

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université ABOUBEKR BELKAID – TLEMCEM
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, et des Sciences de la Terre et de l'Univers
Département des Science de la Terre et de l'Univers



MÉMOIRE

Présenté par

Bennaceur Hidayat

Togo Oumou Kebe

En vue de l'obtention du

Diplôme de MASTER

En Hydrogéologie

Thème

Étude hydrochimique et qualitative des eaux souterraines de la région d'Ouled Mimoun (N-O algérien).

Soutenu le 10/07/2021, devant le jury composé de :

Président	BENCHOUK Mustapha	MAA	Université de Tlemcen
Encadrant	KERZABI Rachid	MAA	Université de Tlemcen
Co-Encadrant	KERZABI YOUSFI Somia	MCB	Université de Tlemcen
Examineur	CHIKH Mourad	MAA	Université de Tlemcen

Année universitaire 2020/2021

Dédicaces

Je dédie ce travail à mes chers parents. C'est très difficile d'exprimer mes sentiments envers eux par de simples mots ; merci pour votre amour, votre affection, vos encouragements, vos sacrifices. Que dieu vous garde.

Ces dédicaces vont également à mes sœurs Farah et Aya, mes frères Zak et Nesro.

Mes grands-parents, surtout Dada.

Mes best-friends Khidij et Fetom.

Au groupe Blaha's Community

À tous mes chers amis, et ceux qui ont veillé de près.

BENNACEUR Hidayat

Dédicace

*C'est avec un grand honneur que je dédie ce travail qui est le fruit de plusieurs
années d'efforts,*

*À toute ma famille, par respect à leurs nombreux sacrifices, leurs encouragements et
soutiens pour mes études.*

*À toutes ces personnes si spéciales que j'aime, qu'elles soient proches ou éloignées, et
qui ont été d'un grand soutien.*

Une pensée à tous mes camarades de la promotion.

Sans oublier mes amies de la "Cité 19 Mai Kiffane".

Et à tous ces moments de souvenir partagés en compagnie de ces personnes.

TOGO Oumou Kebe.

Remerciements

Nous remercions **ALLAH** le Tout Puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné pour ces années d'études.

Nous remercions tout particulièrement **Monsieur et Madame KERZABI** pour leur dévouement, leur encadrement et leurs nombreux conseils tout au long de ce travail.

Nos chaleureux remerciements à **Mr NEBIA Riad** ainsi qu'à tout le service de l'**ADE** pour leur collaboration dans la réalisation de ce travail.

Un spécial remerciement à l'endroit du Chef de Département **Mr HEBIB Hakim** et à tous les **professeurs du Département STU** qui nous ont encadrés durant tout notre parcours universitaire

Table des matières

<i>Dédicaces</i>	I
<i>Remerciements</i>	III
Liste des figures.....	VIII
Liste des graphes	IX
Liste des tableaux	X
<i>ملخص</i>	XI
Résumé	XII
Abstract.....	XIII
Introduction générale.....	1
PARTIE I : GÉNÉRALITÉS	3
CHAPITRE I : PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE	3
I. Aperçu géographique	4
II. Aperçu climatique	6
II-1. Précipitation.....	6
II-1-1. Précipitations interannuelles	6
II-1-2. Précipitations mensuelles.....	7
CHAPITRE II : CADRE GÉO-STRUCTURAL	9
I. Cadre géologique.....	10
I-1. Contexte géologique régional des Monts de Tlemcen	10
I-1-1. Description de la série litho-stratigraphique	10
❖ Le Secondaire	11
➤ Le Trias	11
➤ Le Jurassique.....	12
❖ Le Tertiaire	15
I-2. Contexte géologique local du secteur d'étude.....	18
I-2-1. Description litho-stratigraphique des formations.....	18
❖ Secondaire.....	18
➤ Le Trias	18
➤ Le Jurassique.....	18
❖ Le Tertiaire	18

❖	Dépôts Plio-Quaternaire et Quaternaire :	19
II.	Cadre structural général	21
II-1.	Contexte structural régional des Monts de Tlemcen.....	21
❖	Les phases tectoniques.....	21
➤	Phase Éocrétacé	21
➤	Phase Atlasique.....	21
➤	Une importante phase de compression N-S à NW-SE avec un paroxysme miocène probable :	22
➤	Une phase à dominante distensive.....	22
➤	Phase récente (Plio-Quaternaire).....	22
II-2.	Aspect structural de la zone d'étude	23
	CHAPITRE III : CONTEXTE HYDROGÉOLOGIE	26
I.	Introduction	27
II.	Description des aquifères des Monts de Tlemcen.....	27
II-1.	Formations perméables	27
II-1-1.	Dolomies de Tlemcen	27
II-1-2.	Dolomies de Terni.....	27
II-1-3.	Grés Tortoniens.....	28
II-1-4.	Les travertins.....	28
II-1-5.	Conglomérats du Miocène inférieur de la plaine d'Hennaya	28
II-2.	Formations imperméables ou peu perméables	29
III.	Identification des aquifères du secteur d'étude	31
III-1.	Les terrains à grande perméabilité :.....	31
III-2.	Les terrains à perméabilité moyenne	31
III-3.	Les terrains à faible perméabilité ou à perméabilité nulle.....	32
	PARTIE II : ÉTUDE QUALITATIVE.....	34
	CHAPITRE I : PRÉSENTATION DES DONNÉES.....	34
I.	Présentation des données.....	35
I-1.	Les normes de qualité.....	35
I-2.	Les paramètres indicateurs de la qualité.....	35
II.	Méthode et moyens	36

II-1. Vérification des analyses.....	37
CHAPITRE II : TRAITEMENT DE DONNÉES.....	40
I. Traitement de données.....	41
II. Paramètres caractéristiques et aptitude à la consommation (potabilité)	41
II-1. Paramètres physiques	41
II-1-1. Le pH (Potentiel d'hydrogène).....	41
II-1-2. La Conductivité électrique (CE).....	42
II-2. Paramètres chimiques :.....	43
II-2-1. Le Calcium (Ca^{2+}).....	43
II-2-2. Le Magnésium (Mg^{2+})	44
II-2-3. Les chlorures (Cl^-).....	44
II-2-4. Le Sulfate (SO_4^{2-}).....	45
II-3. Paramètres indicateurs de pollution	46
II-3-1. Contaminants chimiques.....	46
➤ Ammonium (NH_4^+).....	46
➤ Nitrite (NO_2^-)	47
II-3-2. Contaminants bactériologiques.....	47
➤ Les coliformes totaux	47
➤ Les coliformes fécaux.....	47
➤ Les streptocoques fécaux.....	47
II-4. Discussion des résultats.....	48
III. Aptitude des eaux à l'irrigation	51
III-1. La conductivité.....	51
III-2. Paramètres guides selon les directives de la FAO :.....	52
Conclusion générale	55
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	57
ANNEXES	62

Liste des figures

Figure 1 : Situation des Monts de Tlemcen (<i>in</i> BENSAOULA et al., 2007).....	4
Figure 2 : Localisation de la zone d'étude	5
Figure 3 : Extrait de carte géologique de l'Algérie au 1/500 000	11
Figure 4 : Colonne litho-stratigraphique de la région de Tlemcen selon (Collignon ,1986 in Adamou & Taïbou, 2019) (modifiée).....	17
Figure 5 : Carte géo-structurale de la zone d'étude (Établie à partir de l'extrait de la carte lithologique de Tlemcen au 1/100 000, CLAIR et CONCARET, 1973)	20
Figure 6 : Schéma structural des Monts de Tlemcen (BENEST, 1985 <i>in</i> GASMI et MEDJDOUBI, 2014)	23
Figure 7 : L'Anticlinal d'Ouled Mimoun (A: Grès de Boumediene, B: Calcaire de Zarifet, ..	25
Figure 8 : Colonne hydrogéologique régionale (COLLIGNON, 1986 <i>in</i> ADAMOUC & TAÏBOU, 2019) (modifiée).....	29
Figure 9 : Coupe Transversale des Monts de Tlemcen, illustrant les principaux types d'aquifères de la région (<i>in</i> COLLIGNON, 1986).....	30
Figure 10 : Carte de position des points d'eau dans le secteur d'étude.....	37

Liste des graphes

Graphe 1 : Variation des moyennes annuelles des précipitations de la station de Sidi Abdelli (1992/2016)	7
Graphe 2 : Variations des moyennes mensuelles des précipitations de la station de Sidi Abdelli (1992/2016).	8
Graphe 3 : Graphe de validation des données.	38
Graphe 4 : Variation spatio-temporelle du pH.	42
Graphe 5 : Variation spatio- temporelle de la conductivité.	43
Graphe 6 : Variation spatio- temporelle de l'ion calcium.	43
Graphe 7 : Variation spatio- temporelle du l'ion magnésium.	44
Graphe 8 : Variation spatio-temporelle de l'ion chlorure.	45
Graphe 9 : Variation spatio- temporelle de l'ion sulfate.	45
Graphe 10 : Variation spatio- temporelle de l'ammonium.	46
Graphe 11 : Variation spatio-temporelle du nitrite.	47

Liste des tableaux

Tableau 1 : Précipitations moyennes mensuelles de la période 1992/2016	7
Tableau 2 : Classification des points d'eau suivant les analyses physico-chimiques du secteur d'étude	39
Tableau 3 : Tableau récapitulatif des différentes analyses microbiologiques des eaux du secteur d'étude.....	48
Tableau 4 : Classification des eaux suivant les normes Algériennes	50
Tableau 5 : Qualité de l'eau en fonction de la conductivité électrique (TOUHARI, 2015). ...	51
Tableau 6 : Conductivité et aptitude de l'eau à l'irrigation (d'après US SALINITY LABORATORY, 1955)	52
Tableau 7 : Classification des eaux d'irrigation de la région d'étude selon les directives de la FAO (AYERS et WESTCOT, 1985).	53

ملخص

تركز الدراسة الحالية على تقييم نوعية المياه الجوفية في منطقة أولاد ميمون للاستهلاك والاستخدام الزراعي المحتمل. تعتبر منطقة أولاد ميمون منطقة ذات أهمية هيدروجيولوجية كبيرة حيث يبلغ متوسط هطول الأمطار السنوي 385.28 ملم. الموارد المائية التي تحتويها موجودة في سلسلة الصخور الكلسية الدولوميتية للعصر الجوراسي والتي يتم استغلالها عن طريق الآبار أو العيون. أجريت هذه الدراسة على أساس التحليلات الفيزيوكيميائية والبكتريولوجية التي أجرتها الجزائرية للمياه. تم استعمال مجموعة من ادوات الحاسوب لرسم الخرائط الرقمية (SIG , Surfer و PCC) و معالجة البيانات الفيزيوكيميائية (Excel) . وبفضل هذا الأخير، قمنا بمقارنة النتائج الفيزيوكيميائية التي تم الحصول عليها مع المعايير الجزائرية، والذي كشف على ان جزءا كبيرا من المياه تعتبر صالحة للشرب (بئر والوت، بئر بن مذاح ...). ومع ذلك، فقد تم الكشف عن مواد ملوثة في بعض نقاط المياه مثل بئر تاحمومين (2019) وبئر تاغزوت (2013). وعلاوة على ذلك، تبين أن نوعية هذه المياه مقبولة للاستخدام الزراعي وفقا لمعايير FAO و US SALINITY LABORATORY.

الكلمات المفتاحية: مياه جوفية، هيدروكيميا، قابلية الشرب، الري، المعايير الجزائرية, أولاد ميمون.

Résumé

Résumé

La présente étude porte sur l'évaluation de la qualité des eaux souterraines de la région d'Ouled Mimoun en vue d'une consommation et d'une possible utilisation agricole. La région d'Ouled Mimoun est une zone à grand intérêt hydrogéologique où tombe en moyenne interannuelle une précipitation de 385.28 mm. Les ressources d'eau qu'elle renferme sont contenues dans les massifs calcaréo-dolomitiques du Jurassique et desquels elles sont captées par des forages ou à l'émergence. Cette étude a été menée sur la base des analyses physico-chimiques et bactériologiques réalisées par l'ADE (Algérienne Des Eaux). Les outils informatiques ont été utilisés pour la cartographie numérique (SIG sur MapInfo, Surfer et PCC) et le traitement de données physico-chimiques (sur Excel). Grâce à ce dernier, nous avons effectués une comparaison des résultats physico-chimiques obtenus avec les normes Algériennes, ce qui a révélé qu'une grande partie des points d'eaux sont potables (forage Walout, forage Benmeddah...). Cependant une pollution par la matière fécale a été détectée dans quelques points d'eau tels que le forage Tahmoumin (2019) et le forage Taghzout (2013). Par ailleurs, la qualité de ces eaux s'est révélée acceptable à l'usage agricole selon les normes de la FAO et de l'US SALINITY LABORATORY.

Mots clés : Eau souterraine — Hydrochimie – Potabilité – Irrigation – Normes Algériennes - Ouled Mimoun.

Abstract

Abstract

This study concerns the assessment of the quality of groundwater in the region of Ouled Mimoun for consumption and possible agricultural use. The region of Ouled Mimoun is an area of great hydrogeological interest where an annual average of 385.28 mm precipitation falls. The water resources it contains are contained in the calcareous-dolomitic massifs of the Jurassic period and from which they are captured by boreholes or at emergence. This study was carried out based on Physico-chemical and bacteriological analyzes carried out by ADE (Algérienne Des Eaux). The computer tools are used to informatics cartography (GIS in MapInfo, Surfer, PCC). The treatment of physic-chemical parameters (in Excel). In Excel we compared the physico-chemical results obtained with Algerian standards, which revealed a large part of the water as potable (Walout drilling, Benmeddah drilling, etc.). However, pollution by fecal matter has been detected in a few water points such as the Tahmoumin borehole (2019) and the Taghazout borehole (2013). Furthermore, the quality of these waters is acceptable for agricultural use according to FAO and US SALINITY LABORATORY standards.

Keywords: Groundwater — Hydrochemistry – Potability – Irrigation – Algerian standards-Ouled Mimoun.

Introduction générale

Les eaux souterraines sont disponibles en faibles quantités presque partout. Elle est la source d'eau potable pour de nombreuses personnes dans le monde, en particulier dans les zones rurales. Les terrains karstiques couvrent environ 12% de la surface terrestre et 25% de la population mondiale est alimentée partiellement ou entièrement par des ressources en eau d'origine karstique (DARNAULT, 2008).

En Algérie, les ressources en eaux souterraines représentent dans de nombreuses communes et villes la seule source d'eau disponible à cause de la rareté ou de l'inexistence de ressources en eau superficielles. Dans les Monts de Tlemcen, les aquifères karstiques constituent la principale ressource en eau souterraine de la région où plus de 270 forages ont été réalisés pour une capacité de production totale de 40 millions de m³/an (BENSAOULA et al., 2019).

D'un point de vue qualitatif, les eaux souterraines sont généralement soumises à un potentiel considérable de contamination, en particulier dans les zones karstifiées où l'infiltration des effluents (agricole, industrielle ou domestique) est très importante. Cette qualité est également influencée par la géologie des terrains traversés. Cependant, le développement socio-économique conduit à une dégradation rapide de cette qualité des eaux (BOUDJADJA et al., 2003)

La région d'Ouled Mimoun est une zone karstique à potentiel hydrique appréciable offert par le passage de l'oued Isser et les émergences des aquifères karstiques des Monts de Tlemcen qui s'y écoulent. Par les pratiques agricoles effectuées, la région se voit exposé à de grands risques de contamination des ressources en eau qu'elle renferme par les engrais, pesticides utilisés ou autres produits. Et face à l'accroissement démographique, on assiste à une augmentation de ces activités agricoles au même moment que les demandes en eau potable s'élèvent.

D'où notre thème, étude hydrochimique et qualitative des eaux souterraines de la région d'Ouled Mimoun. Et c'est dans cette objectivité que nous allons aborder et traiter les différentes notions que soulève ce sujet afin de déterminer la qualité de cette eau selon son usage.

Sachant que le caractère chimique de toute eau souterraine détermine sa qualité et par conséquent son utilisation, pour réaliser cette étude nous avons collecté auprès de l'Algérienne

Introduction Générale

des Eaux (ADE) une série de données hydrochimique et bactériologique dont les analyses ont été effectuées de 2009 à 2020 sur des sources et forages dans la zone d'étude.

Dans ce document, nous allons présenter un contexte général de la région d'Ouled Mimoun en synthétisant la géologie et l'hydrogéologie locales, ensuite identifier la qualité des eaux et déduire leur aptitude à la consommation et/ou à l'irrigation à partir de représentations graphiques et d'une comparaison des résultats avec les normes nationaux et internationaux de potabilité et d'irrigation.

Pour cela, ce travail sera reparti en deux grandes parties qui sont :

- La première partie est consacrée principalement à des généralités sur la géologie, la structurale et l'hydrogéologie ;
- La deuxième partie quant à elle traite les données physico-chimiques et qualitatives des eaux de la zone d'étude.

PARTIE I : GÉNÉRALITÉS

CHAPITRE I : PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

I. Aperçu géographique

Culminant à 1843 m au Djebel Tenouchfi, les Monts de Tlemcen forment le principal relief entre la Méditerranée au Nord et les hautes plaines oranaises au Sud. Ils sont relayés à l'Est par les Monts de Daïa et la plaine de Sidi-Bel-Abbès et à l'Ouest par le Moyen Atlas marocain (figure 1).

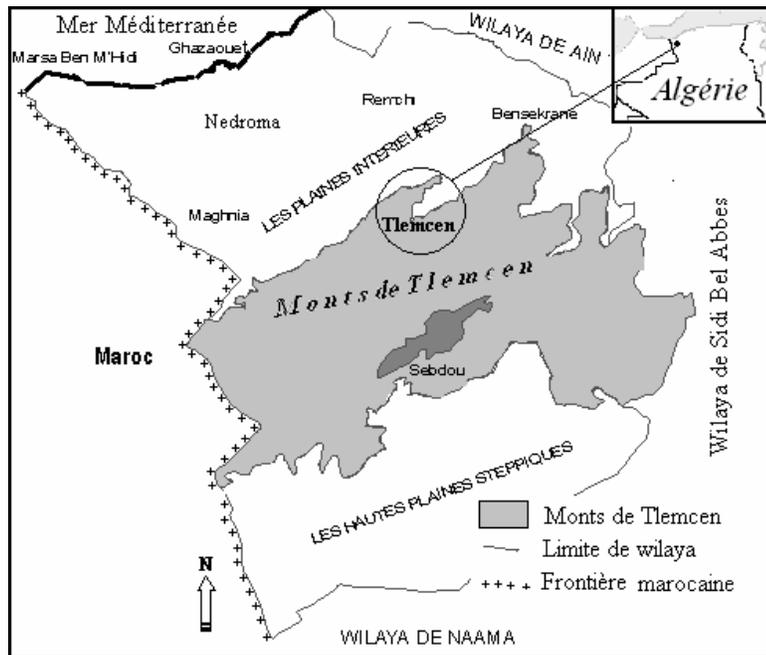


Figure 1 : Situation des Monts de Tlemcen (in BENSAOULA et al., 2007)

La zone d'Ouled Mimoun (figure 2), située à 33 Km vers l'Est de Tlemcen, occupe le rebord Nord des Monts de Tlemcen. Localement, elle est limitée par :

- L'agglomération d'Aïn Tellout à l'Est
- L'oued Chouly à l'ouest
- Au Sud par le Djebel Miez et le Djebel Bou-Acha,
- On observe à l'extrémité Nord les affluents de l'oued Isser et de l'oued Bou-Hadi.

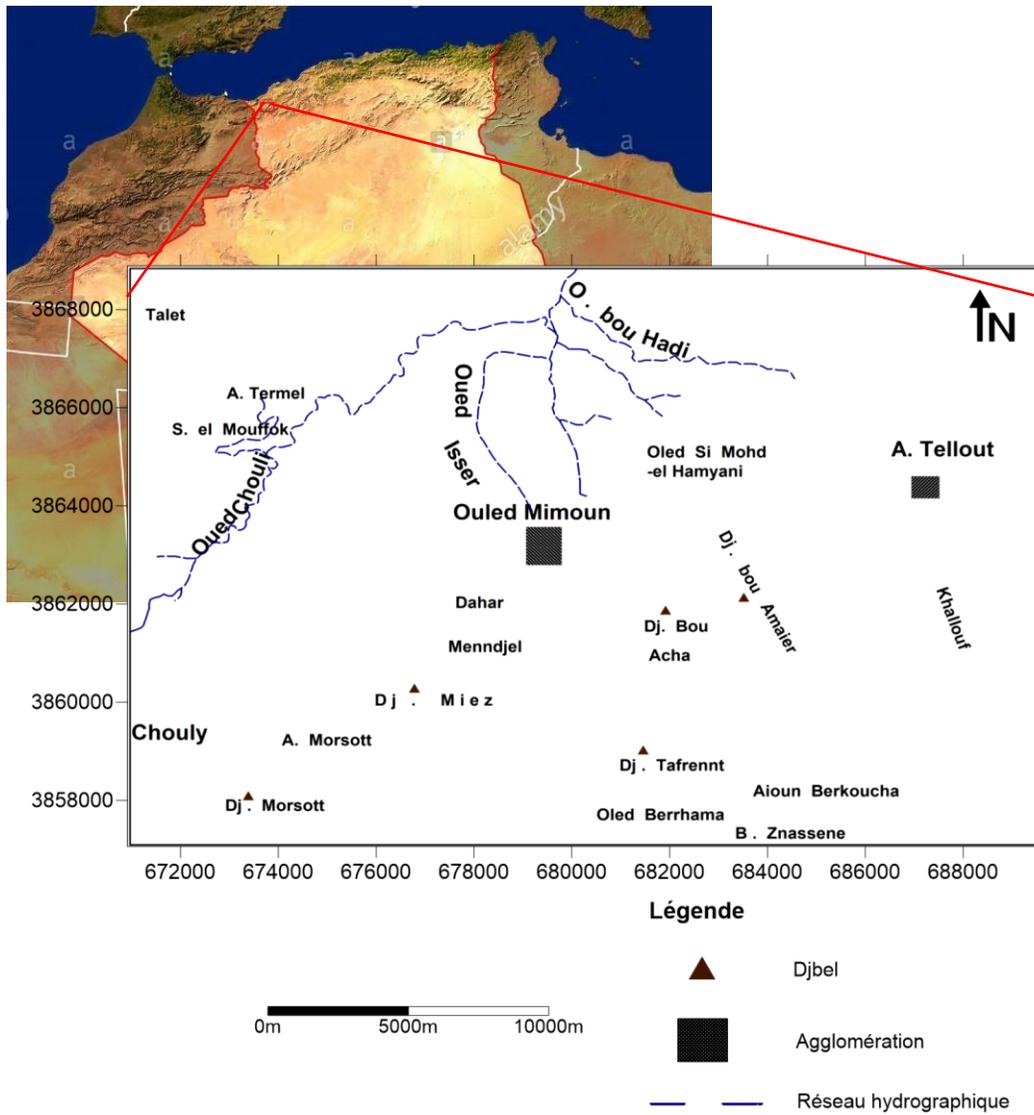


Figure 2 : Localisation de la zone d'étude

II. Aperçu climatique

Le climat désigne l'ensemble des paramètres météorologiques (précipitation, température, humidité de l'air, ensoleillement) régnant sur une région géographique donnée pendant une période donnée.

