

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة عنابة
Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana
Faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre
Département des Sciences de la Terre



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention de diplôme de **Master** en

Filière : Géologie

Spécialité : Hydrogéologie

Evaluation et cartographie de l'indice de qualité des eaux souterraines (WQI) (application à la région du Haut Chélif)

Présenté par:

- ***BOUANANI EL-MAHDI***

Devant le jury :

M. BOUDERBALA AEK	MCA	Président	(U.D.B Khemis Miliana)
M. HENNIA Kaddour	MAA	Promoteur	(U.D.B Khemis Miliana)
M. GHARBI Benyoucef	MCB	Examineur	(U.D.B Khemis Miliana)

Année universitaire : 2020/2021

Remerciements

Je remercie mon éternel tout puissant (Allah), source de volonté, de patience et de courage qui m'a permis d'accomplir ce travail.

Je tiens tout d'abord à exprimer mes remerciements les plus sincères à mon Promoteur Mr HENNIA Kaddour pour la patience, la confiance, ces précieux conseils, son orientation ainsi que pour ses efforts fournis afin de mener à bien ce projet.

A tous les enseignants et enseignantes du département de Sciences de la Terre et de l'Univers qu'avec leur encadrement si qualifié dans ce domaine, nous avons bénéficié cette formation aussi importante.

Je remercie également les membres du jury qui nous ont fait l'honneur d'apporter leur jugement sur ce travail

Mr A. BOUDERBALA et Mr B. GHARBI.

Enfin j'exprime ma reconnaissance à tous mes amis et collègues, et tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin durant la réalisation de ce travail.

Merci...

Dédicaces

Je dédie ce projet de fin d'étude à :

Mes chers parents, qui sont à l'origine de mon existence, que dieu les protèges, ils m'ont soutenu le long de l'élaboration de ce travail.

A ma très chère mère SASSA mon modèle à suivre qui m'a entouré de l'amour et la tendresse et m'a appris la patience et le défit.

A mon très cher père IDIR qui m'a encouragé et conseillé pendant mes plus pénibles moments et qui m'a guidé vers le droit chemin.

*A mes chers frères, et mes soeurs, et toute ma famille paternelle,
et ma famille maternelle.*

A mon Promoteur, et tous mes enseignants du primaire, du moyen, du secondaire, et de l'université qui m'ont donné le goût des études.

A tous mes meilleures amis, et à toute personne qui a contribué à la réalisation de ce travail de près ou de loin.

Mahdi

Résumé:

Dans l'Algérie, et dans la wilaya de Ain Defla, la plaine de Khemis qui abrite une nappe alluviale d'importante potentialité, elle est utilisée pour l'alimentation en eau potable, pour l'irrigation et pour l'industrie. La bonne exploitation des eaux de cette nappe exige d'abord l'évaluation de sa qualité à l'aide d'un système d'indice de qualité (WQI), et faire une représentation spatiale de cet indice de qualité qui va permettre de voir l'effet des sources de la pollution recensée dans cette zone. Pour cet objectif, un total de dix (10) échantillons analysés pendant les périodes des hautes et basses eaux des années 2020 ont été traités par la statistique élémentaire, et des outils graphiques, ainsi que une cartographique de l'indice de qualité.

Les résultats obtenus montrent des faciès hydrochimiques Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne, c'est le faciès prédominant dans la nappe selon de diagramme Piper, et cela est confirmé par les diagrammes de Durov et de Chadha.

Le calcul de l'indice de qualité (WQI) a donné la présence de deux groupes de qualité d'où la majorité des points échantillonnés appartiennent au groupe de la bonne qualité.

La cartographie de l'indice de qualité à l'aide d'un SIG a permis de montrer que la bonne qualité couvre presque la totalité de la plaine.

Mots Clés : Haut Cheliff, Eaux souterraines, Indice de qualité, SIG

Abstract:

In Algeria, in the wilaya of Ain Defla, the plain of Khemis which is an alluvial plain has a big and important water resources potentiality, mainly used for the drinking water supply, irrigation and industry. The exploitation of groundwater of this aquifer requires first of all an evaluation of its quality by using the water quality index (WQI), and by making a spatial representation of this index, in the goal to see the effect of all kind of pollution on groundwater. A total of ten (10) monitoring samples, ware taken for the wet and dry period of the year 2020. The analysis of results was processed by using elementary statistics, graphs, and by GIS.

