distribution spatiale peut être expliquée par :

- L'évaporation intense
- La nature géologique des formations
- La concentration des sels dans les zones basses

Les TDS varient entre 2027 et 6994 ppm, traduisant une forte minéralisation. L'eau est utilisable pour les cultures tolérantes au sel, avec un risque de salinisation des sols.

IV.3.3- Distribution de la conductivité électrique (CE) :

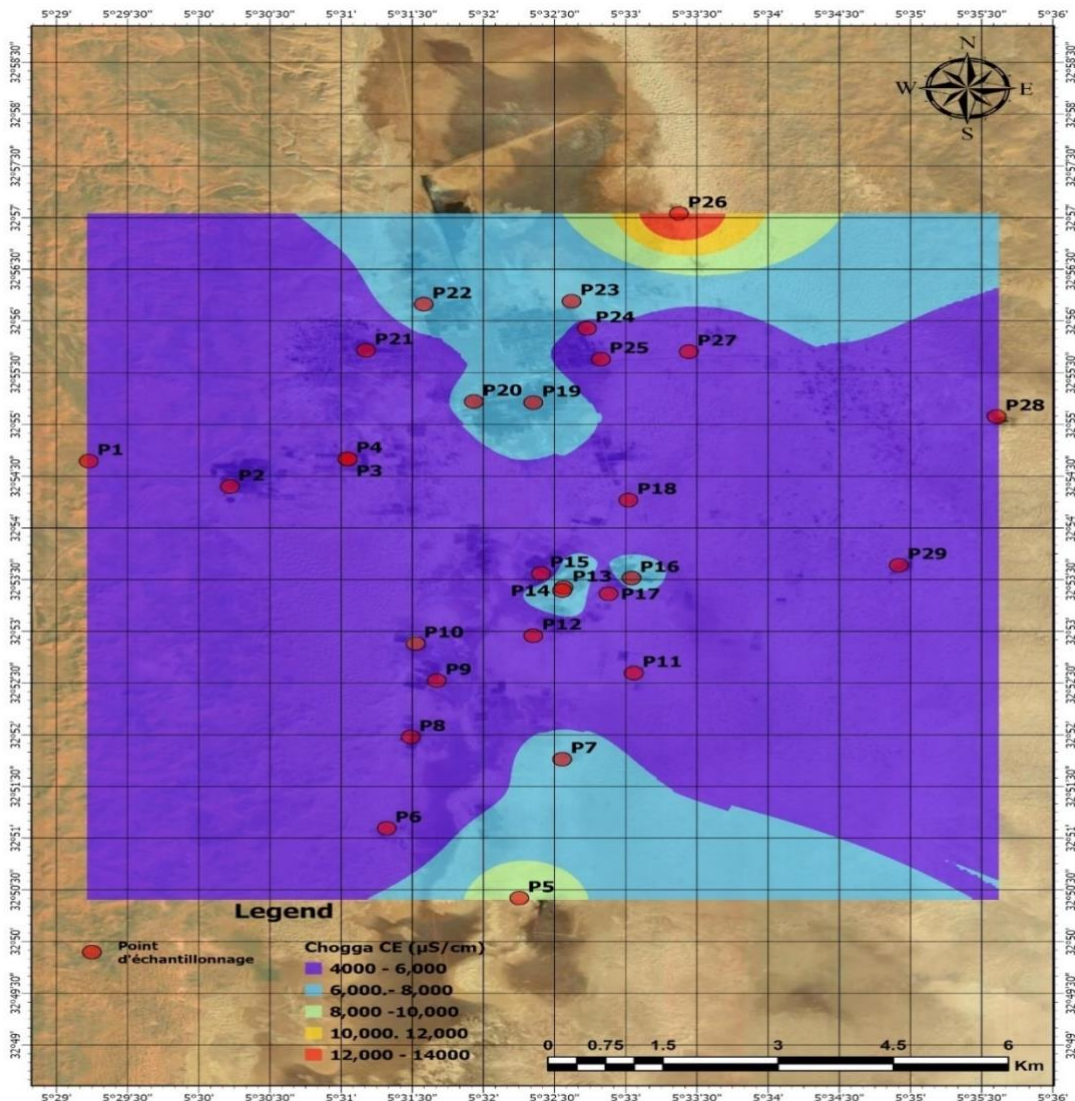


Figure IV.4 : Carte de la conductivité électrique (µS/cm)

La carte de la conductivité électrique montre une variation importante dans la zone d'étude.