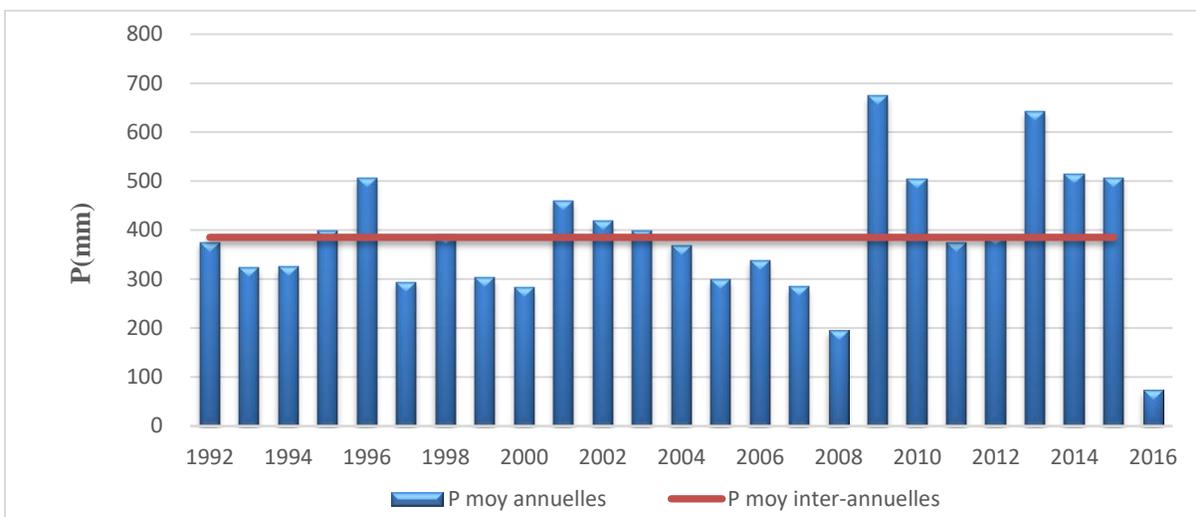
Pour comprendre et mieux interpréter le comportement d'un système hydrogéologique, la connaissance de l'évolution pluviométrique et thermique se révèle importantes. En revanche, les données climatiques dont nous disposons sont limités aux relevés pluviométriques. De ce fait, une étude climatique ne sera possible par manque des données sur la température. Cependant, nous effectuerons une représentation de l'évolution pluviométrique de notre région d'étude de 1992 à 2016 et une synthèse sur le climat de la région.

II-1. Précipitation

Les précipitations constituent l'un des plus importants paramètres climatiques du bilan hydrologique, c'est le facteur primordial qui permet de déterminer le type de climat. L'évaluation pluviométrique s'effectuera par une étude de la variabilité des précipitations annuelles et mensuelles sur la base de données de la station météorologique de Sidi Abdelli, s'étendant sur une chronique de 24 ans.

II-1-1. Précipitations interannuelles

Le graphe 1 ci-dessous représente la variation des précipitations moyennes annuelles. Par analyse, cette représentation montre que l'année 2016 correspond à l'année la plus sèche avec une précipitation annuelle de 72.9 mm. L'année 2009, avec un maximum de 675.3 mm, est l'année la plus humide. Aussi, nous observons une diminution assez régulière des précipitations de l'année 2002 à 2008. La pluviosité moyenne annuelle est faible avec une moyenne interannuelle égale à 385.28 mm. Et la plupart des années présentent une pluviosité supérieure à 300 mm.



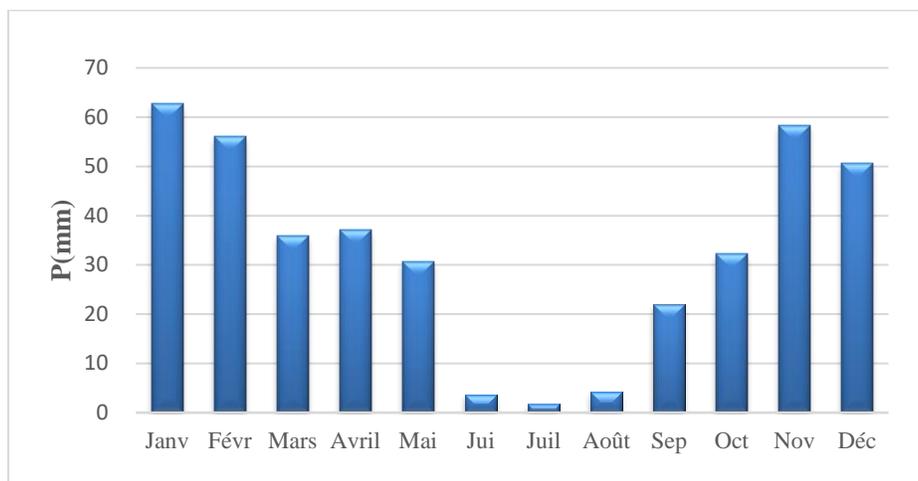
Graph 1 : Variation des moyennes annuelles des précipitations de la station de Sidi Abdelli (1992/2016)

II-1-2. Précipitations mensuelles

Le graphe 2, représentant la moyenne mensuelle, montre un maximum de précipitations enregistré dans le mois de janvier avec une valeur de précipitations moyennes mensuelles de 62.69 mm et un minimum au mois de juillet correspondant au mois le plus sec avec une valeur de précipitation égale à 1.68 mm.

Tableau 1 : Précipitations moyennes mensuelles de la période 1992/2016

Mois	Janv	Févr	Mars	Avril	Mai	Jui	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
P (mm)	62.69	56.09	35.89	37.04	30.59	3.65	1.68	4.22	21.98	32.18	58.44	50.66



Graphe 2 : Variations des moyennes mensuelles des précipitations de la station de Sidi Abdelli (1992/2016).

Le climat d'Ouled Mimoun est dit tempéré chaud. L'été est court, très chaud et sec dans l'ensemble avec des précipitations moins importantes qu'en hiver. Tandis que, l'hiver est long, assez froid et venteux. Au cours de l'année, la température varie généralement de 2 °C à 33°C (Weather Spark). D'après Köppen et Geiger, le climat est de type Bsk (climat semi-aride). (Climate-Data.Org)

PARTIE I : GÉNÉRALITÉS

CHAPITRE II : CADRE GÉO-STRUCTURAL

I. Cadre géologique

Le domaine Tlemcénien où se trouvent les Monts de Tlemcen, constitue à l'Ouest de l'Algérie une zone de transition entre le domaine tellien et les hautes plaines oranaises. À l'affleurement, il peut s'étendre sur plus de 400 km allant du plateau de Terni-Mazgout au Maroc jusqu'à Freneda en Algérie. En Algérie, il comprend de l'Ouest vers l'Est, le Horst de Ghar Roubane, les Monts de Tlemcen, les Monts de Daïa et les Monts de Saïda. Vers l'Est, il passe au domaine pré-atlasique (HAYANE, 1983). La région étudiée intéresse une partie des piémonts nord des Monts de Tlemcen. Elle s'étend depuis Aïn Tellout à l'Est jusqu'à Sidi-Abdely au Nord-ouest et englobe l'extrémité sud de la vallée de l'oued Isser.

I-1. Contexte géologique régional des Monts de Tlemcen

Les Monts de Tlemcen sont constitués essentiellement de calcaires et dolomies du Kimméridgien et du Tithonien d'âge Jurassique supérieur et Crétacé inférieur, ces formations représentent plus de 80% des parties dominantes des plateaux, sont couvertes sur le revers Sud par les sédiments tertiaires épais représentés par des dépôts fluviatiles éocènes et au Nord par des marnes miocènes et des dépôts continentaux du Plio-Quaternaire (BENSAOULA, 2006).

I-1-1. Description de la série litho-stratigraphique

Cette description qui suit, tient compte des formations qui affleurent sur la carte lithologique de la région de Tlemcen au 1/100 000 (CLAIR et CONCARET, 1973). Elle est inspirée, en plus de la notice de la carte lithologique de la région de Tlemcen au 1/100 000 de CLAIR et CONCARET 1973, des travaux de HAYANE 1983, de BENEST 1985 et ceux de BENSAOULA, 1992 et 2006.

Notons que ces formations présentent un changement de faciès latéral, une variation d'épaisseur ainsi qu'une dolomitisation très irrégulière, à travers les Monts de Tlemcen (d'après les travaux de BENEST, 1985 ; COLLIGNON, 1986 et BENSAOULA, 2006).

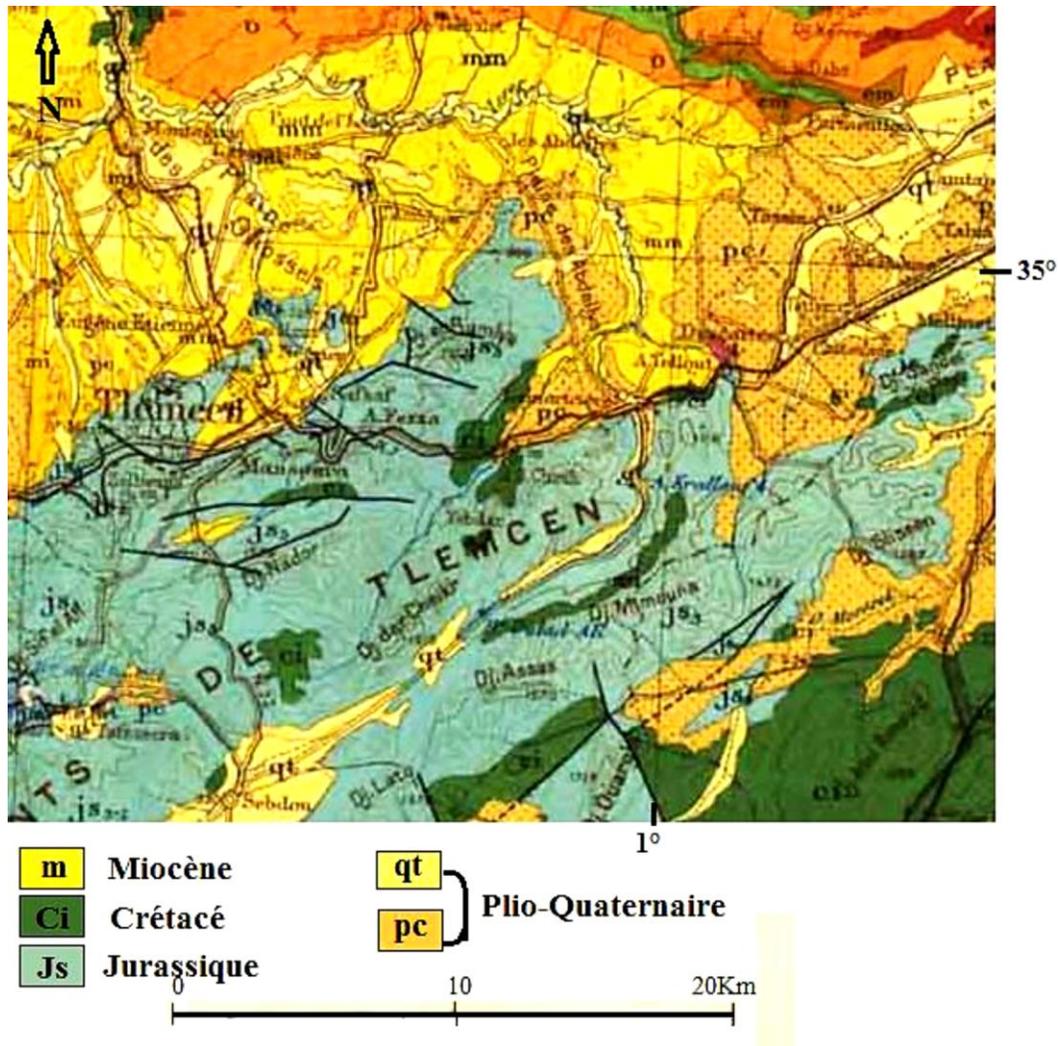


Figure 3 : Extrait de carte géologique de l'Algérie au 1/500 000

On distingue :

❖ Le Secondaire

Il forme l'ossature des Monts de Tlemcen et est représenté majoritairement par le Jurassique supérieur. Nous pouvons distinguer en partant des niveaux les plus anciens :

➤ Le Trias

Localisé essentiellement au Nord d'Aïn Tellout et au niveau de Béni-Bahdel. Il est constitué par des argiles plus ou moins dolomitiques et gypseuses et des marnes bariolées fortement teintées, et

des cargneules. Il est souvent traversé par des apparitions d'ophite d'âge plus récent (Jurassique ou Crétacé) s'accompagnant, d'un léger métamorphisme (CLAIR et CONCARET 1973).

➤ **Le Jurassique**

• **Le Lias et le Dogger**

C'est un complexe constitué de marnes, calcaires, grès et des marno-calcaires de différent étage. Ces terrains profonds n'apparaissent qu'à la faveur des horsts de Rhar Roubane et du Djebel Tenouchfi avec une épaisseur variant de 0-200 m voir même jusqu'à 500 m au Djebel Sidi El Abed (COLLIGNON, 1986).

• **Les marnes callovo-oxfordiennes**

Elles correspondent à des dépôts d'argiles et de marnes, parfois schisteux à passées gréseuses. La formation pouvant atteindre 300 m jusqu'à 500 m offre parfois une transition assez progressive aux grès de Boumediene (COLLIGNON, 1986).

• **Les grès de Boumediene**

S'étendant de l'Oxfordien supérieur jusqu'au Kimméridgien, cette série est un ensemble lithologique à dominance gréseuse qui affleure avec une épaisseur pouvant atteindre 500 m. Formation massive à intercalations de couches argileuses vertes ou parfois brunes, ces grès ferrugineux présentent à leur sommet quelques passées marneuses et calcaires.

• **Les calcaires de Zarifet**

Les calcaires de Zarifet, définis par DOUMERGUE (1910) sous le nom de calcaires bleus à géodes, sont bien exposés dans les secteurs de Tlemcen et de Terni. D'âge Kimméridgien inférieur (DOUMERGUE, 1910), il s'agit d'épais bancs calcaires de position intermédiaire entre les grès de Boumediene et les dolomies de Tlemcen et d'une épaisseur de 100 m au col de Zarifet. De plus ces calcaires sont localement réduits ou dolomités.

Leur limite inférieure, étant placée au toit de la dernière assise gréseuse ou argileuse des grès de Boumediene c'est à dire à la base du premier banc carbonaté généralement dolomitisé, est caractérisée par de minces intercalations de calcaires marneux. La limite supérieure a été fixée à l'apparition du 1^{er} banc dolomitique des Dolomies de Tlemcen.

Cette dolomitisation montre une extension verticale très variable selon les secteurs affectés, dans la partie méridionale des Monts de Tlemcen, la quasi-totalité des calcaires de Zarifet qui de ce fait ne peuvent être séparés des Dolomies de Tlemcen. Son développement est

tel dans certains cas qu'il n'est plus possible de distinguer entre les trois formations du rythme A (calcaire de Zarifet, Dolomie de Tlemcen, calcaire de Stah).

- **Les Dolomies de Tlemcen**

Largement représentées dans les Monts de Tlemcen, ces dolomies donnent des reliefs ruiniformes dans laquelle la stratification est difficilement reconnaissable. L'épaisseur de cette formation à laquelle l'âge attribué correspond à celui de la formation sous-jacente peut atteindre 300 m dans la région de Tlemcen.

La limite inférieure de la formation n'est pratiquement jamais synchronisée sur tout le territoire des Monts de Tlemcen. En l'absence de données bio-stratigraphiques précises, cette limite a été placée à la base des premiers niveaux dolomitiques riches en laminites stromatolitiques. Elle est rarement aussi tranchée qu'au col de Zarifet.

La limite supérieure plus nette en général correspond à la première passée marneuse peu indurée par laquelle débutent les calcaires de Stah. Il faut encore insister sur l'imprécision de cette limite, lorsque la dolomitisation affecte complètement les calcaires de Stah (Sidi Yahia Ben Sefia).

Les Dolomies de Tlemcen ainsi définies comportent assez souvent des intercalations lenticulaires calcaires. Dans d'autres cas, elles peuvent se terminer par plus de 100m ou plus de calcaires critiques à dames-blanches et à lituaniens. On constate qu'on peut passer latéralement et brutalement à des calcaires massifs comportant de nombreuses passées de lamines stromatolitiques, par exemple Dj. Stah, Dj. Guern, Kossilet (sud de Terni).

- **Les calcaires de Stah**

Elle n'est vraiment différentiable des Dolomies de Tlemcen que lorsqu'elle est épargnée de la dolomitisation. Elle correspond à des calcaires massifs à dominante micritiques pratiquement dépourvues de passées marneuses (coupe type Dj. Stah 65 m).

En revanche dans d'autres secteurs cette formation admet des intercalations marneuses.

- **Les marno-calcaires de Raouraï**

Cette formation est définie comme les marno-calcaires intermédiaires D'AUCLAIR et BIEHLER (1967). Elle est constituée par une alternance de petits lits marneux gris verdâtres ou blanchâtres et des calcaires (gris ou gris bleuté) pouvant atteindre 100 m. (HAYANE, 1983).

Avec une épaisseur assez constante dans l'ensemble, ils manifestent un enrichissement de calcaire dans la partie septentrionale des Monts de Tlemcen. Celui-ci est perceptible au Bled Gliaa à Ouled Mimoun avec une épaisseur 115m. Le faciès devient plus calcaire à l'Ouest de Tlemcen et plus au Nord avec une diminution de l'épaisseur, 75 m seulement au Dj. Tefatisset à Tlemcen.

Dans la partie sud des Monts de Tlemcen, la formation sous un faciès très marneux devient très épaisse (400m) dans le massif de Raouraï et à un degré moindre au Dj. Ouargla (240 m).

- **Les calcaires de Lato**

Situées au-dessous des marno-calcaires de Raouraï, elles se présentent avec une épaisseur de 50 m en moyenne. La formation se termine au sommet de lamines noires formant une vire dans toute la région de Sebdu. Ils sont le plus souvent micritiques.

- **Les Dolomies de Terni**

Correspondent à la corniche au-dessus des calcaires du Lato, leur épaisseur est d'environ 50 m dans la zone de Sebdu et de 100 m au niveau du plateau de Terni. Dans une grande partie des Monts de Tlemcen, les Dolomies de Terni peu fossilifères montrent un faciès constant. On observe à la base un horizon riche en silex stratiformes et en stromatolithes colonnaires recristallisées. On observe aussi des stratifications obliques qui, avec l'aspect très massif, permettent de bien les différencier des dolomies de Tlemcen.

Sur la bordure méridionale des Monts de Tlemcen et de Daïa, ainsi que les hautes plaines Oraïses. Cette formation dolomitique ne peut être séparée des calcaires du Lato également dolomitisés.

- **Les marno-calcaires de Hariga**

D'âge Tithonique moyen, la limite de ces marno-calcaires est difficile à déterminer lorsque les premières assises de la formation sont calcaires et entièrement atteintes par la dolomitisation.

La limite supérieure est facile à préciser. Elle correspond à la semelle du premier banc gréseux des grès du Merchiche.

Cet ensemble, de marnes et de calcaires, peut atteindre 200 à 300 m d'épaisseur dans la partie sud-est des Monts de Tlemcen.

- **Les marno-calcaires d'Ouled Mimoun**

Cette formation renferme les couches de passage du Jurassique au Crétacé, elle est limitée à sa base par les "grès de Merchiche", dans le secteur de Merchiche, sur le rebord sud du plateau de Terni. Elle affleure nettement dans le secteur d'Ouled Mimoun, ainsi qu'au niveau de la bordure nord du fossé de Sebdu. La série est attribuée au Tithonien supérieur et Berriasien inférieur.

❖ Le Tertiaire

Il est représenté par des dépôts essentiellement marins, en majeure partie miocènes. Les seuls niveaux observés sont :

• Marnes du Serravallien (Miocène moyen)

Repose souvent en transgression et en discordance sur le miocène inférieur, déformé et partiellement érodé. Il est constitué essentiellement par une épaisse série d'argiles marneuses grises ou bleutées, qui par altération deviennent ocre. Au sein de cette série, pouvant atteindre 300 m d'épaisseur dans le bassin de l'Oued Isser, s'intercalent de nombreux bancs décimétriques de grès jaunes, plus fréquents au sommet de la série.