The results obtained show a hydrochemical dominated facies: Chlorura and calcium sulphate and magnesium according to Piper diagram, which is confirmed by Durov and Chadh diagrams. The evaluation of WQI shows a good quality of groundwater for the majority of samples, that covers the most of the plain.

Keywords: Upper Cheliff, Groundwater, Water Quality index (WQI), GIS.

ملخص :

في الجزائر، وفي ولاية عين الدفلي بالظبط يوجد سهل خميس مليانة الذي يؤوي طبقة المياه الجوفية الغرينية ذات إمكانيات هامة من حيث المياه الجوفية و التي تستخدم لتوفير مياه الشرب وللري وللصناعة. يتطلب الاستغلال السليم للمياه الجوفية لهذا خزان، أولاً تقييم جودتها و هذا بمساعدة نظام مؤشر الجودة (WQI)، وإجراء تمثيل مكاني لمؤشر الجودة، هذا من شأنه أن يسمح لنا برؤية تأثير مصادر التلوث الموجودة في هاته المنطقة. ولهذا الغرض ، تم تحليل مجموعة من عشرة عينات (10) خلال فترتي المياه المرتفعة والمنخفضة لي سنة 2020 ،تمت معالجة المعطيات بواسطة الإحصاءالاساسي (العنصري) ، والرسم البياني ، و كذا صنع خرائط لمؤشر الجودة.

النتائج التي تم الحصول عليها بينت أن المياه الجوفية تتميز بنوعية الكلوريد وكبريتات الكالسيوم والمغنيسيوم، و هي النوعية الغالبة حسبPiper ، والتي أكدهاChadha و Durov . حساب مؤشر الجودة أعطى وجود مجموعتين حيث تنتمي غالبية العينات الى مجموعة الجودة الجيدة للمياه، كما أن رسم خرائط مؤشر الجودة باستخدام (GSI) سمح بتحديد أماكن مجموعات الجودة ، و بين أن الجودة الجيدة للمياه تغطي أغلب مساحة السهل تقريبا.

الكلمات المفتاحية : سهل الشلف الأعلى ، المياه الجوفية ، مؤشر نوعية المياه، نظم المعلومات الجغرافية

Sommaire

Résumé	
Listes des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale :	1
CHAPPITER I :Présentation de la zone d'étude	4
Introduction :	4
I.1.Situation géographique :	4
I.2.Cadre géomorphologique:	5
I.2.1. Reliefs:	5
I.3.Cadre hydro-climatologique:	5
I.3.1.Climat:	5
I.3.2. Température:	5
I.3.3. Précipitation:	6
I.3.4. Evaporation:	7
I.3.5.La lithologie du bassin versant:	8
I.3.6.Réseau hydrographique:	9
I.4.Cadre Géologie ETHydrogéologie:	10
I.4.1.Géologie:	10
I.4.1.1.Description litho-stratigraphique des formations:	10
I.4.1.2. Stratigraphie:	14
I.4.1.2.1. Les terreanté-miocènes:	14
I.4.1.2.1.1.Le Primaire:	14
I.4.1.2.1.2.Le Trias:	14
I.4.1.2.1.3.Le jurassique:	14
I.4.1.2.1.4.Le Crétacé:	14
I.4.1.2.2. Les terre poste-miocènes:	14
I.4.1.2.2.1.Le Miocène:	14
I.4.1.2.2.2. Le Mio- pliocène:	15
I.4.1.2.2.3. Le pliocène:	15
I.4.1.2.2.4. Le Quaternaire:	15
I.4.2.Hydrogéologie:	16
I.4.2.1. Les calcaires Jurassiques:	16
I.4.2.2. Les aquifères du Miocène:	16
I.4.2.3. Les aquifères du Pliocène:	17
I.4.2.4. Les aquifères alluvionnaires du Quaternaire:	17
I.5.Hydrodynamique de l'aquifère:	17
I.5.1.Inventaire des points d'eau:	17
I.5.2.La piézométrie:	17
I.5.3.Interprétation de la carte piézométrique juin 2013:	18