Les valeurs dominantes se situent entre 4000 et 6000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ce qui confirme une minéralisation relativement élevée des eaux souterraines.

Des zones à conductivité plus élevée (jusqu'à 14 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) apparaissent localement, notamment dans la partie nord, ce qui indique une forte concentration en sels dissous.

Cette situation est liée à :

- La dissolution des minéraux
- Les conditions climatiques arides
- La faible recharge des nappes

Cet indice renseigne sur la salinité générale de l'eau et est exprimé en mho/cm . Interprétation de la conductivité électrique C.E. = mho/cm .

CE < 250 mho/cm : Risque de salinité faible
250 < C.E. < 750 mho/cm : risque de salinité moyen
750 < C.E. < 2250 mho/cm : risque de salinité élevé
2250 < C.E. mho/cm : risque de salinité très élevé

D'une manière générale T.A.S et C.E. sont les critères les plus utilisés dans la classification des eaux et des sols pour l'irrigation. Puisque les normes de C.E ont été établies à 25°C, on doit avoir un facteur correctif pour la température de l'endroit où la lecture a été faite. C.E s'exprime ainsi.

La conductivité électrique (4054–13980 $\mu\text{S}/\text{cm}$) indique une salinité élevée, limitant l'irrigation aux cultures résistantes et nécessitant une bonne gestion agricole.

IV.3.4- Distribution de la salinité :