Particulièrement dans le bassin de la Tafna, la base de ces marnes Serravalliens est marquée par un niveau discontinu de poudingue relativement peu consolidé à ciment argilo-gréseux, bien représenté à 4 km à l'Est de Hammam Boughrara et en limite des affleurements jurassiques.

• Grés Tortoniens (Miocène supérieur)

Il est représenté par des grés fissurés jaune d'or ou citron avec, par endroits, de minces passées marneuses. Ces grés durs, mal lités, sont parfois peu consolidés et subhorizontaux, peuvent atteindre 20 à 30 m d'épaisseur.

❖ Le Plio-Quaternaire

Il est représenté par des sédiments continentaux d'âge comparable bien que de nature variable. Il s'agit d'une série complexe de dépôts discontinus formés d'éléments hétérométriques et hétérogènes. On y rencontre les faciès suivants :

- Les travertins villafranchiens situés en bordure des monts de Tlemcen, qui sont représentés par des travertins fortement consolidés et des calcaires lacustres (les travertins du plateau de Lalla Setti).

- Le complexe de sédiments plio-villafranchiens : la bordure des massifs secondaires est soulignée par des éboulis de piémont plus ou moins encroûtés et remaniés, d'épaisseur très variable mais toujours assez faible.
- Des marnes avec peu ou pas de galets, plus ou moins tufeuses, parfois très épaisses surtout au niveau du bassin de l'oued Mouilah.
- Des anciennes alluvions allant des marnes alluvionnaires verdâtres aux galets en passant par les limons et les graviers.
- Les limons, sables et graviers récents qui s'étendent entre oued Mehaguène et Chaâbet El Arneb au nord-est de la frontière algéro-marocaine. Les limons sont jaunes en général avec des couches rougeâtres et à leur base se trouvent les galets en lits.
- Quelques lambeaux de basaltes interstratifiés, témoins d'une activité volcanique. Ils sont situés au Nord-ouest de la plaine de Maghnia dans le bassin du Mouilah. (BOUANANI, 2004).

❖ Le Quaternaire

Ces dépôts sont exclusivement continentaux et constituent une succession de terrasses et de glacis de pente plus ou moins encroûtés. L'échelle de la carte utilisée a permis de représenter :

- Les alluvions récentes et subactuelles des fonds d'oueds correspondent à des limons surmontant le plus souvent un niveau grossier d'alluvions récentes (Holocène) dans les oueds Isser et Chouly. Les formations alluvionnaires subactuelles se présentent en terrasses d'origine fluvio-continentales étagées de la plus ancienne à la plus récente :
- Les travertins post-villafranchiens représentés par des travertins tufeux, sont plus récents que ceux du Villafranchien.
- Une terrasse à gros galets s'élevant de 60 à 80 m au-dessus des alluvions récentes est représentée en bordure de la Tafna.
- La croûte et l'encroûtement Tensiftien est formée par un encroûtement granulo-nodulaire de teinte claire et de croûtes lamellaires.
- Une terrasse à encroûtement granulo-nodulaire ocre très clair avec une croûte lamellaire en lambeaux situées entre 25 et 35 m au-dessus des alluvions récentes (Salétien).
- Les glacis de pente soltaniens de sol rouge se raccordent à la terrasse soltanienne dont les lambeaux s'élèvent de 10 à 15 m est le plus souvent limono-argileuses.

- Au-dessus des limons s'étend une terrasse limoneuse non encroûtée (Rharbien).

Age	Formations	Description
	Quaternaire	Dépôts continentaux à éléments fins et grossiers: limons, conglomérats, éboulis, terrasses et grès
	Plio-Quaternaire	Grès jaunes durs (20-30 m)
Miocène	Les grès du Tortonien	Grès jaunes durs (20-30 m)
	Les marnes avec de bancs de grès du Serravalien	Argiles marnées à intercalation de bancs de grès (100-300 m)
Crétacé basal	Les marno-calcaires d'Ouled Mimoun	Marnes et calcaires alternés avec de petits bancs gréseux situés à la base
Jurassique supérieur	Les marno-calcaires de Hariga	Alternance de marnes et calcaires (200-300 m)
	Les Dolomies de Terni	Dolomies massives (100 m) à base calcaire (50 m)
	Les calcaires du Lato	Dolomies massives (100 m) à base calcaire (50 m)
	Les marno-calcaires de Raourai	Alternance de marnes et bancs calcaires (100 m)
	Les calcaires de Stah	Calcaire massif micritique
	Les dolomies de Tlemcen	Roches cristallines, rougeâtres avec quelques lentilles calcaires (300 m)
	Les calcaires de Zarifet	Calcaires bleus à géode (100 m)
Callovo-oxfordien	Les grès de Boumédiène	Grès bruns, épais avec de nombreux bancs argileux ou marneux et des passées de calcaires (500 m)
	les argiles de Saida	Marnes schisteuses vertes ou brunes à lits gréseux (300-500 m)
Trias	Argiles gypseuses	Argiles dolomitiques et gypseuses

Figure 4 : Colonne litho-stratigraphique de la région de Tlemcen selon (Collignon ,1986 in Adamou & Taïbou, 2019) (modifiée)

I-2. Contexte géologique local du secteur d'étude

Notre secteur d'étude laisse apparaître quatre grands ensembles géologiques qui s'étalent depuis les formations récentes (dépôts quaternaires) aux formations jurassiques.

I-2-1. Description litho-stratigraphique des formations

Sachant que les faciès décrits ci-dessous sont identiques aux précédents, cette description visera la nature lithologique et l'épaisseur observée des différentes couches qui sont retrouvées localement.

❖ Secondaire

➤ Le Trias

Un seul affleurement est visible dans la zone d'Aïn Tellout où la formation est représentée par des marnes gypseuses multicolores, du gypse gris pale à blanchâtre, des roches vertes et des calcaires dolomitiques noirâtres.

➤ Le Jurassique

- **Les argiles de Saïda** : Attribuées au Callovo-Oxfordien, c'est un ensemble composé de marne, d'argile présentant des niveaux de grés.
- **Grés de Boumediene** : En bancs épais, ce sont des grés blancs parfois bruns ferrugineux à la surface et durs avec des intercalations de bancs marneux multicolores. Nous le retrouvons dans la partie sud de notre secteur d'étude.
- **Dolomies de Tlemcen** : C'est une formation dolomitique épaisse qui atteint 330 m au sud d'Ouled-Mimoun dans le djebel Bou-Acha.
- **Dolomies de Terni** : Formation irrégulièrement dolomitisée, elle présente une épaisseur moyenne de 110 m au Bled-El-Gliaa au sud d'Ouled Mimoun.
- **Marno-calcaires de Hariga** : Il s'agit d'un faciès calcaréo-dolomitique devenant marneux à son sommet. L'épaisseur est de 270 m au Bled-El-Gliaa.
- **Marno-calcaires d'Ouled Mimoun** : La formation atteint dans la région d'Ouled Mimoun une épaisseur de 500 à 700 m. A la base, on note l'existence de bancs gréseux.

❖ Le Tertiaire

Il affleure dans notre zone par :

- **Miocène moyen (Helvétien) :** Il est constitué essentiellement de marnes grises ou bleutées devenant jaune-ocre à l’affleurement et peut atteindre 300 m d’épaisseur dans la vallée de l’oued Isser. Et il couvre une grande surface au nord de la carte.
- **Alluvions du Pliocène :** Ce sont des dépôts continentaux généralement caillouteux limoneux et parfois argilo-sableux. Ces dépôts peuvent atteindre 150 à 280 m d’épaisseur sur l’ensemble du plateau entre Aïn Tellout et Sidi Ali Boussidi. À certains endroits existent des lentilles de poudingues dont l’épaisseur peut varier de 5 à 10 m. ces alluvions affleurent abondamment à l’Est de l’oued Isser sur la plaine de Hassi-Zahana et Ben-Badis.

❖ **Dépôts Plio-Quaternaire et Quaternaire :**

Nous retrouvons comme dépôts :

- **Formation plio-villafranchienne :** C’est un complexe composé de limons plus ou moins détritiques de couleur ocre ou brique claire, des niveaux de poudingue dur bien développés entre Ouled Mimoun et les Abdelys et une carapace calcaire. Elle peut atteindre plusieurs dizaines de mètres dans la localité d’Aïn El Atrouss.
- **Travertins récents post-villafranchiens :** Ils soulignent l’emplacement des sources liées au massif Jurassique. Les plus importants sont ceux d’Ouled Mimoun qui constituent une véritable falaise de même que ceux d’Aïn Tellout.
- **Terrasse de galet (Amirien) :** c’est une terrasse de conglomérat surmonté d’une croûte beige à rosée. Elle est bien individualisée près d’Aïn Taslit et à Sidi-Bouziane. Son épaisseur varie de 60 à 80 m.
- **Tensifien :** Terrasse identique à celle de l’Amirien. On la retrouve sur plusieurs parties de la carte où elle manifeste un changement de faciès (avec le complexe de piedmont plio-villafranchien). Son épaisseur varie de 20 à 40 m.
- **Terrasse encroûtée :** Elle affleure principalement le long de l’oued Isser.
- **Glacis de pente Soltanien :** Il s’agit de surfaces de terrain inclinées de la partie des marnes miocènes non atteintes par les érosions récentes que nous retrouvons en quelques endroits de notre carte sur de très petite surface.
- **Alluvions récentes :** Représentées par des limons de fonds d’oueds. Ces alluvions recouvrent la partie orientale de la carte.

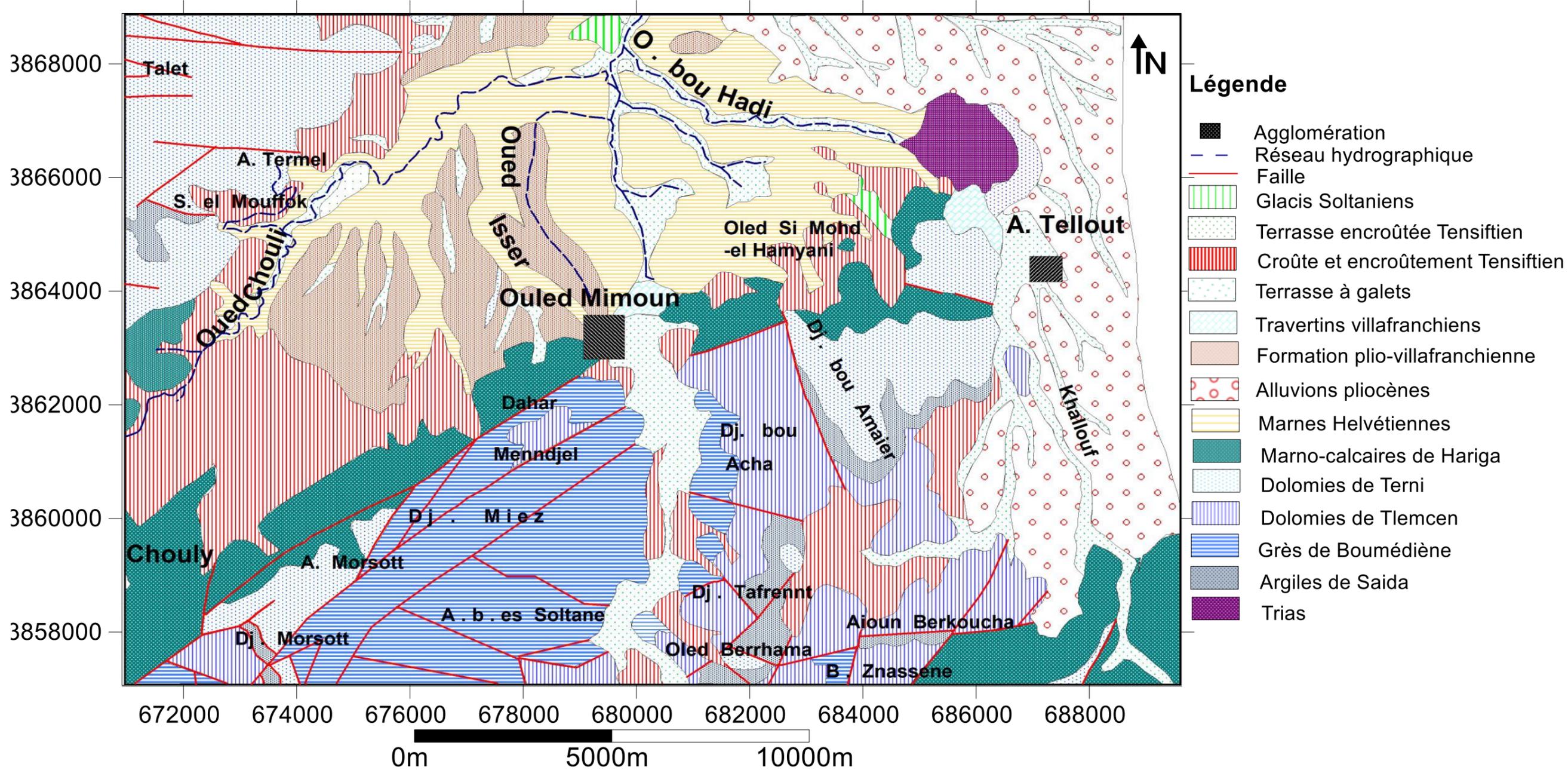


Figure 5 : Carte géo-structurale de la zone d'étude (Établie à partir de l'extrait de la carte lithologique de Tlemcen au 1/100 000, CLAIR et CONCARET, 1973)

II. Cadre structural général

II-1. Contexte structural régional des Monts de Tlemcen

La structure actuelle de l'Algérie du Nord est liée aux mouvements hercyniens et alpins qui ont permis l'individualisation de plusieurs domaines. En Oranie, nous avons du Nord au Sud : Le **domaine Tellien** ; le **domaine Tlemcénien** parfois qualifié de Meseta Oranaise ; le **domaine atlasique** qui correspond aux hautes plaines oranaises et celui de l'Atlas saharien (HAYANE, 1983).

Les Monts de Tlemcen ainsi que les reliefs qui les relaient vers l'Est forment une longue barrière orographique orientée grossièrement SW-NE. Cette structure est marquée par une tectonique variée : plis, faille et décrochement (BENEST, 1982 *in* GASMI et MEDJDOUBI, 2014).

La direction générale des grandes fractures est orientée WSW-ENE (direction tellienne). Le style tectonique général est de type cassant, avec quelques déformations souples qui marquent la présence de synclinaux et d'anticlinaux. Les failles sont subverticales et résultent de déformations du socle. Elles délimitent des horsts et des grabens, orientés N50°E à N70°E. (ABLAOUI, 2007 *in* AUCLAIR et BIEHLER, 1967).

❖ Les phases tectoniques

Selon M. Benest (1982, pp. 354-359), cinq phases tectoniques sont mises en évidence depuis L'Éocrétacé à une période récente :

- **Phase Éocrétacé** : Dans les Monts de Tlemcen, aucune discordance ne sépare les dépôts de plateforme carbonatée du Jurassique supérieur- Berriasien inférieur des faciès terrigènes transgressifs du Berriasien moyen et supérieur. Mais la subsidence durant le Jurassique supérieur et l'Éocrétacé y est largement contrôlée par le jeu ou le rejeu des grands accidents SW- NE, SE-NW et subméridiens hérités de l'orogénèse hercynienne (BENEST, 1981).
- **Phase Atlasique** : Cette phase correspond, dans les Monts de Tlemcen et des Daïas à des mouvements d'abord compressifs puis distensifs.

- **Les mouvements compressifs** donnent des plis d'orientation moyenne E-W à grand rayon de courbure tel qu'au niveau du Djebel-El-Arbi dans la région de Sebdou. (BENSAOULA, 1992).

- **Les mouvements distensifs** sont contrôlés par le jeu des grands accidents du socle. La fracturation s'est traduite par un système de failles conjuguées N55-80 et N140, responsables de la mise en place des principales structures : horst de Ghar-Roubane (Elmi, 1973), massif de Tinouchfi (Dubel, 1971), fossé de Sebdou et de la Tafna. (ABLAOUI, 2007).

➤ **Une importante phase de compression N-S à NW-SE avec un paroxysme miocène probable :**

Par comparaison avec la région des Traras, cette phase aurait débutée avec (ou avant ?) la mise en place des nappes et serait anté-Messinienne, (LUCAS 1942 ; GUARDIA 1975). Selon BENEST (1974), cette phase est à l'origine des grandes structures coulissantes et chevauchantes.

➤ **Une phase à dominante distensive** : En continuité avec la précédente, elle a contribué à la surrection de la plupart des reliefs actuels et a entraîné la régression pliocène, notamment dans la zone de Terny, antérieurement atteinte par la transgression du Miocène Supérieur (Doumergue, 1910).

Le jeu des failles préexistantes a généralement accentué le découpage en horsts et grabens.

➤ **Phase récente (Plio-Quaternaire)** : Elle se traduit par des mouvements synsédimentaires provoquent le jeu de décrochements dextres associés à des déformations plicatives (G. Thomas, 1985). Ces déformations n'ont pas l'ampleur de celles des phases précédentes (BENSAOULA, 1992 *in* ABLAOUI, 2007).

En résumé, le canevas structural a permis d'énumérer chronologiquement quatre principaux événements tectoniques. Il s'agit :

- d'une phase distensive éocène ;
- d'une phase atlasique (liée à des mouvements compressifs et distensifs) ;
- d'une phase de compression N-S à NW-SE avec un paroxysme miocène probable ;
- d'une phase à dominante distensive (marquée essentiellement par la régression pliocène dans la zone de Terni) (BENEST, 1985 *in* GASMI & MEDJDOUBI, 2014).

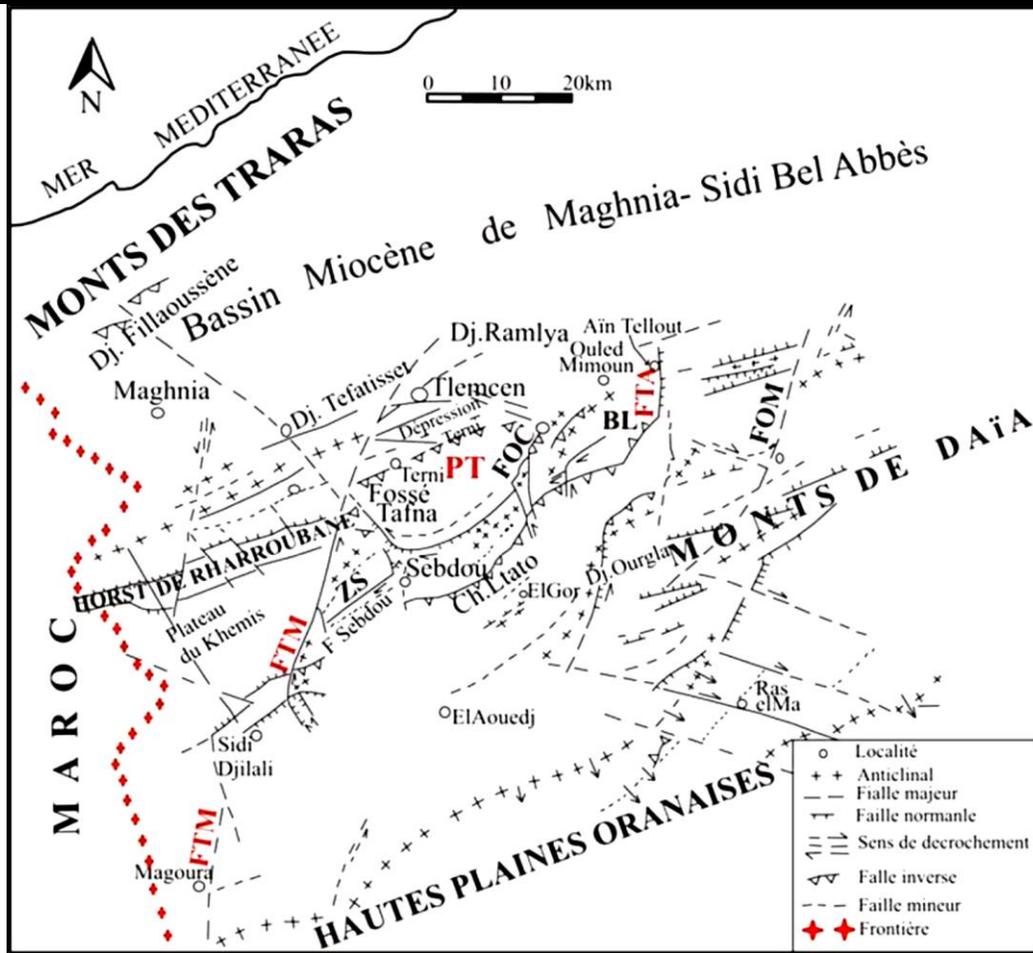


Figure 6 : Schéma structural des Monts de Tlemcen (BENEST, 1985 in GASMI et MEDJDOUBI, 2014)

II-2. Aspect structural de la zone d'étude

La structurale locale observée est l'empreinte de la structurale régionale. Les structures rencontrées dans le secteur d'étude ont été engendrées à partir des différents événements tectoniques ayant touchés les Monts de Tlemcen dans leur ensemble. Les déformations souples et cassantes ont été à l'origine de la formation de l'anticlinal d'Ouled Mimoun, des Djebels (par soulèvement de terrains) et des failles. Le sud d'Ouled Mimoun est marqué par un réseau de failles conjuguées de direction différente (figure 15). La direction dominante de la fracturation au sud d'Aïn Tellout est N120-N140 E (BENSAOULA, 1992).