I.5.4. Carte piézométrique novembre 2013:	18
I.5.5. Alimentation de la nappe:	19
I.6. Cadre Pédologie:	19
I.7. Socio-économique:	20
I.7.1. Population (Habitation):	20
I.7.2. Agriculture:	21
I.7.3. Occupation du sol:	21
CHAPPITER II : Matériels et Méthodes	0
Introduction :	24
II.1. Méthode de caractérisation ET étude de la qualité des eaux:	24
II.1.1. Echantillonnage:	24
II.1.2. Analyse physico-chimie:	25
II.1.3. Etude Hydrochimie:	25
II.1.3.1. Méthodes statistiques:	25
II.1.3.1.1. Statistiques Élémentaires:	25
II.1.3.1.2. Statistiques hiérarchie:	25
II.1.3.2. Méthodes graphiques:	26
II.1.3.2.1. Piper:	26
II.1.3.2.2. Chadha:	26
II.1.3.2.3. Durov:	26
II.1.4. L'Indice de la qualité des eaux souterraines (WIQ):	27
II.1.4.1. Définition de l'Indice de la qualité d'eau (WIQ):	27
II.1.4.2. Calcul de l'Indice de qualité de l'eau (WIQ):	28
II.1.4.3. Cartographie WQI:	31
CHAPPITER III: Resultats ET Discussions	20
III.1. Méthodes statistiques:	33
III.1.1. Statistique élémentaire:	33
III.1.1.1. La conductivité électrique:	33
III.1.1.2. Potentiel d'Hydrogène (pH):	33
III.1.1.3. Cations:	34
III.1.1.3.1. Calcium:	34
III.1.1.3.2. Magnésium:	34
III.1.1.3.3. Potassium:	34
III.1.1.3.4. Sodium:	34
III.1.1.4. Anions:	35
III.1.1.4.1. Chlorure:	35
III.1.1.4.2. Sulfate:	35
III.1.1.4.3. Bicarbonates:	36
III.1.1.4.4. Nitrate:	36
III.1.2. Classification hiérarchie:	39
III.1.3. Méthodes graphique:	40

III.1.3.1. Diagramme Piper:	40
III.1.3.2. Diagramme Chadha:	40
III.1.3.3. Diagramme Durov:	41
III.1.4. L'Indice de la qualité des eaux souterraines (WIQ):	43
III.1.5. La distribution spatiale de l'Indice de la qualité des eaux souterraines (WIQ):	43
Conclusion Générale et recommandations :	46
Références bibliographiques :	48

Liste des figures

Figure 1. Situation géographique de la plaine alluviale du Haut Cheliff.	4
Figure 2. Carte des altitudes en m du secteur d'étude.	5
Figure 3 .Histogrammes de variations des températures moyennes mensuelles (1986-2017).	6
Figure 4. Répartition mensuelle des précipitations (2000 - 2017).....	7
Figure 5 Carte des sous bassins versants de la région d'étude	8
Figure 6. Réseau hydrographique de la Plaine de Khemis Miliana.	9
Figure 7. Carte géologique (source : Touhari et al, 2015)	11
Figure 8. La coupe transversale de la plaine du Haut Cheliff (ANRH de Blida, 2005).....	12
Figure 9. Log litho-stratigraphique et hydrogéologique de la plaine alluviale de Khemis.	13
Figure 10. Carte piézométrique de la nappe alluviale du Haut Chéiff (Période des hautes eaux : juin 2013) (Attafi.S 2018).....	18
Figure 11: Carte piézométrique de la nappe alluviale du Haut Chéiff (Période des basses eaux : novembre 2013) (Attafi.S 2018)	19
Figure 12 . La carte des sols de la région du Haut Cheliff (BOULAINÉ, 1957)	20
Figure 13 : Situation des communes de la plaine du Haut Cheliff.....	21
Figure 14. Occupation de sol de la plaine du Haut Cheliff.	22
Figure 15 . Localisations des points d'échantillonnages d'eau dans la zone d'étude.	24
Figure 16. Diagramme de Piper (a), Chadha (b), et celui de Durov (c).....	27
Figure 17. Les hystogrammes des élément chimique pour les deux companges pour l'année 2020	38
Figure 18 mode CAH pour les deux compagnes hautes (A) et basses (B)	39
Figure 19. Diagramme de Piper pour les deux compagnes hautes (A) et basses (B) eaux.....	41
Figure 20. Diagramme de Chadha pour les deux compagnes hautes (A) et basses (B) eaux	42
Figure 21. Diagramme de Durov pour les deux compagnes hautes (A) et basses (B) eaux	42
Figure 22: Répartition spatiale de l'indice de qualité des eaux souterraines pour les deux compagnes hautes (A) et basses (B) eaux de la plaine de Khemis Miliana (Octobre2020).	44