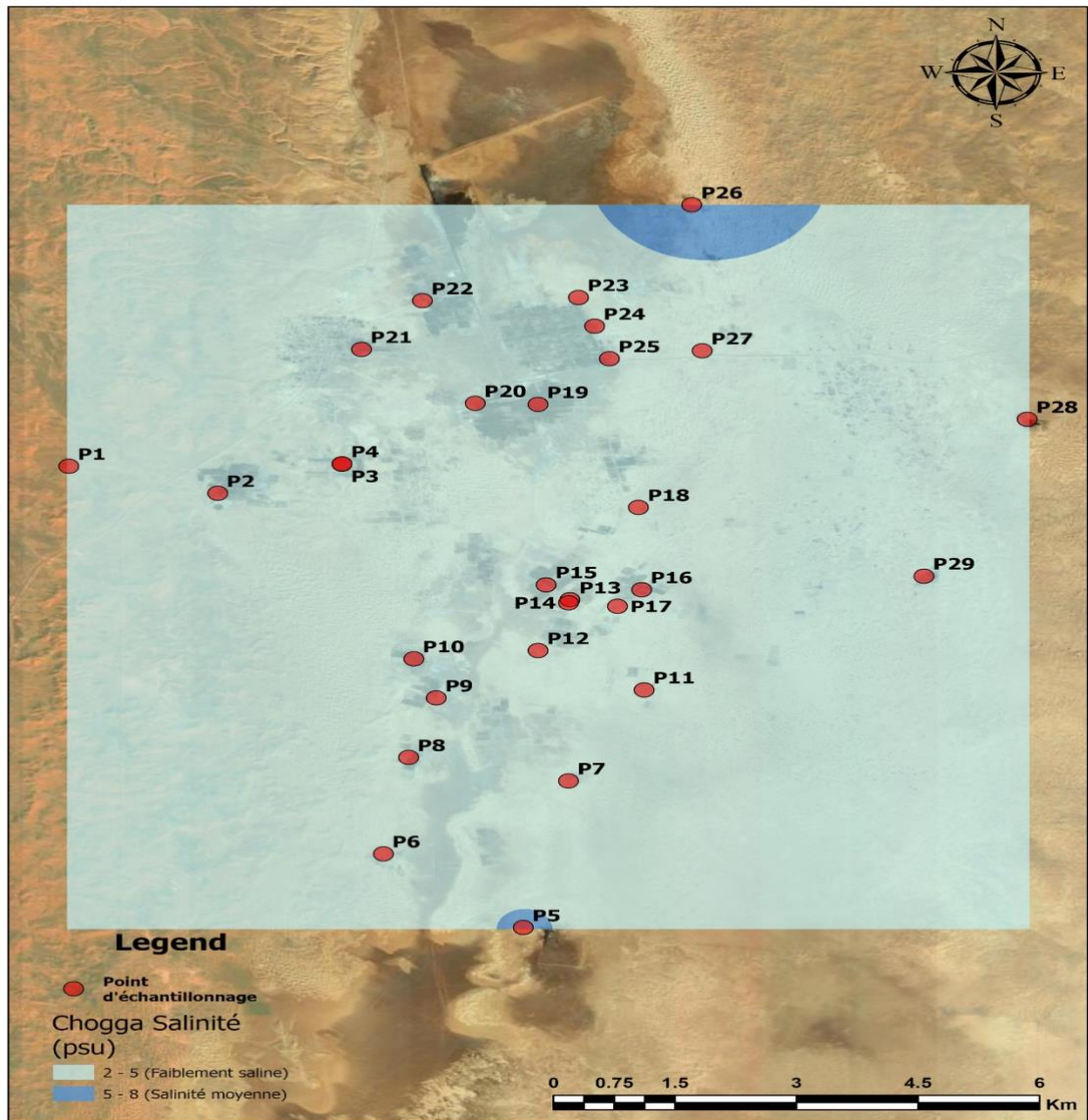


Figure IV.5 : Carte de la salinité (psu)

La carte de la salinité montre que la majorité des eaux souterraines de la région sont faiblement à moyennement salines (2 à 5 psu).

Cependant, certaines zones présentent une salinité plus élevée (5 à 8 psu), notamment au nord et au sud de la zone.

Cette variation spatiale est liée à :

- L'évaporation intense
- La stagnation des eaux
- Les interactions eau-roche

IV.4. Discussion générale :

L'analyse des résultats met en évidence une variabilité spatiale significative de la qualité des eaux souterraines dans la région de Cheggua.

Les zones centrales présentent généralement une minéralisation modérée, tandis que certaines zones périphériques montrent des valeurs élevées en TDS et en conductivité, indiquant une dégradation de la qualité des eaux.

Les principaux facteurs responsables de cette situation sont :

- Les conditions climatiques arides (évaporation élevée)
- La nature géologique des formations aquifères
- L'exploitation intensive des eaux souterraines
- Ces résultats confirment que la région est exposée à un risque de salinisation, ce qui peut affecter l'utilisation des eaux, notamment en irrigation.

Les eaux souterraines présentent une salinité élevée, ce qui limite leur utilisation pour les cultures sensibles. Elles restent cependant adaptées aux cultures tolérantes au sel, notamment le palmier dattier.

IV.5. Conclusion :

L'étude des paramètres physico-chimiques et leur analyse spatiale ont permis de mettre en évidence une hétérogénéité de la qualité des eaux souterraines dans la région de Cheggua.

Les cartes thématiques ont montré que certaines zones présentent une minéralisation élevée, liée aux conditions naturelles et à l'exploitation des ressources.

Ces résultats constituent une base essentielle pour une gestion durable des eaux souterraines et pour la mise en place de stratégies visant à limiter les phénomènes de salinisation.

Conclusion générale

Conclusion générale

La zone d'étude est située dans la région de Cheggua, relevant administrativement de la wilaya de Tougourt, daïra d'El Hadjira et commune d'El Alia. Elle se trouve à environ 72 km de la ville de Tougourt, 30 km du chef-lieu communal d'El Alia et à près de 680 km de la capitale Alger.

En conclusion, cette étude, intitulée « Contribution à l'étude physico-chimique de la qualité de l'eau du réservoir terminal de la zone d'El-Cheggua – Municipalité d'El-Alia – Province de Tougourt », révèle que les eaux souterraines constituent la principale ressource en eau dans les régions désertiques arides et semi-arides, notamment en raison de la faiblesse des précipitations et de l'absence de sources d'eau de surface permanentes. Cette étude a permis de comprendre les caractéristiques hydrogéologiques et hydro chimiques des eaux souterraines dans la zone étudiée, en mettant en évidence les facteurs naturels et anthropiques qui influencent la qualité de cette ressource.