❖ Les grandes structures

Localement six grandes structures sont distinguées d'Ouest en Est dans la région d'étude.

- **Le massif jurassique qui s'étend d'Aïn Témouchent à Sidi-Abdelly** : C'est un massif calcaéo-dolomitique d'âge Jurassique qui présente une tectonique cassante largement développée. Les pendages sont dans l'ensemble vers l'ouest ce qui permet l'affleurement des grès de Boumediene à l'Ouest et vers l'Est des dolomies de Terni (Figure 17).
- **Le secteur de l'oued Chouly** : Est un panneau d'effondrement séparé à l'Est de l'anticlinal d'Ouled Mimoun par un accident de direction SSW-NNE qui se prolonge plus au sud.
- **L'anticlinal d'Ouled-Mimoun** : Il s'étend depuis le sud d'Aïn Tellout et d'Ouled Mimoun jusqu'à la rive gauche de l'oued Chouly par une tectonique souple et est bordé par des accidents parfois chevauchantes qui se manifestent par des klippes vers le sud et dont la plus importante est celle du djebel Sidi-Hamza.
- **L'extension ouest du djebel Sandel** : L'anticlinal du djebel Sandel constitue par extension dans sa partie occidentale le massif du djebel Tassa qui présente un axe de direction WSW-ENE. Cet anticlinal est bordé au nord par une faille d'effondrement et au sud par un panneau effondré correspondant en partie au djebel Tizi.
- **La zone diapirique d'Aïn Tellout** : De faciès argilo-marneux, les remontées diapiriques sont liées à l'ouverture de fractures conjuguées orientées N 020 à N 070 et N 110 à N 140.
- **Le plateau de Sidi-Senouci** : C'est un vaste plateau à sédiments Mio-Pliocène et Quaternaires sous lesquels semble plonger le Jurassique qui affleure au djebel Sidi-Mouley-Abdelkader et dont la partie calcaéo-dolomitique constitue les massifs des Djebels El-Ramlya, Semoured et El-Abiod. Ce plateau est entaillé par la profonde vallée de l'oued Isser. (BENSAOULA, 1992).

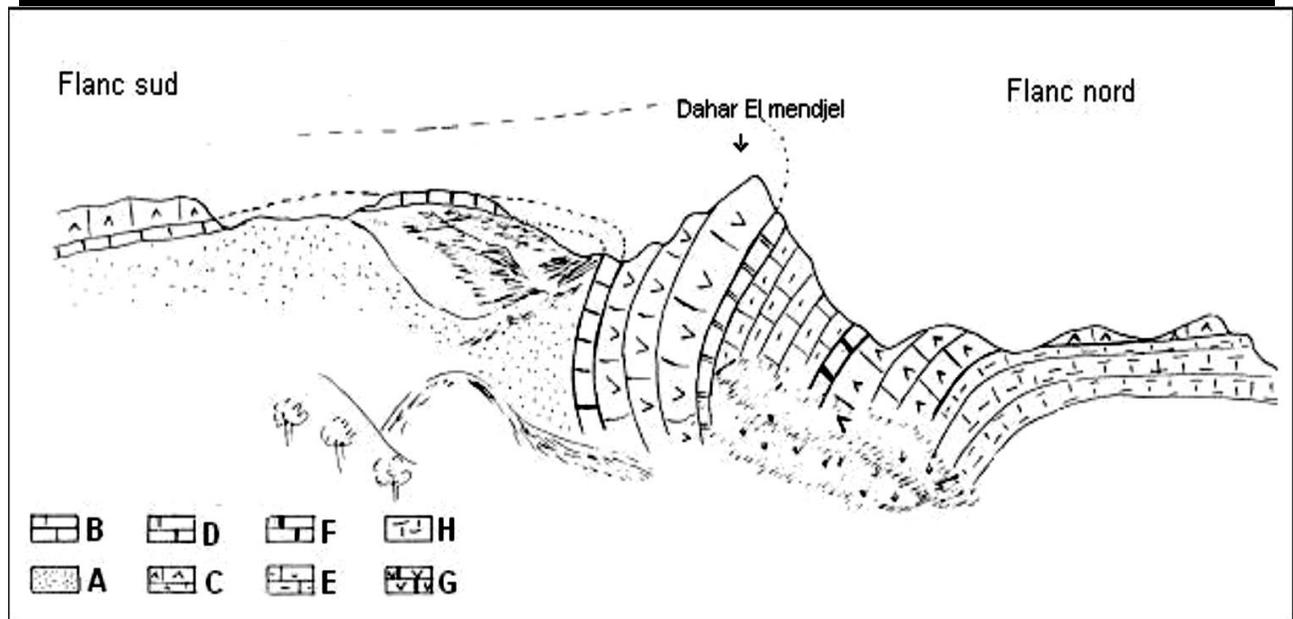


Figure 7 : L'Anticlinal d'Ouled Mimoun (A: Grès de Boumediene, B: Calcaire de Zarifet, C : Dolomie de Tlemcen, D : Calcaire de Stah, E : Marno-calcaire de Raouraï, F : Calcaire du Lato, G : Dolomie de Terni, H : Marno-calcaire de Hariga) (extrait de BENSAOULA, 1992).

PARTIE I : GÉNÉRALITÉS

CHAPITRE III : CONTEXTE HYDROGÉOLOGIE

I. Introduction

Dans l'ensemble des formations lithologiques vues précédemment, nous distinguons comme formations à capacité de rétention souterraine :

➤ D'une part, les séries Jurassiques des Monts de Tlemcen, en particulier les couches calcaréo-dolomitiques du kimméridgien inférieur et supérieur constituent des niveaux très perméables, d'un vaste impluvium, qui alimentent d'importantes résurgences.

➤ D'autre part, les niveaux grossiers de base du Cartennien (miocène inférieur) ou de l'Helvétien (Miocène moyen ou Serravalien) pouvant localement, par leur impluvium ou en jouant le rôle de drain, alimenter quelques sources. Aussi les formations plio-villafranchiennes couvrant de larges surfaces, peuvent alimenter des sources situées dans les points bas des chenaux de l'érosion plio-villafranchienne telles que : Aïn el Atrouss et Aïn Taslit en bordure du plateau des Abdellys, Aïn Boukoura en bordure du plateau d'Hennaya. (Notice de CLAIR et CONCARET, 1973)

II. Description des aquifères des Monts de Tlemcen

Nous présentons les différentes formations à capacité réservoir présentes dans les Monts de Tlemcen comme suite :

II-1. Formations perméables

Les seuls faciès qui peuvent être considérés comme perméables en grand sont représentés par les séries calcaréo-dolomitiques du Jurassique supérieur, les grès Tortoniens, les conglomérats du Miocène de la plaine d'Hennaya et les travertins.

II-1-1. Dolomies de Tlemcen

Avec les calcaires de Zarifet et les calcaires de Stah à porosité de fissure, constituent des aquifères intensément karstiques. Les nombreuses sources qui y émergent témoignent de son intérêt hydrogéologique, exemple : Aïn El Fouara,... (HAYANE, 1983).

II-1-2. Dolomies de Terni

Ces dolomies, en association avec les calcaires de Lato bordant, sont moins karstifiées par rapport aux dolomies de Tlemcen et calcaires associés. Plus micritiques, elles présentent de nombreuses passées stromatolithiques qui doivent faciliter les phénomènes de dissolution.

L'exutoire principal drainant cette nappe est Aïn Meharaz qui donne un débit moyen de 150 L/s (HAYANE, 1983).

II-1-3. Grés Tortoniens

Cet aquifère admet une porosité de fissures et d'interstices et d'où émergent par exemple les sources de Aïn Hennaya (1 L/s), Aïn Bou-Azzoune (0.5 L/s) plus d'autres résurgences de faible importance. (HAYANE, 1983)

II-1-4. Les travertins

Anciens et récents, ils sont caractérisés par une forte perméabilité mais ne présentent aucune réserve d'eau en raison de leur extension limitée.

II-1-5. Conglomérats du Miocène inférieur de la plaine d'Hennaya

Les conglomérats du miocène inférieur très fissurés, sont caractérisés par l'absence de réserve due à leurs faibles affleurements. Alors que les conglomérats de la plaine d'Hennaya très fissurés présentent aussi des zones cavernueuses où ils drainent les eaux alimentant Aïn Ouahab, Aïn Boukoura, Aïn Hallilifa, et Aïn Kahla. (HAYANE, 1983)

Age	Formations	Description hydrogéologique
	Quaternaire	Aquifère très perméable à semi-perméable
	Plio-Quaternaire	Aquifère poreux et fissuré avec une bonne perméabilité
Miocène	Les grès du Tortonien	Imperméable
	Les marnes avec de bancs de grès du Serravalien	
Crétacé basal	Les marno-calcaires d'Ouled Mimoun	Imperméable
	Les marno-calcaires de Hariga	Imperméable
Jurassique supérieur	Les Dolomies de Terni	Aquifère karstique à grande porosité de fissures et chenaux
	Les calcaires du Lato	
	Les marno-calcaires de Raourai	Imperméable
	Les calcaires de Stah	Aquifère karstique à grande porosité de fissures et chenaux
	Les dolomies de Tlemcen	
Les calcaires de Zarifet	Aquifère peu poreux parfois fissuré Perméabilité faible voire nulle	
Les grès de Boumédiène		
Callovo-oxfordien	les argiles de Saida	Imperméable
	Argiles gypseuses	Imperméable
Trias		

Figure 8 : Colonne hydrogéologique régionale (COLLIGNON, 1986 in ADAMOUC & TAÏBOU, 2019) (modifiée)

II-2. Formations imperméables ou peu perméables

Dans la nature, il n'existe pas de formations totalement imperméables mais des formations dont la perméabilité est plus ou moins importante. Nous considérons comme imperméables les niveaux à très faible perméabilité. Elles sont constituées par le reste de la série des Monts de Tlemcen. Cependant, certaines formations peuvent former localement des niveaux perméables mais sans un réel intérêt hydrogéologique (voir la description lithostratigraphique et la colonne hydrogéologique).

La coupe de la figure 19, résumant les principaux types d'aquifères, montre trois grands types d'aquifères présents dans les Monts de Tlemcen qui sont :

- Les aquifères « perchés », entièrement limités par des terrains imperméables ;
- Les aquifères à plongement Nord, sous les terrains miocènes ;
- Les aquifères à plongement Sud, sous les conglomérats des Hauts plateaux (COLLIGNON, 1986).

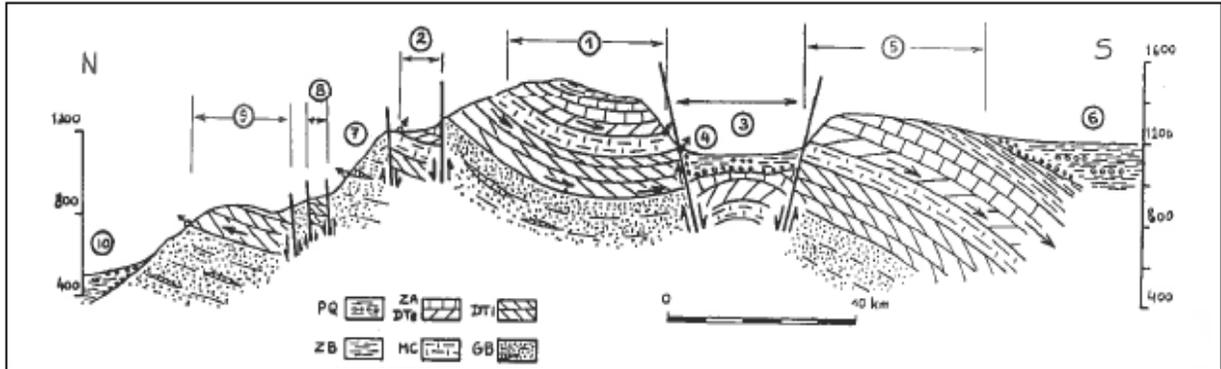


Figure 9 : Coupe Transversale des Monts de Tlemcen, illustrant les principaux types d'aquifères de la région (in COLLIGNON, 1986)

Légende

GB : grès de Boumédiène

DTI : dolomies de Tlemcen

MC : marno-calcaires de Raourai

DTe : dolomies de Terni

ZA : marno-calcaires de Hariga

ZB : marno-calcaires d'Ouled Mimoun et grès de Merchiche

PQ: Conglomérats de la plaine d'Hennaya ou des Hautes plaines

- 1) Le karst perché du synclinal du Merchiche
- 2) Le karst perché du Meffrouch.
- 3) Le fossé de Sebdou dépourvu d'aquifère superficiel.
- 4) Source jaillissant au niveau des vallées qui suivent les grands fossés.
- 5) Le Djebel Lato, un exemple de karst à flux souterrain dirigé vers les Hautes plaines
- 6) Les hautes plaines dépourvues d'aquifère superficiel.
- 7) La forêt de Zarifet s'étend sur les grès de Boumédiène. Quelques petites sources jaillissent, souvent à la faveur des bancs calcaires.
- 8) Le petit fossé de Mansourah, avec un aquifère très transmissif mais une alimentation très réduite.
- 9) Le Djebel Teffatisset : ce karst s'ennoie progressivement sous les dépôts miocènes quelques kilomètres plus à l'Est.
- 10) Plaine à recouvrement marneux miocène

III. Identification des aquifères du secteur d'étude

Cette description tirée des travaux de BENSAOULA (1992) est basée sur des observations de surface faites au niveau des affleurements jurassico-crétacés, l'étude de cuttings de forages suivis, des données de forages anciens interprétées et sur l'étude des déblais de puits foncés sur le plateau de Aïn-Nehala.

Pour la caractérisation hydrogéologique, nous avons classé les formations selon leur aptitude à contenir une nappe d'eau : Les terrains à grande perméabilité, les terrains à perméabilité moyenne, et les terrains à faible perméabilité.

III-1. Les terrains à grande perméabilité :

➤ Dolomies de Tlemcen :

De même que les dolomies de Terni, elles sont très karstifiées, fissurées et fortement perméables avec une grande ressource en eau.

Collignon en 1986 dans sa thèse conclue que les calcaires que ce soient de Zarifet ou de Lato sont plus productifs que les niveaux dolomitiques.

➤ Dolomies de Terni :

Il s'agit d'une formation fissurée et fortement karstifiée possédant une très grande perméabilité.

➤ Les formations Quaternaires :

Elles constituent localement, par les alluvions récentes, de bons aquifères mais le plus souvent de faible importance. Les lentilles qu'elles renferment peuvent aussi fournir, localement, de très bons débits comme dans la zone de Ramla sur la rive droite de l'oued Isser et la zone de Bédrabine. Quant aux conglomérats de cette zone, ils présentent des valeurs de transmissivité variant de $2 - 3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ à $10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ et un coefficient d'emménagement de 0.1. Ainsi elles possèdent d'importante ressource en eau.

III-2. Les terrains à perméabilité moyenne

➤ Marno-calcaires d'Ouled Mimoun :

La formation ne présente pas d'aquifère important cependant elle possède une perméabilité moyenne dans sa partie grossière. Les bancs gréseux sont parfois aquifères dans le secteur nord de Chétouane.

➤ **Alluvions du pliocène :**

D'épaisseur variable et à extension hétérogène, ce conglomérat est un aquifère lorsqu'il présente une fissuration ou une karstification. Il alimente toutes les sources situées sur les deux rives de l'oued Isser notamment, les sources telles que Aïn Taslit, Aïn el Atrouss, Aïn el Berkouk, etc. Ils présentent, dans le côté Est du village de Ramla une transmissivité de $5.10^{-4} - 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ avec un coefficient d'emmagasinement de 0.1.

III-3. Les terrains à faible perméabilité ou à perméabilité nulle

➤ **Formations du Trias :**

Ces formations de nature imperméable ne présentent pas d'aquifère mais peuvent intervenir dans la chimie des eaux par leur nature lithologique.

➤ **Argiles de Saïda :**

Elles constituent le substratum imperméable de l'ensemble des formations du dessus peu perméable ou très perméable.

➤ **Grés de Boumediene (Jurassique supérieur) :**

Dans l'ensemble très peu perméable à nulle à cause de leur intercalation avec des bancs de marnes, ces grés admettent de mauvaises caractéristiques hydrodynamiques mais peuvent voir leur perméabilité améliorée localement lorsqu'ils ne présentent pas des lits marneux et leur épaisseur devient importante (présentant une porosité d'interstice et de fissure).

➤ **Marno-calcaires de Raouraï**

La formation est relativement imperméable. Elle présente une certaine perméabilité horizontale dans la partie altérée des couches calcaires. Verticalement, la série est imperméable et joue le plus souvent le rôle d'un écran étanche entre les dolomies de Terni et celles de Tlemcen.

➤ **Marnes Helvétiennes (Sérravaliennes ou miocène moyen) :**

Dans l'ensemble constituent le substratum imperméable de l'aquifère plio-quadernaire. Les bancs gréseux qu'elles contiennent sont très (dans la région de Remchi et Fehoul), peu ou pas aquifères (KERZABI, 2008).

Pour conclure, nous pouvons dire que seules les dolomies de Tlemcen et les dolomies de Terni constituent d'énormes réservoirs d'eau souterraine donc les plus intéressantes d'un point de vue régional et cela en raison de leur grande épaisseur et leur grande perméabilité (porosité de fissures et de chenaux).

PARTIE II : ÉTUDE QUALITATIVE

CHAPITRE I : PRÉSENTATION DES DONNÉES

I. Présentation des données

La qualité d'une eau souterraine est caractérisée par un certain nombre de paramètres physiques et chimiques qui s'ajoutent à des paramètres microbiologiques qu'elle acquiert lors de son transport et de son stockage dans les formations aquifères ou par l'infiltration d'éléments extérieurs.

Ce chapitre sera consacré à la présentation de la méthodologie utilisée et à une évaluation de la fiabilité des analyses recueillies.

I-1. Les normes de qualité

L'appréciation de la qualité d'une eau se base sur la mesure de paramètres physiques et chimiques ainsi que sur la présence ou l'absence d'organismes et de microorganismes aquatiques (DEVILLERS et al, 2005). La qualité d'une eau se définit, en plus des paramètres physico-chimiques et biologiques, par son utilisation. Ces normes correspondent à des valeurs de référence prescrites par les autorités locales Algériennes.

I-2. Les paramètres indicateurs de la qualité

La qualité d'une eau est caractérisée d'un point de vue physique, chimique et biologique. Le terme de qualité se pose essentiellement, au sein des programmes humanitaires, en termes de consommation humaine et d'irrigation. L'étude de la chimie des eaux permet d'identifier les faciès chimiques des eaux, leur qualité de potabilité, ainsi que leur aptitude à l'irrigation. Elle permet de suivre aussi l'évolution spatiale des paramètres physico-chimiques et d'estimer leur origine en les corrélant avec la géologie et la piézométrie (BAHIR et al, 2003).

Les moyens usuels pour estimer la qualité des eaux sont les suivants :

- Les analyses physiques et chimiques
- L'enquête sanitaire ajoutée aux analyses bactériologiques pour la recherche d'une pollution fécale.

Les indicateurs relatifs à la caractérisation du milieu des eaux souterraines, c'est-à-dire connaître son aspect chimique avant exploitation ou définir son aptitude à l'irrigation, sont les suivants (ReFEA 2000) :

Pour la caractérisation du milieu « eau souterraine », on a :

- Le pH
- La température
- La conductivité
- Les cations et anions
- Et les éléments en traces

Pour l'aptitude en vue de caractériser à l'irrigation, on distingue :

- La conductivité
- Les cations

II. Méthode et moyens

Pour réaliser cette étude qui est principalement basée sur l'interprétation du comportement qualitatif des eaux souterraines de la région d'Ouled Mimoun (figure 20), un ensemble d'analyses physico-chimiques et bactériologiques ont été réalisés par le laboratoire d'analyse de l'Algérienne Des Eaux (ADE) de la wilaya de Tlemcen. Ces analyses ont été effectuées sur plusieurs prélèvements de points d'eau (forages et sources) de l'année 2009 à l'année 2020. Le but principal de ces analyses n'étant autre que d'approvisionner en eau potable la population locale ou avoisinante, cette étude nous permettra d'appréhender au mieux l'aspect qualitatif de ces eaux tant pour la consommation que pour l'irrigation.

Pour cela, nous allons appliquer la méthode du rapport de Conductivité (CE/100) aux résultats des analyses physico-chimiques réalisés pour les paramètres tels que : les cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+), les anions (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_2^-), le pH et la conductivité. Les ions calcium (Na^+) et potassium (K^+) étant absents parmi les données des analyses, cette méthode du rapport de conductivité va servir à vérifier la fiabilité de l'analyse avant toute utilisation de données dans notre interprétation. Elle donnera dans la plupart des cas une bonne estimation de la qualité de l'analyse (APPELO et POSTMA, 2005).

Ce travail consistera tout d'abord à présenter l'évolution spatio-temporelle des paramètres physico-chimiques, ensuite nous effectuerons une comparaison des données avec les normes de potabilité algériennes prescrites dans le JORA (Journal Officiel de la République Algérienne) et pour enfin évaluer l'aptitude de ces eaux à la consommation et à l'irrigation. Ainsi, des représentations graphiques feront l'objet de cette étude.