Listes des Tableaux

Tableau 1 Moyenne mensuelle de l'évaporation pour une période (2003-2014).....	7
Tableau 2 Caractéristiques morphométriques des bassins versants de la région d'étude.....	8
Tableau 3 Réseau hydrographique de la plaine de Khemis Miliana (Bong.I ; Mezian.IS ,2013).	9
Tableau 4: Poids relatifs de paramètres chimiques (donnez des sources)	29
Tableau 5: Indice de qualité de l'eau classé par palette de couleur standard	30
Tableau 1: Résultats Statistique élémentaires Période Hautes Eaux , Année 2020	33
<i>Tableau 7: Résultats Statistique élémentaires, Période des basses eaux Année 2020</i>	<i>35</i>
Tableau 8: Résultats de CAH pour la Période des hautes eaux (Avril 2020).....	39
Tableau 9: Résultats de CAH pour la Période des bases eaux (Octobre 2020)	40
Tableau 10: Résultats de calcul de WIQ pour les deux Périodes eaux (Avril, Octobre)	43

Introduction générale

Introduction générale :

Les eaux souterraines sont l'une des ressources naturelles les plus importantes et les plus précieuses incontestables. L'eau est un élément important dans la vie des organismes vivants, car il n'y a pas d'existence sans laquelle vivre, et à partir de là, l'homme a commencé à concevoir des mécanismes nouveaux et sophistiqués pour une bonne exploitation et un bon investissement, car l'eau est une ressource importante et limitée et un avantage rare dans de nombreuses régions du monde. Les eaux souterraines jouent un rôle important dans diverses utilisations telles que l'agriculture, l'industrie et la consommation des ménages. Par conséquent, une plus grande attention doit être accordée à la qualité des eaux souterraines.

Quelle est la qualité de l'eau ? Cette question est infiniment plus complexe que la question : Quelle est la quantité d'eau ? Alors qu'entend-on par qualité de l'eau ? Comment exprimons-nous la qualité de l'eau ?

L'évaluation de la qualité des eaux souterraines d'une région est d'une importance capitale pour planifier le bon développement des eaux souterraines. La demande accrue des eaux souterraines pour la production agricole, l'industrialisation et l'urbanisation, nécessite un suivi régulier de la qualité. Après l'identification des sources de contamination, il est souvent difficile d'adopter une solution de gestion pour surmonter la mauvaise qualité des eaux souterraines. Par conséquent, il est essentiel de surveiller la qualité des eaux souterraines régulièrement pour gérer durablement la ressource en eau souterraine. Plusieurs nouvelles méthodes telles que l'analyse spatiale, la télédétection, Systèmes d'Information Géographique (SIG) et les techniques de modélisation tridimensionnelle sont en évolution afin d'identifier et d'explorer les sources de contamination des eaux souterraines ainsi que de proposer des mesures d'atténuation. La technique SIG s'avère être un outil puissant pour formuler des solutions aux problèmes de gestion des ressources en eau souterraine, telles que la détermination de la qualité de l'eau en ce qui concerne les caractéristiques intrinsèques de la zone d'étude comme la géologie, occupation du sol, l'identification des zones potentielles d'eau souterraine ; Il devient donc impératif de surveiller régulièrement la qualité des eaux souterraines et de trouver les bons moyens pour les protéger. La cartographie spatiale est l'un des outils les plus efficaces pour communiquer des informations sur l'état global de la qualité de l'eau à la communauté des utilisateurs concernés et les décideurs.