L'étude s'est appuyée sur l'analyse de données climatiques, géologiques et hydrogéologiques, ainsi que sur des analyses physico-chimiques d'échantillons d'eau prélevés dans plusieurs puits du réservoir terminal. Les résultats ont montré que la région est caractérisée par un climat désertique très aride, marqué par des températures élevées, un fort taux d'évaporation et de faibles précipitations. Ces facteurs contribuent directement à l'augmentation de la concentration en sel et à la forte minéralisation des eaux souterraines.

L'étude a également révélé que la structure géologique de la région, composée de couches sédimentaires successives de sable, de calcaire, de gypse et d'argile, joue un rôle crucial dans la régulation des propriétés chimiques de l'eau par l'interaction entre l'eau et la roche. Ces interactions, conjuguées à une exploitation intensive des ressources en eau, ont contribué à des valeurs élevées de conductivité électrique, de matières solides dissoutes totales et de salinité, indiquant une eau saline à fortement minéralisée.

Les analyses statistiques ont démontré une forte corrélation entre la salinité, la conductivité électrique et les matières solides dissoutes totales, confirmant que l'augmentation de la minéralisation est principalement liée à la concentration de sels dissous dans l'aquifère. Les techniques des Systèmes d'Information Géographique (SIG) ont également permis de mettre en évidence les variations spatiales de la qualité de l'eau et d'identifier les zones les plus vulnérables à la salinisation, notamment dans les zones d'exploitation intensive et de faibles conditions hydrodynamiques.

L'importance de cette étude réside dans la fourniture d'une base scientifique et de connaissances qui contribue à la compréhension de la réalité des eaux souterraines dans l'aquifère complexe final. Cette étude contribue également à soutenir des méthodes de gestion durable des ressources en eau dans les régions désertiques en optimisant leur exploitation, en surveillant l'évolution de la salinité et en maintenant l'équilibre hydrogéologique de l'aquifère.

Étude des caractéristiques climatiques de la région de cheggua et mise en évidence de l'impact du climat désertique sur les ressources en eau.

Identification des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques de l'aquifère complexe final.

Mise en évidence du rôle des formations sédimentaires et des interactions eau-roche dans la minéralisation de l'eau.

Évaluation des propriétés physico-chimiques des eaux souterraines en fonction de :

pH / conductivité électrique (CE) / matières solides dissoutes totales (MSDT) / salinité / turbidité

- Mise en évidence de niveaux élevés de salinité et de minéralisation dans la plupart des échantillons d'eau étudiés.
- Mise en évidence d'une forte corrélation statistique entre la salinité, la conductivité électrique et les matières solides dissoutes totales.
- Clarifier l'influence de la profondeur des puits sur les variations des propriétés chimiques de l'eau.
- Utiliser les systèmes d'information géographique (SIG) pour identifier les zones les plus vulnérables à la salinisation.
- Mettre en évidence l'impact de la surexploitation des eaux souterraines sur la dégradation de la qualité de l'eau.
- Souligner la nécessité d'une gestion rationnelle et durable des ressources en eau des zones désertiques.
- La région de Cheggua est située dans un environnement saharien hyperaride caractérisé par des températures élevées et de faibles précipitations.
- La zone enregistre des taux d'évaporation importants qui influencent directement les ressources en eaux souterraines.
- Elle présente des caractéristiques géomorphologiques et hydrographiques particulières contrôlant la circulation et la répartition des eaux.
- Les eaux souterraines constituent la principale ressource hydrique destinée aux activités agricoles et aux besoins de la population locale