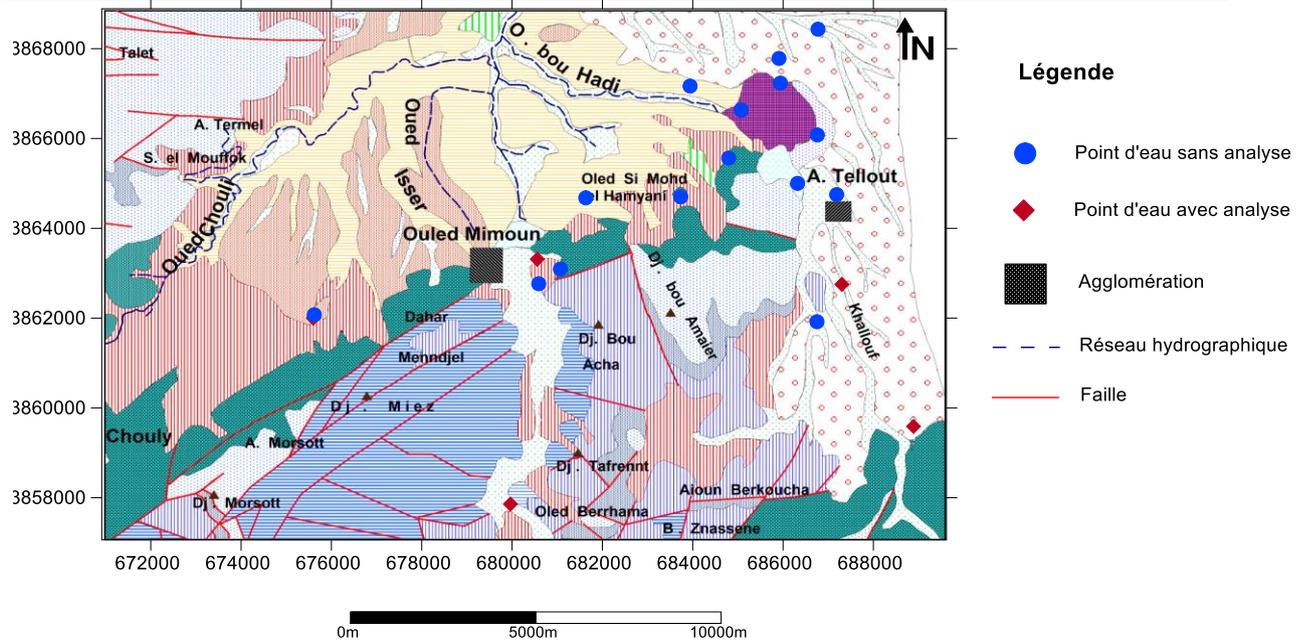


Figure 10 : Carte de position des points d'eau dans le secteur d'étude

II-1. Vérification des analyses

La fiabilité de l'analyse sera évaluée en utilisant la méthode du rapport de conductivité. Cette méthode est la seule à notre disposition pour vérifier la pertinence des analyses et éliminer les données erronées pour une bonne évaluation du traitement.

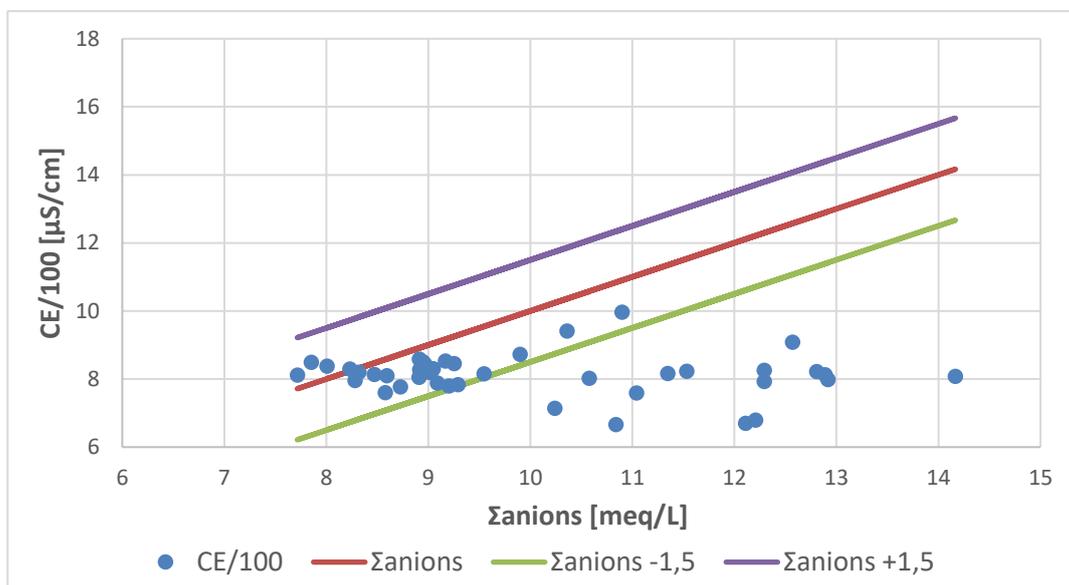
Principe : L'exécution de cette méthode consiste à effectuer le rapport de la conductivité électrique par la valeur 100, ce qui nous permettra de déduire l'état des analyses selon les résultats obtenus. Si on a :

- $CE/100 = \Sigma \text{ anions}$ ou $CE/100 = \Sigma \text{ cations}$ \longrightarrow Bonne analyse
- $CE/100 < \Sigma \text{ anions}$ ou $CE/100 < \Sigma \text{ cations}$ \longrightarrow Une sur-estimation de la concentration des éléments majeurs.

La validation des analyses et la réalisation des graphes, s'effectue comme suit :

- La présentation du rapport $CE/100$ sur l'axe des (y) en fonction de $\Sigma \text{ anions}$ (par manque de certains ions positifs) sur l'axe des (x), cela nous permet de visualiser la dispersion du nuage de points au tour de la droite $CE = \Sigma \text{ anions}$ (unité en meq/l).
- La réalisation des droites $(\Sigma r^- (+1.5))$ et $(\Sigma r^- (-1.5))$ comportes en abscisse $\Sigma \text{ anions}$ et en ordonné $(\Sigma \text{ anions} \pm 1.5)$.

- L'obtention de l'intervalle où le rapport CE/100 et la somme des anions sont bien corrélés signifie que l'analyse est bonne, en dehors de ces deux droites les analyses ne sont pas acceptables.



Graph 3 : Graphe de validation des données.

Le graphe 3 montre une plus grande concentration de points d'eau à l'intérieur de l'intervalle d'acceptation. Les analyses acceptables retenues sont données dans le tableau 2 ci-après :

Tableau 2 : Classification des points d'eau suivant les analyses physico-chimiques du secteur d'étude

Année	Analyses acceptables	Mauvaises analyses
2009		Source Bent Soltan ; Forage Walout ; Forage Tahmoumin ; Forage Ouled Mimoun
2010		Source Bent Soltan ; Forage Walout ; Forage Walout 2 ; Forage Ouled Mimoun ; Forage Tahmoumin
2011	Forage Benmeddah ; Forage Walout ; Forage Tahmoumin	Source Bent Soltan
2012		Forage Walout ; Forage Walout 2 ; Forage Tahmoumin ; Source Bent Soltan ; Forage Benmeddah
2013	Source Bent Soltan ; Forage Taghzout ; Forage Tahmoumin	
2014	Forage Tahmoumin ; Source Bent Soltan ; Forage Benmeddah	
2015	Forage Walout Forage ; Tahmoumin ; Forage Benmeddah ; Source Bent Soltan	
2016	Source Bent Soltan ; Forage Benmeddah	
2017	Forage Benmeddah ; Source Bent Soltan ; Forage Tahmoumin	
2018	Forage Walout ; Forage Tahmoumin ; Forage Benmeddah Source Bent Soltan	
2019	Forage Benmeddah ; Forage Tahmoumin ; Source Bent Soltan	
2020	Forage Taghzout ; Forage Walout ; Source Bent Soltan	

PARTIE II : ÉTUDE QUALITATIVE

CHAPITRE II : TRAITEMENT DE DONNÉES

I. Traitement de données

La qualité d'une eau souterraine est l'appréciation de la concentration des différentes substances chimiques qui la composent vis-à-vis des concentrations de référence.

Après la validation de la fiabilité des données, nous allons procéder à une présentation des éléments avant de passer à l'évaluation de la qualité des eaux.

II. Paramètres caractéristiques et aptitude à la consommation (potabilité)

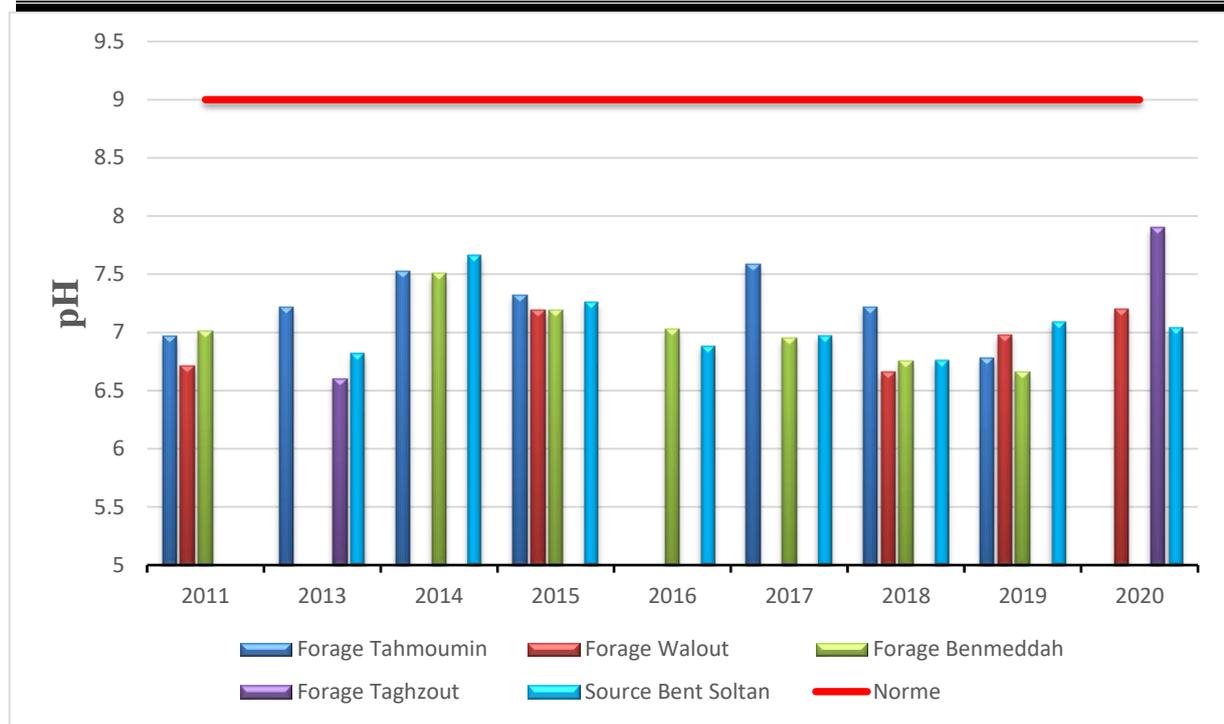
Les différents histogrammes qui suivent représentent l'évolution spatio-temporelle des éléments physiques et chimiques des eaux souterraines de notre zone d'étude sur une durée de 8 ans.

II-1. Paramètres physiques

II-1-1. Le pH (Potentiel d'hydrogène)

Le pH de l'eau informe sur son acidité et son alcalinité. C'est un important paramètre opérationnel de la qualité de l'eau. L'eau pure a un pH de 7, mais selon l'environnement la concentration en hydrogène peut varier. Normalement, ces variations n'ont pas d'impact sur la santé du consommateur (OMS, 2017). Les normes prescrites pour la réglementation locale en matière de potabilité de l'eau recommandent un pH qui se situe entre 6,5 et 9 (JORA, 2014).

D'après les résultats des analyses du graphe 4, les valeurs du pH des eaux varient très peu entre elles avec un maximum de 7.9 enregistré dans le forage Taghzout en 2020 et un minimum de 6.66 observé aux forages Benmeddah en 2019, Walout en 2018 et Taghzout en 2013.

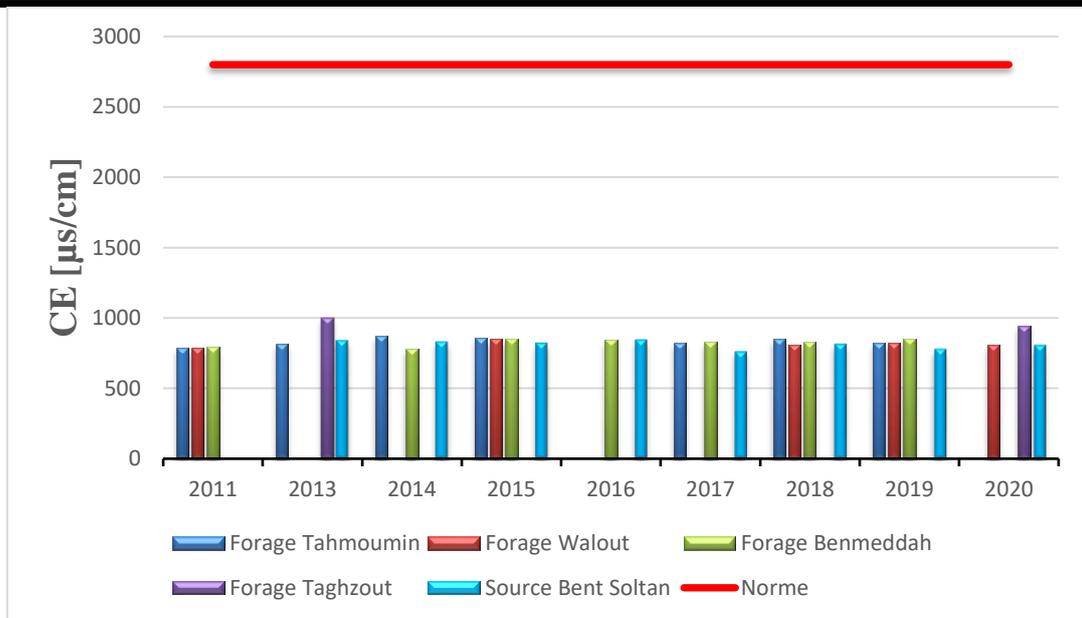


Graph 4 : Variation spatio-temporelle du pH.

II-1-2. La Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique indique la capacité de l'eau à conduire un courant électrique. Elle permet d'apprécier le degré de minéralisation de l'eau dans la mesure où la plupart des sels dissous dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement (RODIER et al., 2009). La norme fixée en Algérie pour l'eau potable est de 2800 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (JORA 2014).

Les valeurs de la conductivité (graphe 5) sont toutes inférieures à la norme, avec un maximum de 996 $\mu\text{s}/\text{cm}$ enregistré en 2013 au niveau du forage Taghzout et un minimum de 760 $\mu\text{s}/\text{cm}$ enregistré en 2017 au niveau de la source Bent Soltan. D'après la classification des eaux de Rodier et al. (2009), les eaux d'Ouled Mimoun possèdent une minéralisation assez élevée (importante) avec des concentrations en sels dissoutes très proches.



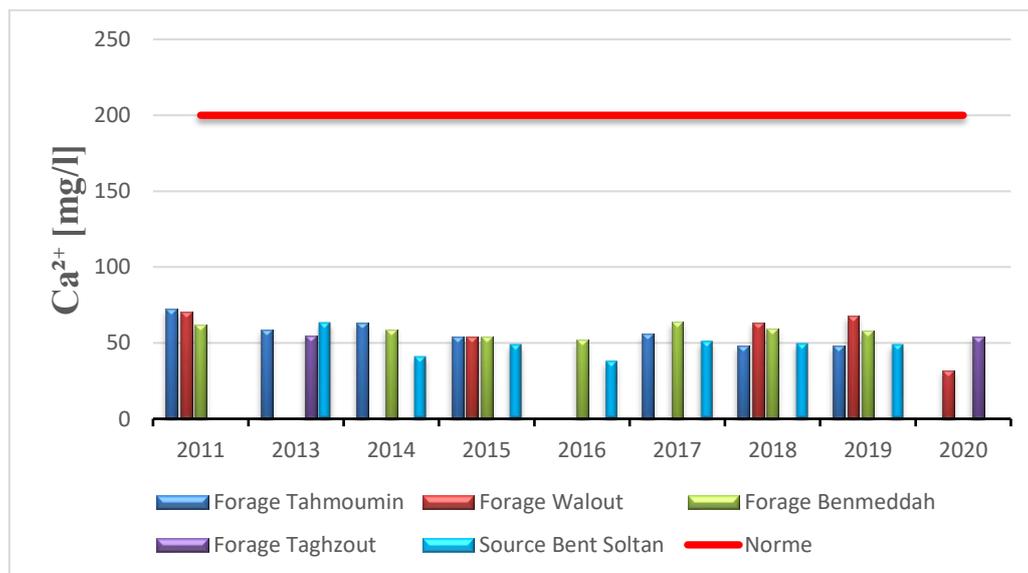
Graph 5 : Variation spatio- temporelle de la conductivité.

II-2. Paramètres chimiques :

II-2-1. Le Calcium (Ca^{2+})

Il est généralement l'élément dominant des eaux potables et sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés (terrains calcaire, gypseux ou dolomitique) (RODIER et al.). Selon le JORA 2014, la valeur limite est de 200 mg/L.

Les teneurs en calcium sont inférieures à la norme avec un minimum de 32 mg/L observé en 2020 au niveau du forage Walout et un maximum du 72.4 mg/L observé en 2011 au forage Tahmoumin.

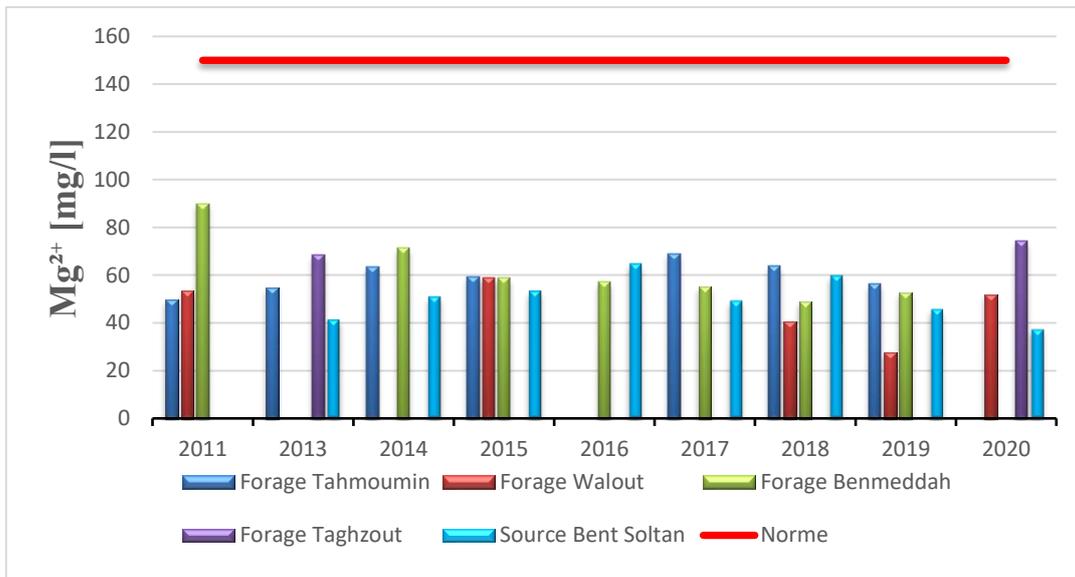


Graph 6 : Variation spatio- temporelle de l'ion calcium.

II-2-2. Le Magnésium (Mg^{2+})

Le magnésium est présent naturellement dans les eaux souterraines et de surface. Il provient de la dissolution de la dolomie qui est un carbonate de magnésium et constitue le deuxième élément significatif de la dureté de l'eau après le calcium (CASAO, 2018 et ADDA, 2013). Sa norme est de 150 mg/L (norme de l'OMS).

Le magnésium est présent dans les eaux de la zone d'étude avec une teneur maximale de 90 mg/L observé en 2011 au forage Benmeddah et un minimum de 27.6 mg/L observé en 2019 au forage Walout. Ces teneurs sont inférieures également à la norme admise par l'OMS pour le magnésium, qui est de 150 mg/L.

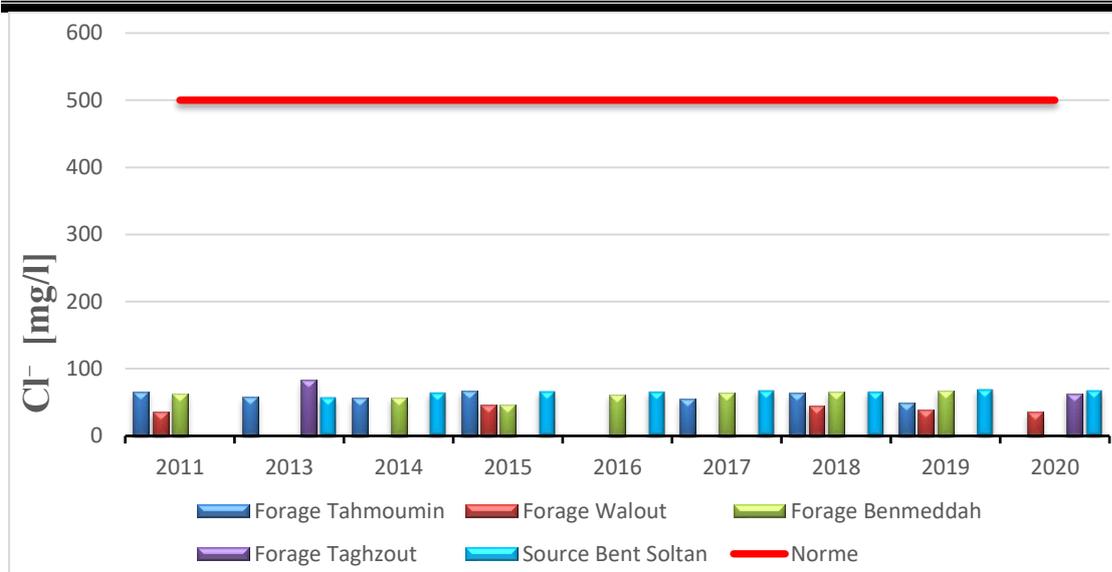


Graph 7 : Variation spatio- temporelle du l'ion magnésium.