Ainsi, il devient un paramètre important pour l'évaluation et la gestion des eaux souterraines. Une cartographie de la qualité des eaux souterraine fondée sur des moyens technologiques, tels que SIG-3D, Géomodélisation et techniques modernes de spatialisation, peut servir comme un outil utile pour évaluer la qualité des eaux souterraines (Gharbi. BALGERIE).

Les études réalisées sur les eaux souterraines permettent notamment de localiser les sources de contamination et de mieux évaluer la vulnérabilité des aquifères. Certains portraits de la qualité de l'eau souterraine sont réalisés à une échelle régionale et caractérisent principalement la présence d'éléments chimiques d'origine naturelle associés aux formations géologiques. D'autres portraits ciblent des secteurs plus restreints et des paramètres particuliers, dont les pesticides et les microorganismes (Hadjmoussa 2019).

L'eau souterraine est généralement de meilleure qualité que l'eau de surface, en raison du pouvoir épurateur du sol. Cette eau présente ainsi un grand intérêt comme source d'approvisionnement en eau potable. D'ailleurs, la qualité de l'eau souterraine est souvent évaluée en fonction de sa conformité et recommandations de la qualité d'eau potable. Ces normes et recommandations déterminent dans quelle mesure une eau est propre à la consommation humaine. Des facteurs naturels ou humains viennent néanmoins affecter sa qualité par endroits, voire compromettre son usage (Abbasi et Arya 2000).

CHAPPITER I : Présentation de la zone d'étude

Introduction :

Une bonne connaissance de la zone d'étude joue un rôle majeur dans la compréhension et la détermination des facteurs hydriques et climatiques et des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques pour déterminer la qualité de l'eau. Dans ce chapitre, nous nous concentrerons sur la plaine du Haut Cheliff.

I.1.Situation géographique :

La plaine alluviale du Haut Chélif, appelée aussi plaine d'El Khemis appartient à la wilaya de Ain Defla, située à 100 Km au Sud-Ouest d'Alger, appartient au bassin du Chelif, elle couvre une superficie de 359 Km² et un périmètre de 159 Km et de 270 m d'altitude moyenne (Fig1). Elle forme l'un des plus grands réservoirs d'eau souterraine de la région, et qui couvre des communes qui sont entre autres : Arib, Sidi Lakhdar, Khemis Miliana, Ain Sultane, Djendel, BirOuldKhelifa, et Djelida.

Le secteur d'étude est limité

- Au Nord par la continuité occidentale du djebel Zaccar (1579 m d'altitude).
- Au Sud les contreforts de l'Ouarsenis qui culmine près de Bordj-Bounaama
- A l'Est par djebel Gantas (seuil de Djendel) 781m d'altitude
- A l'Ouest par le seuil de DjbelDoui