- La zone d'étude appartient au bassin du Sahara oriental et comprend des formations géologiques variées d'âges secondaire, tertiaire et quaternaire.
- Le Complexe Terminal (CT) représente l'un des principaux réservoirs aquifères exploités dans la région.
- Les formations géologiques et les structures hydrogéologiques jouent un rôle essentiel dans l'alimentation de l'aquifère ainsi que dans la qualité de ses eaux.
- Les interactions entre l'eau et les formations rocheuses influencent fortement les caractéristiques chimiques et le degré de minéralisation des eaux souterraines.
- L'étude s'est appuyée sur un réseau de forages répartis dans la zone d'étude pour la collecte des données de terrain.
- Les principaux paramètres physicochimiques des eaux souterraines ont été mesurés et analysés.
- Des méthodes statistiques ont été utilisées afin d'étudier les relations entre les différents paramètres considérés.
- Les Systèmes d'Information Géographique (SIG) ont permis la représentation spatiale et l'interprétation des résultats obtenus.
- Les analyses physicochimiques ont montré que les valeurs du pH varient entre 7,2 et 8,1 avec une moyenne de 7,75, indiquant des eaux neutres à légèrement alcalines.
- Les valeurs de la conductivité électrique (CE) varient entre 4054 et 13980 $\mu\text{S}/\text{cm}$ avec une moyenne de 5980 $\mu\text{S}/\text{cm}$, traduisant une forte minéralisation des eaux.
- Les concentrations en solides dissous totaux (TDS) varient entre 2027 et 6994 ppm avec une moyenne de 2990 ppm
- La salinité varie entre 2,15 et 8,09 psu avec une moyenne de 3,25 psu, ce qui confirme le caractère relativement salin des eaux souterraines étudiées.
- Les résultats obtenus mettent en évidence l'influence des conditions climatiques arides, de l'évaporation intense et des interactions eauroche sur la qualité des eaux souterraines.
- En conséquence, il est recommandé de mettre en place un suivi régulier de la qualité des eaux souterraines et de rationaliser leur exploitation afin d'assurer la durabilité des ressources du Complexe Terminal et leur préservation pour les usages agricoles et le développement futur de la région.

Recommandations :

- Rationaliser l'exploitation des eaux souterraines et réduire le pompage excessif.
- Surveiller régulièrement les propriétés physicochimiques de l'eau.
- Développer des programmes de surveillance hydrogéologique à l'aide des SIG.
- Adopter des techniques d'irrigation modernes pour réduire la consommation d'eau et atténuer la salinisation.
- Protéger l'aquifère de la dégradation et garantir sa durabilité pour les générations futures.
- Encourager les études futures sur l'évolution de la salinité et l'impact du changement climatique sur les ressources en eau des zones désertiques.

Références bibliographiques

- ANRH (2004) :** Inventaire des forages et enquête sur les débits extraits de la Wilaya de Ouargla. Agence Nationale des Ressources Hydriques. Ouargla, Algérie.
- BALLAIS J.L. (2010):** Des oueds mythiques aux rivières artificielles: l'hydrographie du bas Sahara Algérien. Géographie physique et environnement. Vol IV, 127 p.
- BEL F. & CUCHE D. (1969) :** Mise au point des connaissances sur la nappe du Complexe Terminal, ERESS, Ouargla, Algérie, 20p.
- BEL F. & DERMAGNE F. (1966) :** Etude géologique du Continental Terminal, ANRH Alger, Algérie, 22p.
- BOUCHAHEM N. et al (2008) :** Hydrochimie des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional algérien – Identification d'un risque de fluorose endémique. LA HOUILLE BLANCHE 2008.
- BUSSON G. (1972) :** Principes, méthodes et résultats d'une étude stratigraphique du Mésozoïque saharien. Thèse Paris, 464p.
- CORNET A. (1964) :** Introduction à l'hydrogéologie Saharienne. SNED, Alger Algérie, 572p.
- DUBIEF J. (1953) :** Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. S.E.S., Alger, 457p.
- DUBIEF J. (1963) :** Le climat du Sahara. Mém. Hors série. Ins. Rech.Sahar, 2275p.
- EDMUNDS W.M. et al (2002) :** Groundwater evolution in the Continental Intercalaire aquifer of southern Algeria and Tunisia: trace element and isotopic indicators. Applied Geochemistry, elsevier (2003).
- FABRE J. (1976) :** Introduction à la géologie du Sahara Algérien. SNED, Alger Algérie, 422p.
- GOUSCOV N. (1952) :** Le problème hydrogéologique du bassin artésien de l'Oued Rhir. In « La géologie et les problèmes de l'eau en Algérie ». XIXème congrès géologique international T.II, 16p.
- GUENDOUIZ A. (1985) :** Contribution à l'étude géochimique et isotopique des nappes profondes du Sahara Nord-Est Septentrional (Algérie). Thèse 3^{ème} cycle. Université de ParisSud, 243p.
- GUENDOUIZ A. et al (2003) :** Hydrogéochimical and isotopic evolution of water in the Complexe Terminal aquifer in the Algerian Sahara, Hydrogéology Journal (2003).
- HAMDI-AÏSSA B. (2001),** Le fonctionnement actuel et passé de sol du Nord Sahara (Cuvette de Ouargla). Thèse de Doctorat en pédologie. I.N.A Paris Grignon, 275p.
- Helal Fayçal et Ourihane Dalila, 2004 :** Etude Hydrogéologique du Continentale Intercalaire et du Complexe Terminal de la région de Touggourt Aspect hydro-chimique et