II-2-3. Les chlorures (Cl⁻)

Ces éléments sont très répandus dans la nature. Leur teneur dans les eaux est très variable et liée principalement à la nature des terrains traversés (KAHOUL et TOUHAMI, 2014).

Les valeurs des teneurs en chlorures pour l'ensemble des eaux sont très faibles par rapport à la limite fixée. La teneur maximale enregistrée est de 83.4 mg/L pour le forage Taghzout en 2013 avec un minimum de 35.45 mg/L au forage Walout en 2019, ce qui est certainement sans danger pour la consommation car la norme est de 500 mg/L (JORA 2014). Aussi, les concentrations observées pour chacun des points d'eau varient très peu au cours des différentes années.

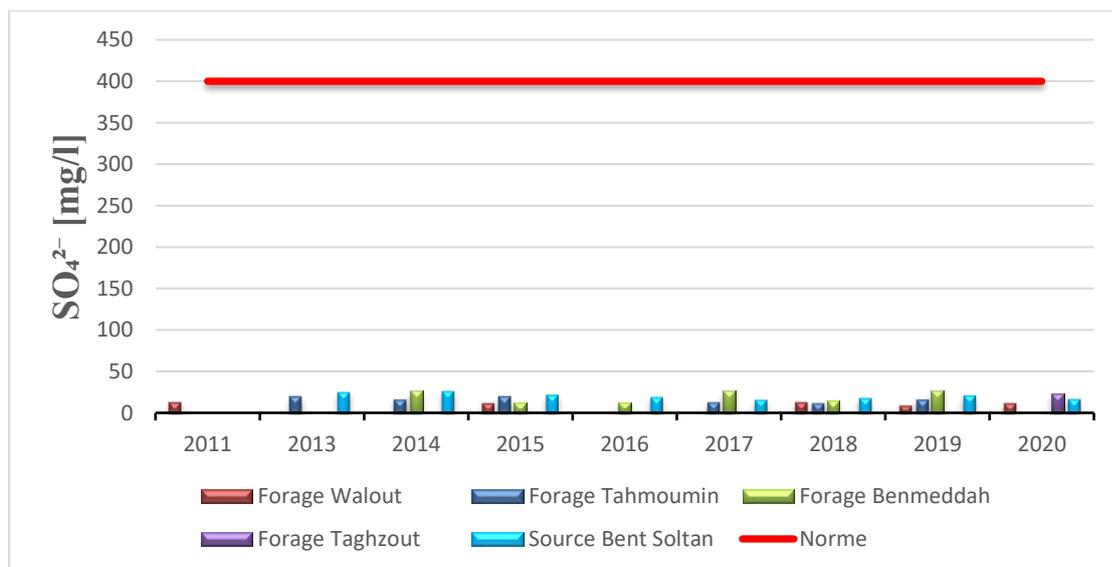


Graph 8 : Variation spatio-temporelle de l'ion chlorure.

II-2-4. Le Sulfate (SO_4^{2-})

Par dissolution de certains minéraux, particulièrement du gypse, la présence des sulfates dans l'eau de boisson peut lui conférer un goût perceptible. À des niveaux très élevés, les sulfates peuvent avoir un effet laxatif chez des consommateurs non habitués (OMS, 2017).

Dans les eaux étudiées, les valeurs de ce paramètre sont comprises dans la tranche de 0-50 mg/L. En 2019, le minimum enregistré au forage Walout est de 9 mg/L contre un maximum de 27 mg/L enregistré au niveau du forage Benmeddah pour les années 2017 et 2019. L'ensemble de ces teneurs sont négligeables par rapport à la valeur de la norme qui est de 400 mg/L (JORA 2014).



Graph 9 : Variation spatio-temporelle de l'ion sulfate.

II-3. Paramètres indicateurs de pollution

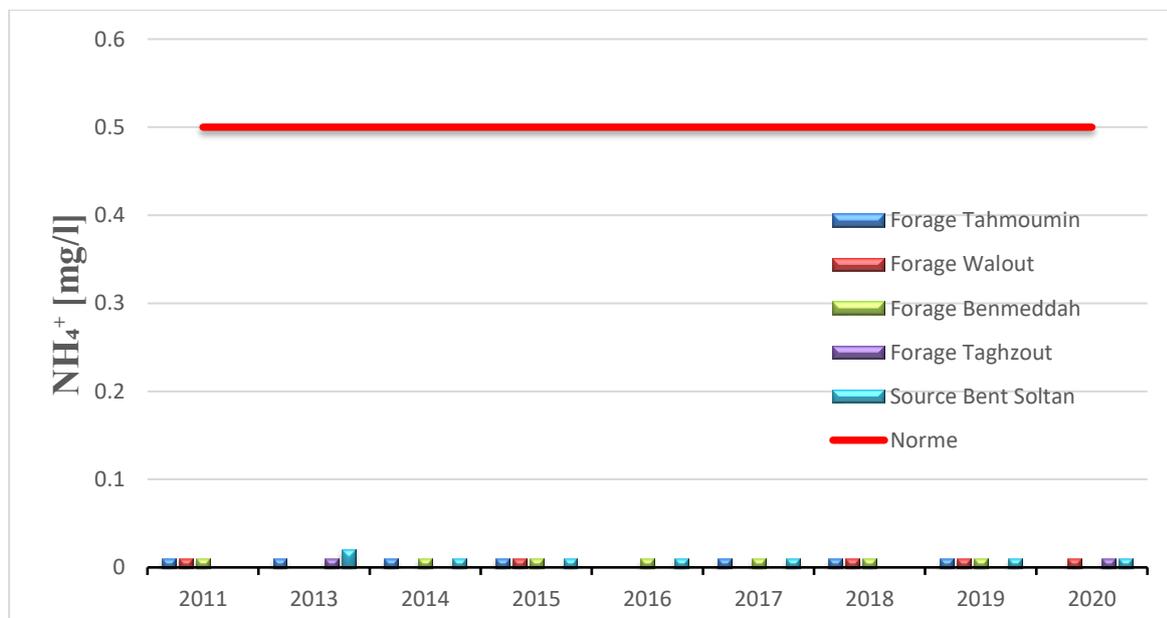
Une eau ne doit pas renfermer d'organismes pathogènes ou du moins en quantité susceptible de provoquer une certaine maladie chez des personnes (ADDA, 2013). Afin d'évaluer la contamination des eaux, le résultat des analyses réalisées a montré deux sources de pollution tant sur le plan chimique que bactériologique. Ainsi nous avons :

II-3-1. Contaminants chimiques

➤ Ammonium (NH_4^+)

L'ammonium est présent naturellement dans l'eau brute, souvent en dessous de 0,2 mg/L. Une concentration supérieure à 1,5 mg/L peut donner une odeur distincte. Des niveaux plus élevés d'ammonium dans l'eau peuvent indiquer une contamination par l'agriculture ou les eaux usées. Sa présence dans l'eau traduit un processus de dégradation incomplète de la matière organique (selon le laboratoire d'analyses de Lozère et CASAO, 2018). Il doit être éliminé des eaux de consommation car sa présence favorise la prolifération des bactéries dans les réseaux de distribution (JEAN J-C, 2002).

Face aux valeurs obtenues, les ions ammoniums sont presque inexistantes dans les eaux d'Ouled Mimoun. Les concentrations enregistrées sont de 0.01 mg/L au niveau de tous les points d'eau excepté la source Bent Soltan où la valeur est de 0.02 mg/L en 2013. Ces valeurs restent inférieures à la valeur admissible par la norme algérienne qui est de 0.5 mg/L.

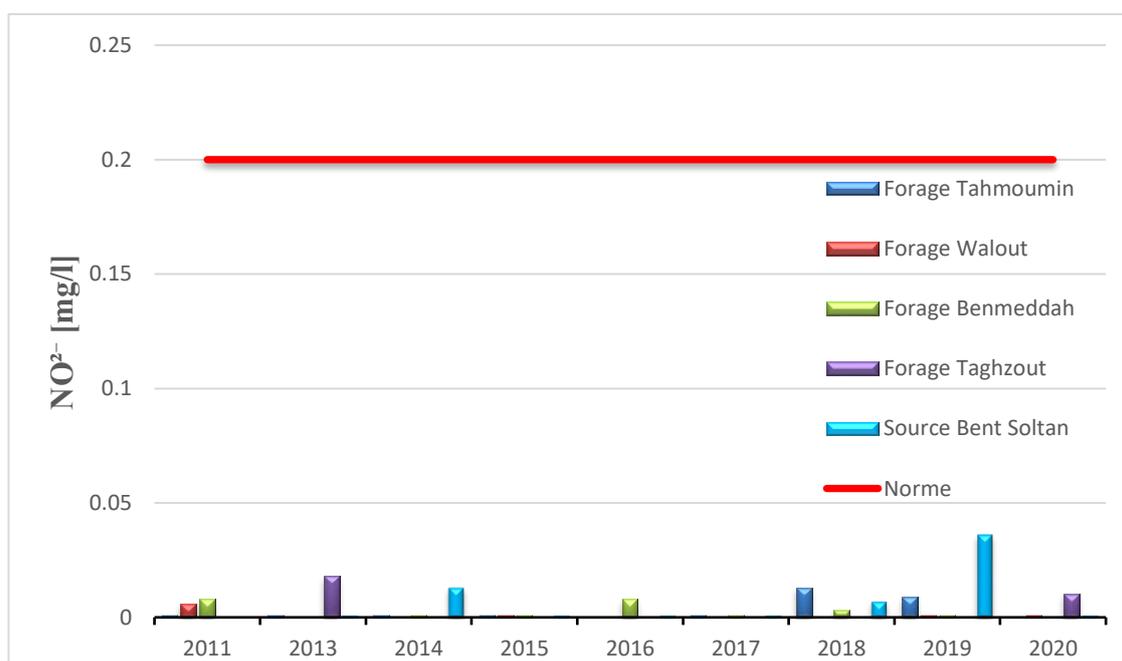


Graph 10 : Variation spatio- temporelle de l'ammonium.

➤ Nitrite (NO_2^-)

Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiante. Une eau qui renferme des nitrites est à considérer comme suspecte (selon le laboratoire d'analyses de Lozère).

Le graphe représentatif de la teneur du nitrite dans les eaux de la région d'étude, montre des concentrations très faible voire nulle pour la majorité des points d'eau. Cependant une variation des données est observée avec un maximum de 0.036 mg/L enregistré au niveau de la source Bent Soltan en 2019 et un minimum de 0.001. Toutefois, les eaux présentent des concentrations inférieures à la norme algérienne (0.2 mg/L).



Graph 11 : Variation spatio-temporelle du nitrite.

II-3-2. Contaminants bactériologiques

➤ Les coliformes totaux :

Ce sont des bactéries dont la présence dans l'eau peut signifier une contamination fécale et donc indiquer une infiltration des eaux de surface dans la nappe (ADDA, 2013).

➤ Les coliformes fécaux (thermotolérants) :

La présence de coliformes fécaux (*Escherichia Coli*) signale la présence de matières fécales en provenance des latrines ou des eaux usées (BALLOY MWANZA et al., 2019).

➤ Les streptocoques fécaux :

Ce groupe de bactéries est un indicateur de contamination fécale principalement à travers les entérocoques intestinaux (OMS, 2017).

Tableau 3 : Tableau récapitulatif des différentes analyses microbiologiques des eaux du secteur d'étude.

	Absence de pollution	Pollution fécale		
		Streptocoques fécaux (n/100mL)	Coliformes fécaux (n/100mL)	Coliformes totaux (n/100mL)
		Normes Algériennes		
Année		0	0	0
2011	F. Benmeddah, F. Walout et F. Tahmoumin			
2013	F. Tahmoumin et S. Bent Soltan			F. Taghzout
2014	F. Benmeddah, S. Bent Soltan			
2015	et F. Tahmoumin			
2016			F. Benmeddah	F. Benmeddah et S. Bent Soltan
2017	F. Tahmoumin et F. Benmeddah	S. Bent Soltan		
2018	F. Walout, S. Bent Soltan et F. Benmeddah		Forage Tahmoumin	
2019	F. Walout et F. Benmeddah	S. Bent Soltan		
F = Forage ; S = Source				

Les eaux du forage Tahmoumin (2018 et 2019), de la source Bent Soltan (2016, 2017 et 2019), du forage Taghzout (2013) et du forage Benmeddah (2016), par la présence de germes pathogènes, sont les seules eaux biologiquement polluées.

II-4. Discussion des résultats

- Les résultats obtenus pour le pH oscillent entre 6.66 et 7.9, ces valeurs indiquent la présence d'eaux acide et basique se situant dans l'intervalle de la valeur admise qui est de 6,5 à 9.
- La conductivité présente des valeurs comprises entre 760 $\mu\text{s/cm}$ et 966 $\mu\text{s/cm}$ qui sont considérablement inférieures à la norme prescrite (2800 $\mu\text{s/cm}$). Selon la classification de RODIER (2009), l'ensemble des eaux souterraines possèdent une importante minéralisation.
- Les concentrations en calcium variant entre 32 mg/L et 72.4 mg/L, répondent à la norme de potabilité algérienne de 200mg/L ;

- Pour le magnésium, les teneurs oscillent entre 27.6 mg/L et 90 mg/L. Ces concentrations sont toutes admissibles par rapport à la valeur guide (150 mg/L).
- Par leur faible valeur, les concentrations du chlorure présentent un écart considérable vis-à-vis de la valeur limite fixée à 500 mg/L. Elles varient entre 35.45 mg/L et 83.4 mg/L.
- Le sulfate présent dans les eaux est très faible et varie de 9 mg/L - 27 mg/L par rapport à une valeur de 400 mg/L édictée par la norme de potabilité.
- Les résultats d'ammonium enregistrés admettent des valeurs de 0.01mg/L à 0.02 mg/L contre 0.5 mg/L. De ce fait, tous les points d'eau sont conformes.
- Et les nitrites qui donnent une teneur maximale de 0.036 mg/L contre 0.2 mg/L de valeur limite.
- On note aussi la présence d'un certain nombre de coliformes totaux (1 à 12 n/100mL), de coliformes fécaux (1 à 9 n/100mL) et de streptocoques fécaux (10 à 30 n/100mL) identifiés comme des germes pathogènes indiquant une contamination des eaux par les matières fécales d'origine animale ou humaine.

En se référant aux résultats obtenus, les eaux souterraines d'Ouled Mimoun présentent dans l'ensemble de bonnes caractéristiques physico-chimiques au regard des valeurs guides édictées dans le journal officiel de la république algérienne (JORA, 2011 et 2014) relatif aux paramètres de la qualité de l'eau de consommation humaine. Par contre la présence de germes bactériens dans une portion de ces eaux fait que celle-ci soit biologiquement polluée.

Les résultats retenus des analyses physico-chimiques effectuées sur les eaux souterraines d'Ouled Mimoun (notre secteur d'étude) sont uniquement évalués par rapport aux normes de potabilité algériennes (JORA 2011 et 2014).

Le tableau de classement ci-dessous définit le type d'eau rencontré dans chacun des points d'eau suivant les différentes années de prélèvements.

Tableau 4 : Classification des eaux suivant les normes Algériennes

Année	Points d'eau	Paramètres	pH	C.E ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	Streptocoques fécaux (n/100mL)	Coliformes fécaux (n/100mL)	Coliformes totaux (n/100mL)
		Normes	6.5-9	2800	200	150	0.5	500	400	0.2	0	0	0
2011	F. Tahmoumin												
	F. Walout												
	F. Benmeddah												
2013	F. Taghzout												
	F. Tahmoumin												
	S. Bent Soltan												
2014	F. Benmeddah												
	S. Bent Soltan												
	F. Tahmoumin												
2015	S. Bent Soltan												
	F. Benmeddah												
	F. Tahmoumin												
2016	S. Bent Soltan												
	F. Benmeddah												
2017	F. Tahmoumin												
	F. Benmeddah												
	S. Bent Soltan												
2018	S. Bent Soltan												
	F. Benmeddah												
	F. Walout												
2019	F. Tahmoumin												
	F. Benmeddah												
	F. Walout												
2020	S. Bent Soltan												
	F. Tahmoumin												
	F. Taghzout												
2020	F. Walout												
	S. Bent Soltan												
	F. Tahmoumin												

S : Source ; F : Forage

III. Aptitude des eaux à l'irrigation

Les eaux souterraines destinées à l'irrigation des cultures sont soumises à une restriction d'usage car elles doivent répondre à certaines normes de qualité. Par leur composition chimique, les eaux d'irrigation peuvent avoir une influence de salinisation sur le sol et les cultures. Cependant, il est nécessaire de minimiser les risques de salinisation qu'elles peuvent provoquer sur les sols.

Pour cela, une comparaison des valeurs de la conductivité, des chlorures et du pH s'effectuera avec les valeurs guides de référence.

III-1. La conductivité : La qualité des eaux pour l'irrigation dépend de sa conductivité électrique qui permet d'évaluer sa teneur en sels dissous.

Le tableau 5 montre que toutes les eaux souterraines du secteur d'étude sont des eaux d'une qualité médiocre mais utilisables pour l'irrigation.

Tableau 5 : Qualité de l'eau en fonction de la conductivité électrique (TOUHARI, 2015).

Conductivité électrique (exprimée en $\mu\text{S/cm}$)	Qualité de l'eau	Points d'eau
400 à 750	Bonne qualité	
750 à 1500	Médiocre mais eau utilisable	Tous les forages et source

Selon le classement du tableau 6, les eaux souterraines d'Ouled Mimoun sont caractérisées « d'eaux salées » de la classe C3 ayant une conductivité de 760 - 966 $\mu\text{S/cm}$. Leur grande concentration en éléments dissous impose un suivi de l'évolution de la salinité.

Tableau 6 : Conductivité et aptitude de l'eau à l'irrigation (d'après US SALINITY LABORATORY, 1955)

Classe	Conductivité $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 25°	Interprétation
C1	$0 < C < 250$	<ul style="list-style-type: none"> Faible minéralisation de l'eau Utilisation sur la plupart des cultures
C2	$250 < C < 750$	<ul style="list-style-type: none"> Minéralisation moyenne Utilisation sur sol modérément lessivé et plantes moyennement tolérantes au sel
C3	$750 < C < 2250$	<ul style="list-style-type: none"> Eau salée Utilisation sur sol bien drainé et plantes tolérantes au sel Contrôle de l'évolution de la salinité obligatoire
C4	$2250 < C < 5000$	<ul style="list-style-type: none"> Forte minéralisation Utilisation non souhaitable en agriculture

III-2. Paramètres guides selon les directives de la FAO :

Les résultats des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines du secteur d'étude ont été comparés au tableau directif de la FAO sur la qualité des eaux d'irrigation, à laquelle on doit se référer pour déterminer si une eau convient ou non à l'irrigation.

À défaut de tous les paramètres, nous présenterons la conductivité, les chlorures et le pH comme les seuls paramètres disponibles à cette évaluation.

❖ **Interprétation du tableau de classification de la FAO :** Nous déduisons à partir du tableau 7 que :

- Les eaux souterraines de la région étudiée ne présentent pas une bonne qualité, d'un point de vue salinité. Son utilisation pour la production agricole sera conditionnée par l'application de certaines mesures de restriction (exemple, sur des sols à lixiviation) ;
- Sur le plan de la toxicité, la concentration de l'ion chlorure dans les différents points d'eau ne présentent aucun danger pour l'irrigation des cultures ;
- À propos des effets divers sur les cultures sensibles, l'ensemble des eaux souterraines possèdent un pH caractérisé normal pour les cultures.

Tableau 7 : Classification des eaux d'irrigation de la région d'étude selon les directives de la FAO (AYERS et WESTCOT, 1985).

Problèmes Potentiels d'irrigation	Paramètre		Degré de restriction imposé à l'utilisation		
			Aucun	Faible à Modéré	Important
Salinité	C.E (dS/m)		< 0,7	0,7-3	>3
				Tous les forages et source	
Ions toxiques	Chlorure (Cl ⁻) (meq/L)	Irrigation de surface	< 4	4-10	>10
			Tous les forages et source		
		Irrigation par aspersion	< 3	>3	
			Tous les forages et source		
Effets divers (Sur les cultures sensibles)	pH		6,5-8,4		
			Tous les forages et source		

En somme, l'analyse des paramètres physico-chimique et bactériologique a permis d'appréhender au mieux l'état des eaux à partir de l'interprétation de l'évolution des différents paramètres dans le temps et dans l'espace. De point de vue physique et chimique, l'évaluation des analyses indique dans la majorité des points d'eau une diminution de la concentration des éléments en 2019 principalement au niveau du forage Walout. De même, le forage Benmeddah manifeste une baisse progressive de sa teneur en calcium de l'année 2013 à 2018 et une légère augmentation en 2019. Et tous ces paramètres dans l'ensemble, varient faiblement par rapport à leur norme. Sur le plan microbiologique, les analyses montrent l'existence d'une faible quantité de bactéries contenues dans les eaux. Ce nombre est plus élevé pour les streptocoques fécaux (Source Bent Soltan) que pour les coliformes. L'origine de cette contamination des eaux est essentiellement due à une pollution fécale animale ou humaine. Ainsi nous déduisons que les eaux souterraines d'Ouled Mimoun, avec de bonnes propriétés physico-chimiques et bactériologiques, sont en majeure partie aptes à la consommation humaine à l'exception des eaux de quelques points de prélèvement qui

présentent une pollution bactériologique les rendant ainsi impropres à la consommation même si elles possèdent une bonne propriété physico-chimique.