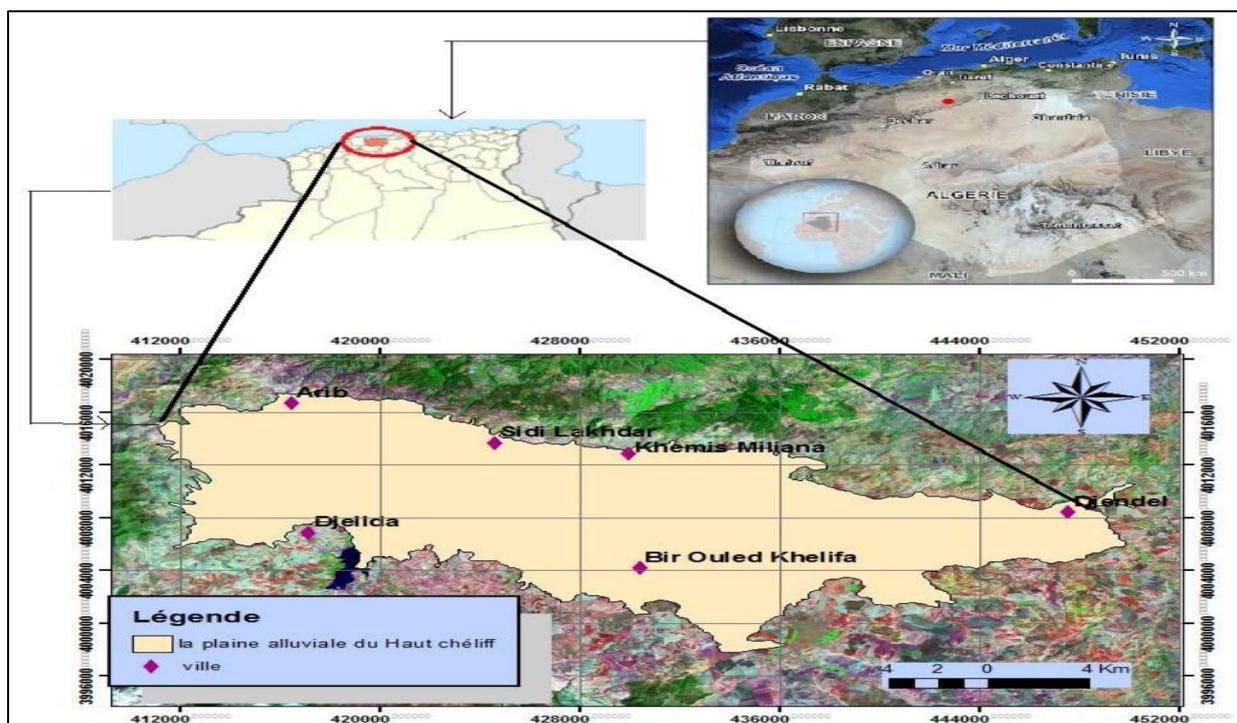


Figure 1. Situation géographique de la plaine alluviale du Haut Cheliff.

I.2. Cadre géomorphologique

I.2.1. Relief

La plaine du Haut Cheliff et fait en moyenne 10,23 km de large sur 36,7km de long et s'étend le long du territoire de la wilaya d'Est en Ouest. La plaine par une altitude moyenne de 300 m, une altitude maximale de 529 m, tandis que l'altitude minimale a été signalée de 207 m.