- problèmes technique posés. Mémoire d'ingénieure. Université des sciences et la Technologie Houari Boumediene.
- HOUARI I M, 2012 :** Contribution a l'étude de l'évolution géochimique des eaux de la nappe du Complexe terminal du Sahara Septentrional. Mémoire de magistère, université d'Ouargla, 85p.
- Keddam.S et Taabli.H (2017) :** Influence de la lithologie sur la composition chimique des eaux de la nappe de Moi-pliocène dans la région de Djamaa. Mémoire de Master Université Ouargla.
- KILIAN C. (1931) :** Les principaux complexes continentaux du Sahara. C.R. Soc. Géol. Fr. Paris.
- MARGAT J. (1990) :** Les gisements d'eau souterraine. La Recherche, 596 p.
- MOULLA A.S et al (2002) :** Contribution des isotopes à l'étude des ressources en eaux souterraines transfrontalières en Algérie. Atelier international sur la gestion partagée des ressources des systèmes aquifères en Afrique. PHI, UNESCO, Tripoli, Libye, 02-04 juin 2002.
- NESSON C. (1978) :** L'évolution des ressources hydrauliques dans les oasis du Bas Sahara algérien. In : Recherche sur l'Algérie, (ed. CNRS), pp 7-100, Paris.
- NEZLI I. (2009) :** Approche hydrogéochimique à l'étude des aquifères de la basse vallée de l'Oued M'ya (Ouargla). Thèse de doctorat en sciences hydrauliques, université de Biskra, 117p.
- OMS (2006) :** Organisation Mondiale de la Santé. Directives de qualité de l'eau de boisson. Critères d'hygiène et documentation à l'appui, Genève, 2è ed. Volume 2, pp 272-279.
- OSS (2003 a et b) :** Système Aquifère du Sahara Septentrional, Rapport interne. Annexes. Tunis, Tunisie, 229p.
- OULD BABA SY M. (2005) :** Recharge et paléorecharge du Système Aquifère du Sahara Septentrional. Thèse de Doctorat, Université de Tunis El Manar, 261p.
- RODIER J. (2009) :** L'analyse de l'eau, 9^{ème} édition, DUNOD, France, 1526p.
- SCHOELLER H. (1963) :** Recherche sur l'acquisition de la composition chimique des eaux souterraines. Thèse Doctorat Es-Sciences, Lyon.
- SONATRACH et SCHLUMBERGER (1990) :** Géologie de l'Algérie. Centre de Recherche et Développement et Division Petroleum Engineering et Développement, 93p.
- UNESCO (1972) :** Projet ERESS; Etude des Ressources en Eau du Sahara Septentrional, et rapport sur les résultats du Projet REG-100, UNESCO, Paris (1972).

WEC (2007) : La géologie pétrolière de l'Algérie. In Sonatrach – Schlumberger Well Evaluation Conference - Algérie 2007, p. 1.6 – 1.8, Édité par Schlumberger, 2007.