La comparaison des paramètres avec les normes (FAO) requises pour les eaux d'irrigation a permis de dire que les eaux de notre région d'étude peuvent être utilisées à des fins agricoles. Après analyse, il faut noter que l'élément à surveiller dans cette eau est l'évolution du niveau de la salinité qui est potentiellement susceptible de représenter un danger pour les cultures.

Conclusion générale

Au terme de ce travail dont l'objectif était d'effectuer une étude hydrochimique et qualitative sur les eaux souterraines de la région d'Ouled Mimoun, nous sommes arrivés à caractériser cette ressource si fragile.

Dans un contexte général, la zone d'étude est une région karstique, agricole et vulnérable à la pollution. Elle présente un climat classé de type Bsk (climat semi-aride) et une pluviosité interannuelle de 385.28 mm. La géologie montre des formations composées à majorité de roches calcaires et dolomies qui recèlent d'importantes ressources hydriques sur le plan local et régional. L'aspect structural, par ailleurs, montre des réseaux de failles qui sont marqués principalement au sud d'Ouled Mimoun.

L'utilisation des outils informatiques comme le MapInfo et le Surfer nous ont permis de réaliser les différentes cartes présentées dans ce document.

Quant à l'étude de la qualité des eaux, elle a été faite sur la base de séries de données relevées entre 2009 et 2020 par l'Algérienne Des Eaux. Il faut noter le manque des données Na^+ et K^+ nous a obligé de valider les analyses par la méthode du rapport CE. L'évaluation qualitative des eaux souterraines, en utilisant les paramètres physico-chimiques et bactériologiques, est faite par la comparaison avec les normes guides du JORA (2011 et 2014).

Le traitement des analyses sur les eaux souterraines d'Ouled Mimoun a révélé sur le plan potabilité :

- ❖ D'une part, les eaux possèdent une excellente qualité physico-chimique pour des valeurs de paramètres situées nettement en dessous des normes algériennes,
- ❖ D'autre part, les résultats ont montrés la présence de germes bactériens (streptocoques fécaux, coliformes fécaux, et coliformes totaux) dans certains points de prélèvement d'eau.

À la suite de ces résultats obtenus, toutes les eaux souterraines d'Ouled Mimoun se sont révélées aptes à la consommation humaine à l'exception des eaux suivantes : forage Taghzout (2013), forage Benmeddah (2016), source Bent Soltan (2016, 2017 et 2019) et forage Tahmoumin (2018 et 2019). Nous avons constaté que parmi les cinq sites de prélèvement, seul le site Walout ne présente aucune source de contamination.

Sur le plan de l'irrigation, les eaux analysées sont définies comme étant des « eaux salées » selon l'intervalle de la conductivité donnée par US SALINITY LABORATORY. Les

Conclusion générale

directives de la FAO montrent un taux de salinité situé dans la classe « faible à modéré », quant aux ions toxiques et aux effets divers sur les cultures sensibles, les eaux ne présentent aucun problème d'utilisation. De ce fait les eaux souterraines de la région d'étude sont convenables pour l'usage agricole.

Quoiqu'avant d'utiliser ces résultats, il est nécessaire d'effectuer une étude complémentaire sur la qualité hydrochimique vue le manque de certains ions majeurs dont les teneurs pourrait avoir une répercussion sur nos résultats obtenus. De plus une étude plus approfondie sur l'évaluation de la pollution bactériologique s'avère importante dans la validation de la potabilité de ces eaux (car une eau potable se doit de satisfaire certaines valeurs des paramètres physique, chimique et microbiologique). En dehors de cette assurance sur le réel état des eaux, une cartographie de la vulnérabilité de la région d'étude sera utile pour un aménagement du territoire judicieux et une protection de la ressource souterraine.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABLAOUI H. (2007)** - Structures et fonctionnement des trois émergences karstiques des Monts de Tlemcen à partir des réponses hydrologiques et hydrochimiques. Mém. Magister, Univ. Oran (Algérie). 168 p., 91 fig., 26 tab.
- ADAMOUI H. S., TAÏBOU I. A. (2019)** - Essai de la cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines dans le bassin versant d'oued Saf Saf (NO Algérie). Mém. Master, Univ. Tlemcen (Algérie). 103 p.
- ADDA M. (2013)** - Caractérisation hydrochimique et pollution des eaux souterraines en contexte urbain : Cas de l'agglomération Oranaise (Algérie). Mém. Magister, Univ. Oran, 170p.
- APPELO C.A.J. & POSTMA D. (2005)** - Geochemistry, Groundwater And Pollution, 2nd edition.
- AUCLAIR, D. et BIEHLER, J. (1967)** - Étude géologique des hautes plaines oranaises entre Tlemcen et Saida, Publ. Serv. Geol. Alg. Bull.n° 34. P 3-45, 4 fig.
- AYERS R.S., WESTCOT D.W (1976)**- Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rev.1, 97 p. Disponible sur : <http://www.fao.org/3/T0234E/T0234E00.htm> > [Consulté le 14 Juin 2021]
- AZIZ H. (2014)** - Application de quelques traitements statistiques aux données hydrochimiques de la nappe alluviale du fossé de Sebdou (nord-ouest de l'Algérie). Mém. Master, Univ. Tlemcen, 115p., 42 fig., 24 tab.
- BAHIR M., BLAVOUX B., MENANI M. et OLOVEIRA DA SILVA M. (2003)** - Impact de la sécheresse sur la ressource en eau en zone semi-aride : cas de l'aquifère Barrémien –Aptien de la zone côtière d'Essaouira (Maroc). Ecnologia de l'intrusion d'agua de mar en acuiferos costeros : paisas mediterraneos.
- BALLOY MWANZA P., KATOND J.P. et HANOCQ P. (2019)** - Évaluation de la qualité physico chimique et bactériologique des eaux de puits dans le quartier spontané de Luwowoshi (RD Congo). Tropicultura , vol. 37, n° 2, 627 DOI: [10.25518/2295-8010.627](https://doi.org/10.25518/2295-8010.627) [consulté le 05 Juin 2021]

Index bibliographies

- BENEST M. (1974)** - Évolution tectogénétique de la partie orientale de la dépression de Seb dou (Monts de Tlemcen, Algérie).
- BENEST M. (1981)** – La marge gondwanienne de l'Ouest Algérien au Jurassique supérieur et à l'Éocène : les grands traits de l'évolution tectono-sédimentaire mégarythmique. *Bull. Soc. Géol. France*, t. 23, n°6, pp. 663-672, 2 fig.
- BENEST M. (1982)** - Importance des décrochements sénestres (N-S) et dextres (E-W) dans les Monts de Tlemcen et de Daïa (Algérie Occidentale). *Rev. Géol. Dayn. Géogr. Phy.* vol. 23, pp. 345-362.
- BENEST, M. (1985)** - Évolution de la plate forme de l'Ouest algérien et du Nord - Est marocaine au cours du Jurassique supérieur et au début du Crétacé : Stratigraphie, milieux de dépôts et dynamique sédimentaire. Thèse de *Doctorat, Lab., Géol. Univ, Lyon*. Fasc. 1, 367 p., 107 fig.
- BENSAOULA F. (1992)** - Carte hydrogéologique d'Ouled Mimoun au 1/50 000 et notice explicative (Algérie). Thèse de Magister, Univ. Oran. 379 p., 107 fig., 94 tab., 18 pl., 4 pl. hors texte.
- BENSAOULA F. (2006)** - Karstification, hydrogéologie et vulnérabilité des eaux karstiques. Mise au point d'outils pour leur protection (Application aux Monts de Tlemcen – Ouest Oranais). Thèse de Doctorat d'état, Univ. Tlemcen. 203p.
- BENSAOULA F. ADJIM M. BENSALAH M. (2007)** - L'importance des eaux karstiques dans l'approvisionnement en eau de la population de Tlemcen. *Larhyss Journal*, n° 06, pp. 57-64. Disponible en ligne sur : http://www.webreview.dz/IMG/pdf/5.Bensaoula_et_al.pdf [consulté le 27 Mai 2021]
- BENSAOULA F., COLLIGNON B., et ADJIM M. (2019)**- Assessment of Groundwater Resources in the Jurassic Horst (Western Algeria). In: Negm A.M., Bouderbala A., Chenchouni H., Barceló D. (eds) *Water Resources in Algeria - Part I. The Handbook of Environmental Chemistry*, vol 97. Springer, Cham. pp 225-266
- BOUANANI A. (2004)** - Hydrologie, Transport solide et modélisation : Étude de quelques sous bassins de la Tafna (NW – Algérie). *Thèse de Doctorat d'état, Univ. Tlemcen*. 250p.

Index bibliographies

- BOUDJADJA A., MESSAHEL M., PAUC H. (2003)** - Ressources hydriques en Algérie du Nord. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 16(3), pp 285–304. <https://doi.org/10.7202/705508ar> [consulté le 31 Mai 2021]
- BOUKLI HACENE C. et RABAH FISSA A. (2015)** - Systèmes d'information géographique, cours et travaux pratiques. Polycopié intitulé Université de Tlemcen, Département d'Hydraulique, 79 p.
- CASAO M. (2018)** - Study of quality of drinking water in rural areas of Souss Massa. Bachelor degree thesis, University of Gävle (Suède). *Disponible sur* : <http://www.diva-portal.se/smash/get/diva2:1231392/FULLTEXT01.pdf> [consulté le 21 Mai 2021]
- CLAIR et CONCARET (1973)** - Carte lithologique de la Région de Tlemcen au 1/100 000 et notice
- CLIMATE-DATA.ORG (2019)** - Ouled Mimoun climat (Algérie). *Disponible sur* : <https://fr.climate-data.org/afrique/algerie/tlemcen/ouled-mimoun-324482/> [consulté le 18 juin 2021]
- COLLIGNON B. (1986)** - Hydrogéologie appliquée des aquifères karstiques des monts de Tlemcen (Algérie). *Thèse Doct., nouv. Régime, Univ. Avignon*. t.1, 118p.
- DARNAULT C.J.G. (2008)**- Karst aquifers: Hydrogeology and Exploitation. Overexploitation and contamination of shared groundwater resources. Springer, Berlin, pp 203–226 <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6985-710> [Consulté le 31 Mai 2021]
- DEVILLERS J., SQUILBIN M. et YOURASSOWSKY C. (2005)** - Qualité physicochimique et chimique des eaux de surface. Institut bruxellois pour la gestion de l'environnement, observation des données de l'environnement L'IBGE : "l'eau à Bruxelles. Fiche2.
- DOUMERGUE F. (1910)** - Carte géologique détaillée d'Algérie au 1/50 000, feuille Terny, n°300 et notice explicative.
- GASMI F., MEDJDOUBI F. Z. (2014)** - Géologie et suivi du processus de fabrication de granulats des sites de l'ENG-Sidi Abdelli (Monts de Tlemcen) et du PK 70 d'El Bayadh. *Mém. Ingéniorat d'Etat, Univ. Tlemcen* (Algérie). 91 p., 30 fig., 12 tab.

Index bibliographies

- GUARDIA P. (1975)** - Géodynamique de la marge alpine du continent africain d'après l'étude de l'Oranie nord occidentale. Thèse de doctorat. Nice. 256 p., 139 fig., 5pl.
- HAYANE S. M. (1983)** - Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique du bassin versant de l'oued Sikkak (Région de Tlemcen). *Thèse Doct. Univ., Oran* (Algérie), 244 p., 91 fig., 38 tab.
- JEAN J.C., (2002)**. La dégradation de la qualité de l'eau dans le réseau, Paris.
- JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N°18 (2011)** - Décret exécutif n 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif la qualité de l'eau de consommation humain.
- JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N°13, (2014)** - Décret exécutif n°14-96 du 2 Joumada El Oula 1435 correspondant au 4 mars 2014 modifiant et complétant le décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine.
- KAHOUL M. et TOUHAMI M. (2014)** - Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux de consommation de la ville d'Annaba (Algérie). *Larhyss Journal*, n°19, pp. 129-138. Disponible sur :
<http://larhyss.net/ojs/index.php/larhyss/article/download/224/213>
[consulté le 31 Mai 2021]
- KAHOUL M., TOUHAMI M. (2014)** - Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux de consommation de la wilaya d'Annaba (Algérie). *Larhyss Journal*, n°19, pp. 129-138.
- KERZABI, R. (2008)**. Identification de l'aquifère des grès Serravalliens du bassin Miocène dans la région de Remchi-Hennaya- Bensekrane et Ouled Mimoun. *Mém. Magister, Univ. Tlemcen*.
- LABORATOIRE DÉPARTEMENTAL D'ANALYSES DE LA LOZÈRE (2016)** - Analyses physico-chimiques des eaux, 7 p. *Fiche disponible sur :*
https://lda.lozere.fr/sites/default/files/upload/analyses_physico_chimiques_des_eaux_ok.pdf [consulté le 05 Juin 2021]
- LUCAS G. (1942)** – Description géologique et pétrographique des Monts de Ghar Rouban et du Sidi El Abed (Frontière Algéro-Marocaine). Bull. serv. Géol. Algérie, sér. 2, n°16, 539 p.

Index bibliographies

- NACER I. (2018)** - Étude critique du réseau d'AEP d'Ouled Mimoun. Mém. Master, Univ. Tlemcen, 91p.
- ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE (2017)** - Directives de qualité pour l'eau de boisson : 4^e éd. Intégrant le premier additif, 564p
- ReFEA (2000)** : Indicateur de qualité / présentation générale. *Fiche explicative disponible sur* : https://www.oieau.fr/ReFEA/fiches/AnalyseEau/Indic_qualite_Pres_Gen.pdf [consulté le 07 Juin 2021]
- RODIER J., LEGUBE B., MERLET N. (2009)** - L'analyse de l'eau, Ed. Dunod, pp. 78-1368.
- TOUHARI F. (2015)** - Étude de la Qualité des Eaux de la vallée du Haut Cheliff, Thèse de Doctorat, École Nationale Supérieure d'Hydraulique.
- WEATHER SPARK (2016)** - Météo habituelle à Ouled Mimoun. *Informations disponibles sur* : <https://fr.weatherspark.com/y/40176/M%C3%A9t%C3%A9o-habituelle-%C3%A0-Ouled-Mimoun-Alg%C3%A9rie> [consulté le 18 juin 2021].
- WILCOX L. V. (1955)**- Classification and Use of Irrigation Waters. United States Salinity Laboratory, *Circular N°969*, 21 p. Disponible en ligne sur : https://www.ars.usda.gov/arsuserfiles/20360500/pdf_pubs/P0192.pdf [consulté le 15 Juin 2021]

ANNEXES

Outils et Méthodes

Dans le cadre de cette étude nous avons utilisé la carte géologique scanée à 1/100 000 de CLAIR et CONCARET (1973) comme un support à la numérisation de l'extrait de notre zone d'étude. Les différents outils de traitement et de présentation de données : le PCC, le MapInfo Professional 8.0, le Surfer 12 et Excel, servent à élaborer les cartes géologiques et hydrogéologiques locales et la carte de localisation ainsi que les graphes présentés dans les deux parties de ce document.

I. Carte lithologique de la région de Tlemcen au 1/100 000

Cette carte de CLAIR et CONCARET (1973) couvre l'ensemble de la zone d'étude. L'extrait de la carte englobant les agglomérations d'Ouled Mimoun et Aïn Tellout est utilisé pour la digitalisation de la lithologie, la structurale, les oueds et les points d'eau du secteur étudié.

II. Présentation des logiciels

Pour la description de ces outils, en plus de nos connaissances pratiques acquises, nous nous sommes référés au polycopié de BOUKLI HACÈNE et RABAH FISSA (2015).

II-1. PCC (Version_2004)

Le PCC est un programme de conversion des coordonnées utilisées en Algérie. Ce logiciel permet de réaliser la conversion de coordonnées cartographiques en coordonnées géographiques et vice-versa. Cette conversion peut s'effectuer point par point ou à partir d'une liste enregistrée au préalable sous la forme d'une base de données dans Excel. Il utilise les systèmes de projections Lambert et UTM avec les ellipsoïdes Clarke 1880 et IAG GRS 80 (WGS 84).

L'exécution de la conversion des coordonnées Lambert en UTM zone 30 de tous nos points d'eau s'est effectuée à l'aide de cet outil.

II-1-1. Conversion point par point

À partir de la fenêtre « Convertir Point », choisissez :

- La projection (le « Nord » dans notre cas) ;
- L'ellipsoïde, par exemple « Clarke 1880 »

- Ensuite, faites entrer les coordonnées correspondantes puis cliquer sur le bouton indiqué en rouge (figure 3) pour convertir.

L'interface affichée ci-dessous (figure 3) indique la fenêtre de conversion à utiliser.

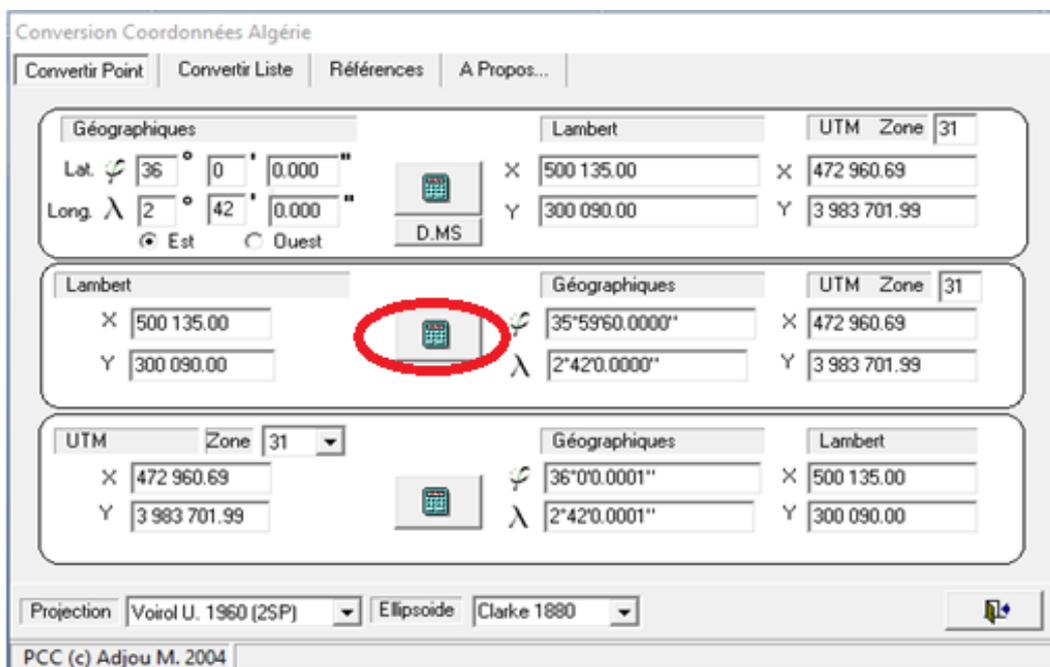


Figure 1 : Interface par défaut du PCC

II-1-2. Conversion de liste

Sous l'onglet « Convertir Liste » :

- Choisissez le type de projection et l'ellipsoïde
- Importer la base de données, à partir de l'option « Ouvrir » qui est affichée en bas de la fenêtre, en sélectionnant le fichier de données à son emplacement.
- Dans le menu qui s'affiche choisissez le type de coordonnées, les numéros de la ligne (début et fin) et des colonnes (X, Y) puis cliquez sur Ok pour charger les coordonnées dans la fenêtre de conversion (figure 4).

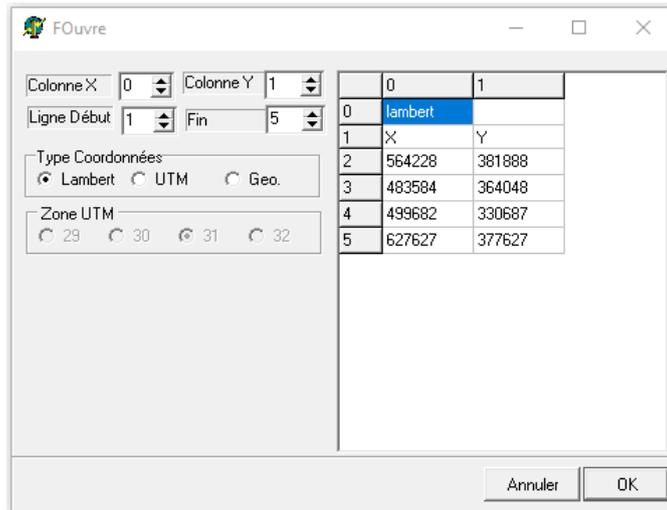


Figure 2 : Fenêtre de prévisualisation

- Et terminer par un clic sur la zone où s’affiche les coordonnées pour effectuer la conversion.
- À l’aide de l’option « Enregistrer » vous pouvez sauvegarder la conversion.