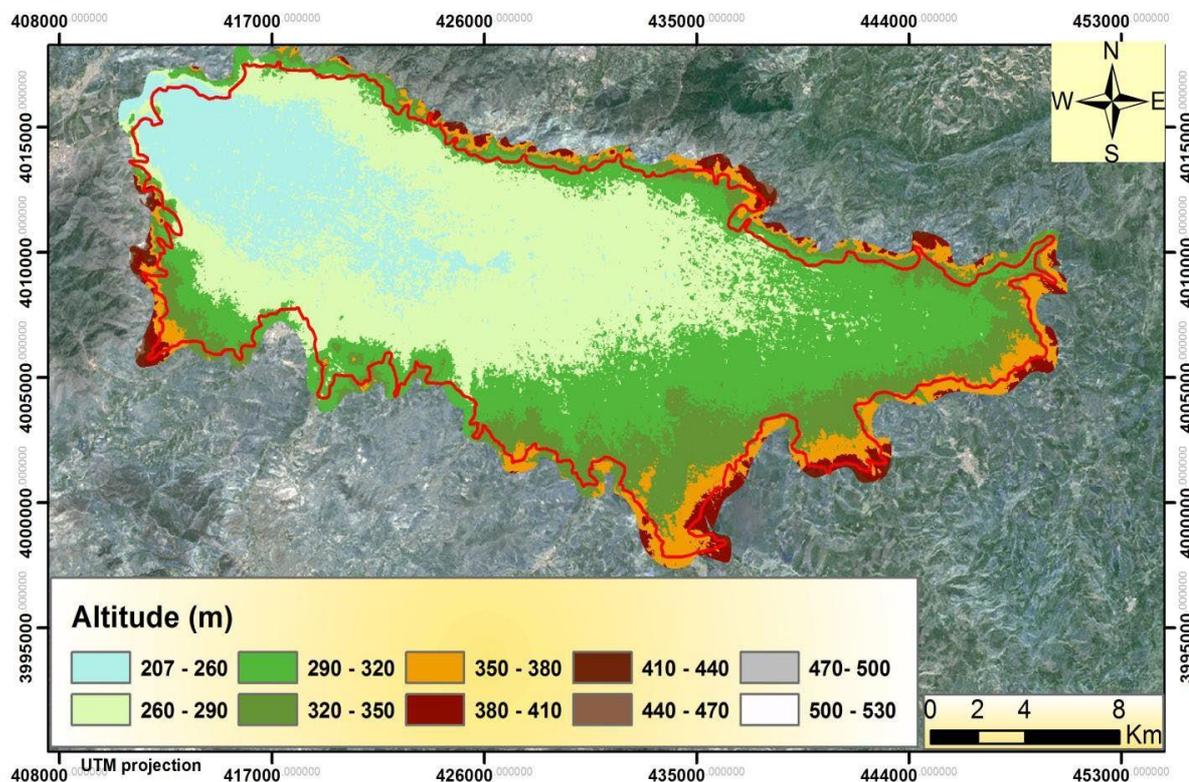


Figure 2. Carte des altitudes en m du secteur d'étude.

I.3.Cadre hydro-climatologique

I.3.1. Climat

Le climat méditerranéen caractérise Le climat de la plaine du Haut Cheliff avec un été chaud et sec à des hivers pluvieux et froids. Cette classification des climats se base sur les données météorologiques de la station régionale d'ANRH de Blida (ANRH, 2020).

I.3.2. Température

Afin de déterminer le caractère climatique d'une région. On a besoin de la température. Les données existantes sont celles des stations gérées par l'agence

Nationale des ressources hydriques (ANRH, 2020). Les températures moyennes annuelles les plus élevées enregistrées dans la zone d'étude, varient entre 14°C et 39°C.