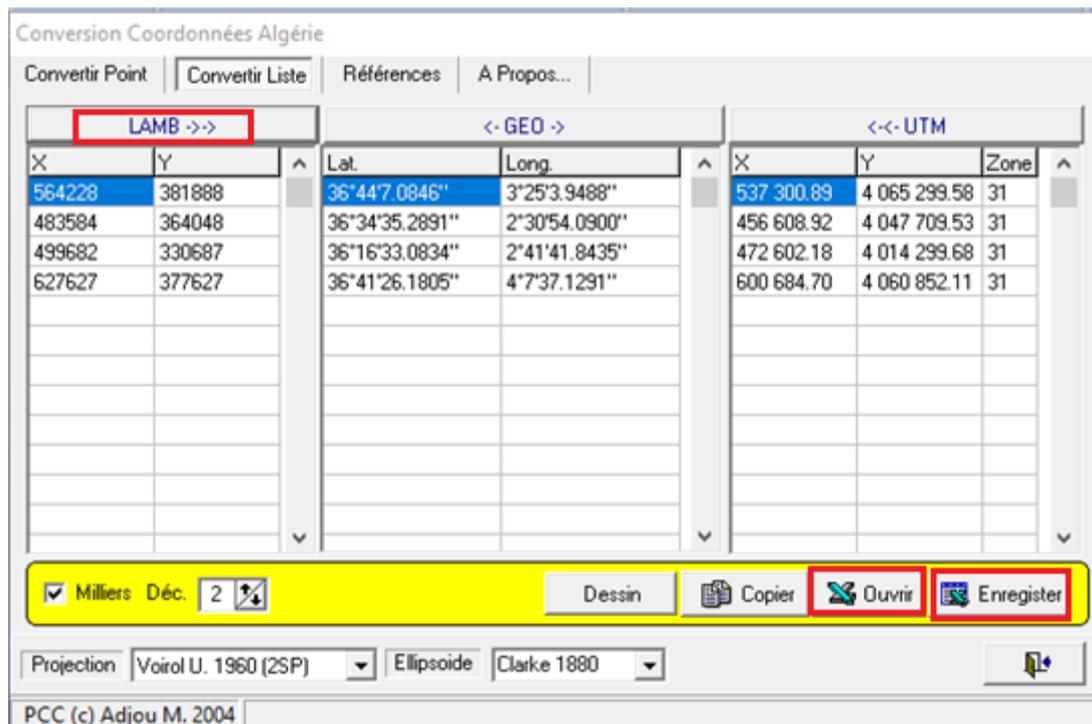


Figure 3 : Interface de la fenêtre « Convertir Liste »

II-2. SIG (MapInfo Professional 8.0)

Un système d'information géographique (SIG) est un système informatique qui permet à partir de diverses sources, de collecter et organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement contribuant notamment à la gestion de l'espace.

MapInfo Professional est un logiciel permettant de créer des cartes en format numérique à l'aide d'un système de couches d'informations géo-localisées : points, polygones et image raster.

Les étapes de réalisation sont :

II-2-1. Calage

Le calage est une étape nécessaire avant tout travail sous MapInfo, il sert à établir une relation entre les entités affichées sous le système d'information géographique et leur position dans le monde réel. Cette opération s'effectue à partir de la boîte de dialogue « Calage Image », qui permet de définir les coordonnées des points de calage et de préciser le type de projection de l'image raster.

❖ Procédure de calage

Cette opération de calage s'effectue par :

- Avec la commande « Fichier / Ouvrir Table » ou un clic sur le bouton  dans la barre d'outils ;
- Sélectionner la carte en image, en précisant le type de fichier comme image raster ;
- Cliquer sur « Calage » lors de l'ouverture de MapInfo comme illustré ci-après.



Figure 4 : Fenêtre de choix « Calage/Affichage »

Annexes

- Dans la boîte de dialogue qui s'affiche, définissez le type de projection de l'image et l'unité (le mètre) ;

(Dans notre cas, nous sommes en « UTM zone 30, Northern Hemisphere (WGS 84) »).

- Ensuite insérer les points de calage l'un après l'autre dans la fenêtre de prévisualisation des coordonnées. L'insertion des points s'effectue dans le sens de l'aiguille d'une montre et en cliquant à chaque fois sur « Nouveau » ;
- Une fois cela fait, il faut s'assurer que l'erreur de pixel soit nulle (erreur pixel=0).
- Puis valider par OK.

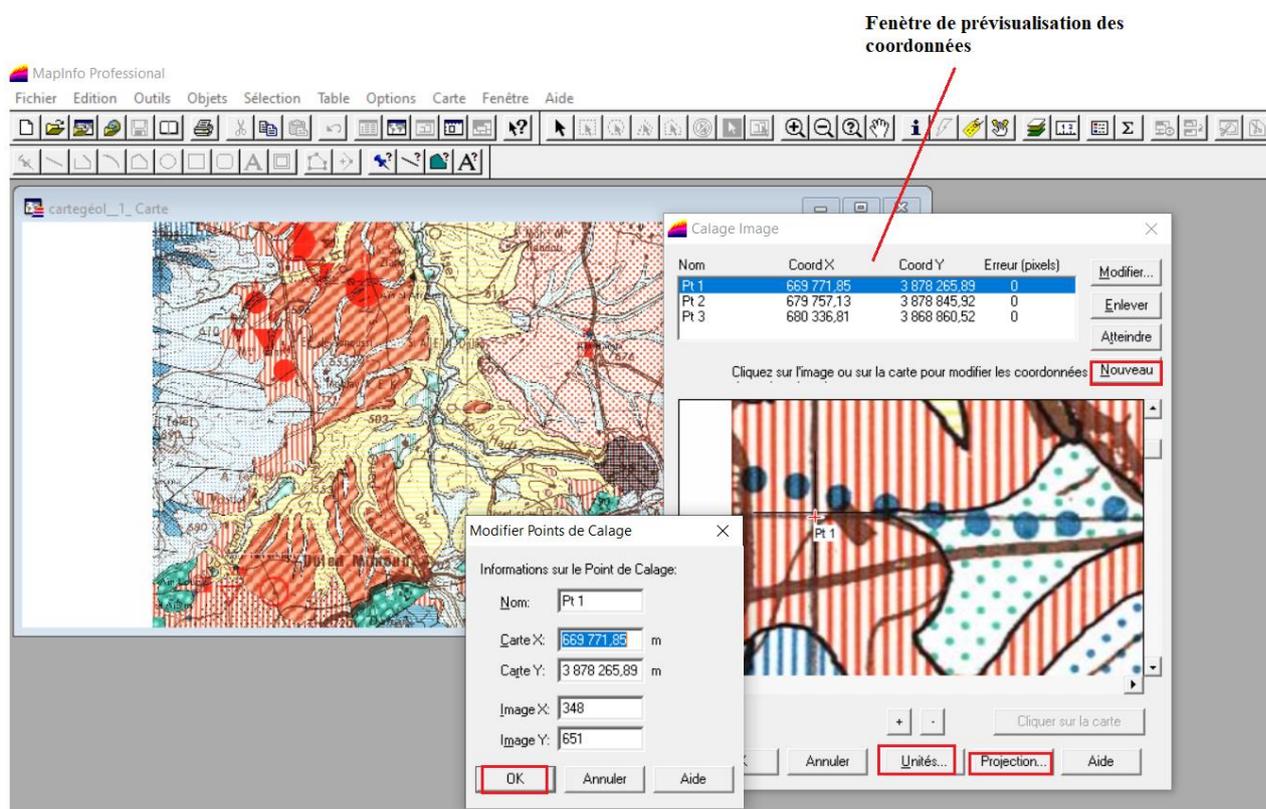


Figure 5 : Interface MapInfo et fenêtre de calage

II-2-2. Création de nouvelle couche

Cette étape est nécessaire avant la digitalisation. Pour cela les étapes citées ci-dessous sont à suivre.

❖ Les étapes à suivre :

Avant de créer la structure de la table, il faut toujours choisir son système de projection à partir du bouton « Projection ».

- À partir de la commande « Fichier / Nouvelle Table / Ajouter à la fenêtre carte active / Créer » Ou à partir d'un clic sur ce bouton  de la barre des outils, l'accès est donné au menu de création de la nouvelle table.
- Sélectionnez « Ajouter à la fenêtre carte active » puis cliquer à droite sur « Créer ».
- La première couche créée est nommée « Lithologie ». Ainsi les données associées à cette couche (le nombre de champs et leurs caractéristiques) sont définies dans la fenêtre « Structure de la nouvelle table » (figure 8).
- Ensuite, une nouvelle table nommée « Point d'eau » est créé de la même manière que la table « Lithologie ». Et ainsi de suite les mêmes étapes de création de nouvelle table sont suivies pour créer la table « Faille », la table « Oued » et la table « Toponymie ».

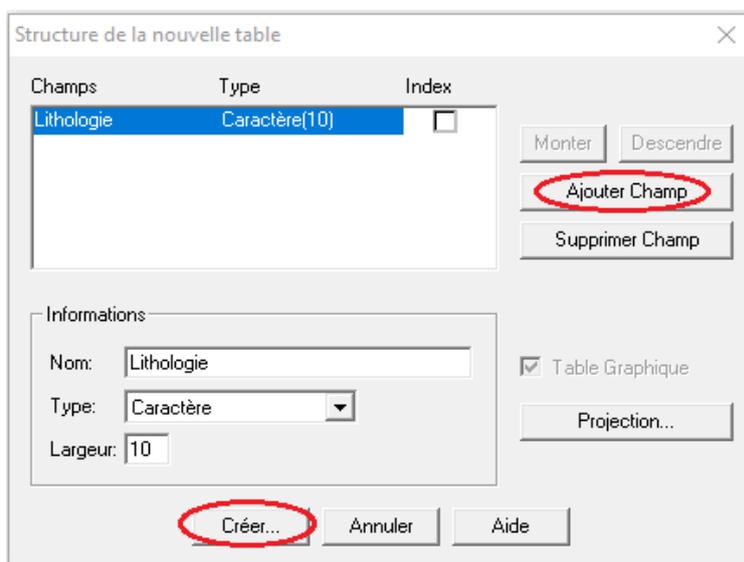


Figure 6 : Fenêtre de création de couche

II-2-3. Digitalisation

Cette étape de digitalisation permet de créer des objets (cours d'eau, source...) sur la carte. Et elle doit être faite avec la plus grande des précisions possibles. Ici, nous avons utilisé la carte calée précédemment comme fond.

❖ Procédure à suivre

- Après création du style avec le bouton , la digitalisation des formations géologiques s'effectue en utilisant le bouton « Polygone  » sur le menu « Dessins ».
- Pour symboliser les points d'eau, nous utilisons le bouton « Symbole  » sur le menu « Dessins ».
- Le bouton « Polyligne  » est utilisé pour digitaliser les failles et les oueds, et le bouton « Texte  » pour la toponymie.

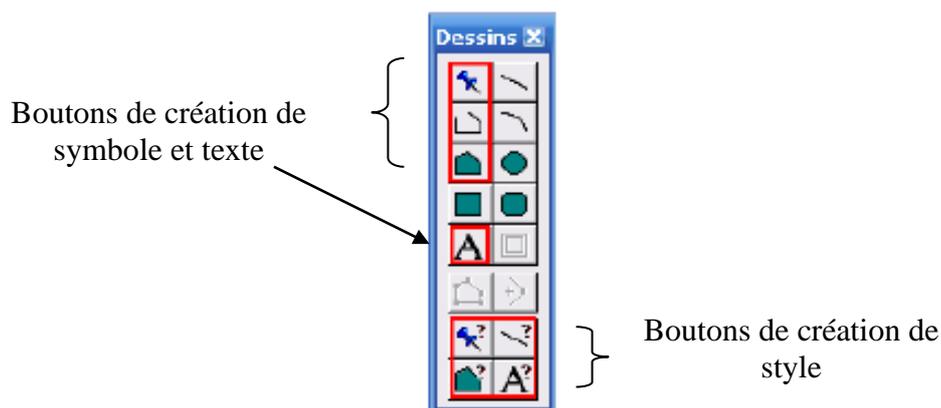


Figure 7 : Présentation de la barre d'outils « Dessins »

- Pour introduire des informations concernant la table, cliquer sur « Fenêtre / Données », un tableau contenant les couches élaborées lors de la création de la table s'affiche. On peut ainsi recharger la base de données en introduisant les informations souhaitées dans le tableau.
- Si le tableau de données de la table affiche des lignes grises (vides), il suffit de cliquer « Table / Gestion table / Compacter table (pour éliminer les vides) ». Sélectionner la table à compacter puis choisissez « compacter les deux », et valider par Ok.

II-3. Surfer_12

Surfer est un programme de cartographie utilisant des données de coordonnées XYZ pour produire différentes cartes d'isovaleurs. Dans notre étude, nous l'avons utilisé afin de mettre en forme les différentes cartes.

Après la digitalisation de toutes les couches, la carte finie est exportée par la commande « Fichier / Exporter la fenêtre / Enregistrer » pour finaliser la présentation des différentes cartes en ajoutant la légende et l'échelle.

❖ Les opérations à effectuer sur Surfer sont :

- L'importation de la carte digitalisée en format image sur « Surfer » à l'aide de l'option « New Base Map  », à laquelle nous accédons directement sur la barre d'outils ou par la commande « Map / New - > Base Map » ;
- Ensuite, insérer les coordonnées X (max : min) et Y (max : min) recueillies au préalable sur la carte dans le MapInfo,
- Ajouter l'échelle en suivant la commande « Map / Add - > Scale Bar » (figure 10)

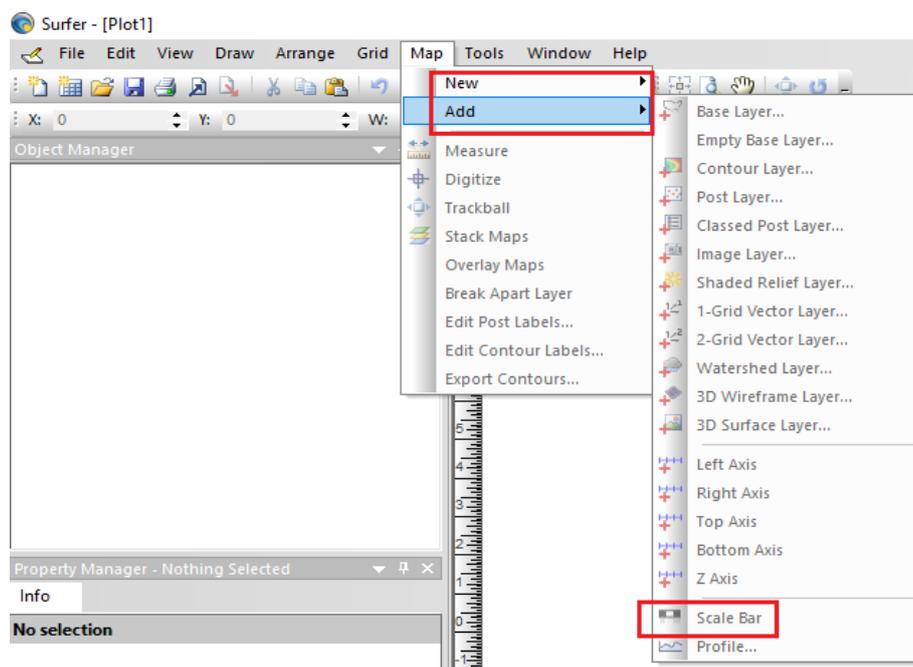


Figure 8 : Commande d'insertion d'échelle

- L'insertion de la légende s'effectue grâce à l'onglet « Draw » de la barre d'outils avec les touches «  » et «  » qui servent à dessiner le cadre et à insérer la description de la légende. Et aussi grâce à la fenêtre « General » située à gauche de l'interface de Surfer.

- Avec l'option « New Post Map  », les points d'eau ont été représentés puis superposés avec la carte géologique.



Figure 9 : Outils de dessins et de création de carte affichés sur la barre d'outils

II-4. Excel

Cet outil est utilisé dans la partie de l'étude qualitative pour la réalisation de nos graphes qui serviront à l'interprétation des paramètres physico-chimiques des d'eaux.

Les différents graphes présentés ont été établis à partir des groupes « Colonne », « Ligne » et « Nuage de points » de la fenêtre « Insertion ».

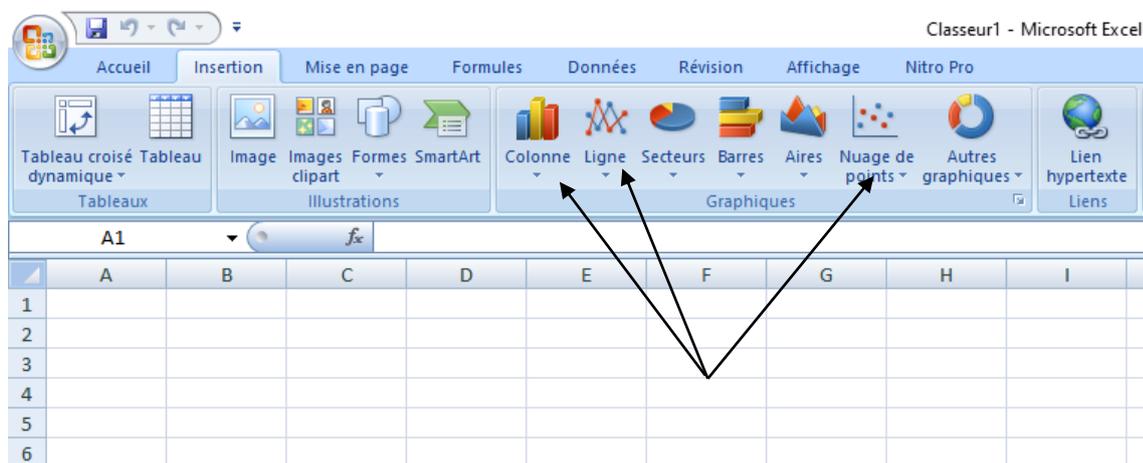


Figure 10 : Aperçu sur les groupes utilisés

Pour finir, l'utilisation de ces différents outils informatiques s'est révélée indispensable dans la réalisation et l'accomplissement de cette étude. En raison de leurs multiples fonctions et capacités en termes de représentation de données sous forme de graphes et cartes.

تركز الدراسة الحالية على تقييم نوعية المياه الجوفية في منطقة أولاد ميمون للاستهلاك والاستخدام الزراعي المحتمل. تعتبر منطقة أولاد ميمون منطقة ذات أهمية هيدروجيولوجية كبيرة حيث يبلغ متوسط هطول الأمطار السنوي 385.28 ملم. الموارد المائية التي تحتويها موجودة في سلسلة الصخور الكلسية الدولوميتية للعصر الجوراسي والتي يتم استغلالها عن طريق الآبار أو العيون. أجريت هذه الدراسة على أساس التحليلات الفيزيوكيميائية والبكتريولوجية التي أجرتها الجزائرية للمياه. تم استعمال مجموعة من أدوات الحاسوب لرسم الخرائط الرقمية (SIG, Surfer, PCC) و معالجة البيانات الفيزيوكيميائية (Excel). وبفضل هذا الأخير، قمنا بمقارنة النتائج الفيزيوكيميائية التي تم الحصول عليها مع المعايير الجزائرية، والذي كشف على ان جزءا كبيرا من المياه تعتبر صالحة للشرب (بئر والوت، بئر بن مداح...). ومع ذلك، فقد تم الكشف عن مواد ملوثة في بعض نقاط المياه مثل بئر تاحمومين (2019) وبئر تاغزوت (2013). وعلاوة على ذلك، تبين أن نوعية هذه المياه مقبولة للاستخدام الزراعي وفقا لمعايير FAO و US SALINITY LABORATORY.

الكلمات المفتاحية: مياه جوفية، هيدروكيميا، قابلية الشرب، الري، المعايير الجزائرية، أولاد ميمون.

Résumé

La présente étude porte sur l'évaluation de la qualité des eaux souterraines de la région d'Ouled Mimoun en vue d'une consommation et d'une possible utilisation agricole. La région d'Ouled Mimoun est une zone à grand intérêt hydrogéologique où tombe en moyenne interannuelle une précipitation de 385.28 mm. Les ressources d'eau qu'elle renferme sont contenues dans les massifs calcaréo-dolomitiques du Jurassique et desquels elles sont captées par des forages ou à l'émergence. Cette étude a été menée sur la base des analyses physico-chimiques et bactériologiques réalisées par l'ADE (Algérienne Des Eaux). Les outils informatiques ont été utilisés pour la cartographie numérique (SIG sur MapInfo, Surfer et PCC) et le traitement de données physico-chimiques (sur Excel). Grâce à ce dernier, nous avons effectués une comparaison des résultats physico-chimiques obtenus avec les normes Algériennes, ce qui a révélé qu'une grande partie des points d'eau sont potables (forage Walout, forage Benmeddah...). Cependant une pollution par la matière fécale a été détectée dans quelques points d'eau tels que le forage Tahmoumin (2019) et le forage Taghzout (2013). Par ailleurs, la qualité de ces eaux s'est révélée acceptable à l'usage agricole selon les normes de la FAO et de l'US SALINITY LABORATORY.

Mots clés : Eau souterraine — Hydrochimie – Potabilité – Irrigation – Normes Algériennes - Ouled Mimoun.

Abstract

This study concerns the assessment of the quality of groundwater in the region of Ouled Mimoun for consumption and possible agricultural use. The region of Ouled Mimoun is an area of great hydrogeological interest where an annual average of 385.28 mm precipitation falls. The water resources it contains are contained in the calcareous-dolomitic massifs of the Jurassic period and from which they are captured by boreholes or at emergence. This study was carried out based on Physico-chemical and bacteriological analyzes carried out by ADE (Algérienne Des Eaux). The computer tools are used to informatics cartography (GIS in MapInfo, Surfer, PCC). The treatment of physic-chemical parameters (in Excel). In Excel we compared the physico-chemical results obtained with Algerian standards, which revealed a large part of the water as potable (Walout drilling, Benmeddah drilling, etc.). However, pollution by fecal matter has been detected in a few water points such as the Tahmoumin borehole (2019) and the Taghzout borehole (2013). Furthermore, the quality of these waters is acceptable for agricultural use according to FAO and US SALINITY LABORATORY standards.

Keywords: Groundwater — Hydrochemistry – Potability – Irrigation – Algerian standards- Ouled Mimoun.