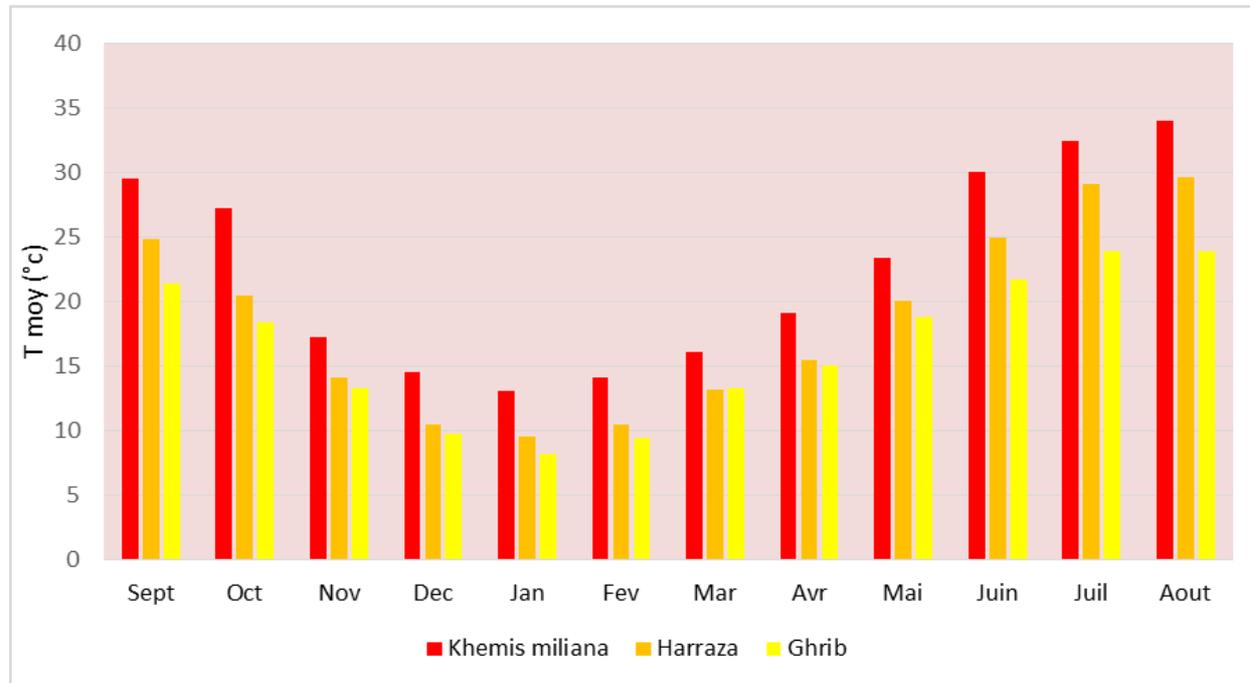


Figure 3 .Histogrammes de variations des températures moyennes mensuelles (1986-2017).

D'après L'histogramme de Température moyenne mensuelle on peut dire qu'il existe un pôle chaud allant du mois de Mai au mois d'Octobre et un autre froid allant du mois de Novembre au mois d'Avril. La Température maximale atteint les 34°C au mois d'Aout et la température minimale atteint les 9,52 °C au mois de Février. Après analyse de l'histogramme on observe que à cause de la présence d'un microclimat causé par les eaux de barrage la température dans la station de Harreza et Ghrib est moins élevée par rapport à la station de Khemis Miliana.

I.3.3. Précipitation

Pendant la période allant de 2000 à 2017, des données de quelques stations pluviométriques de l'ANRH (Figure 4) porte les valeurs moyennes mensuelles (en mm) de la pluviométrie enregistrée pour les cinq stations existant dans la région sur les quelques s'est basée l'étude pluviométrique de la plaine de Khemis Miliana.

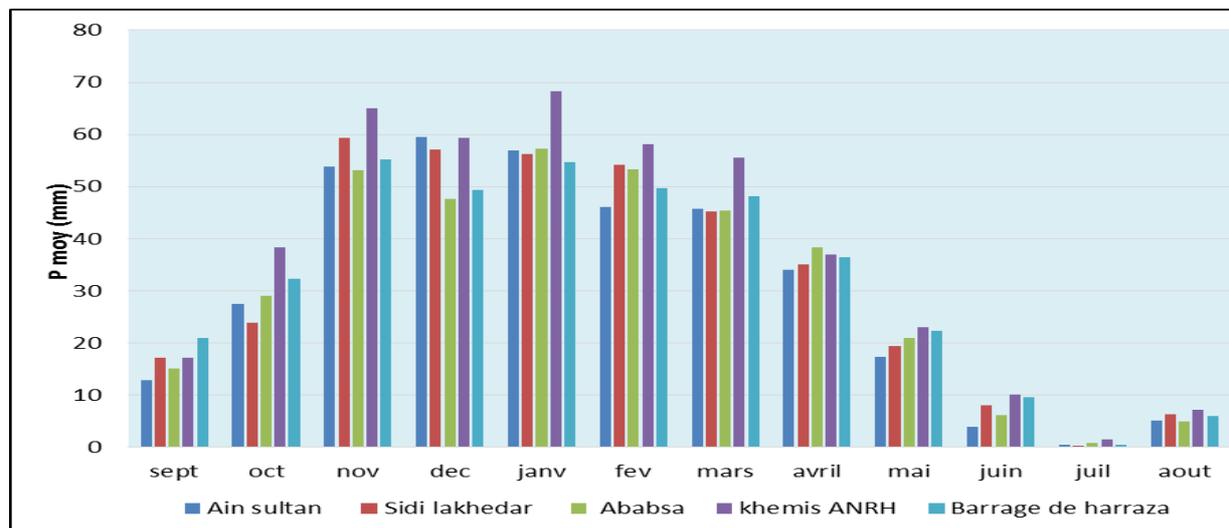


Figure 4. Répartition mensuelle des précipitations (2000 - 2017).

La distribution spatiale des pluies mensuelles suit globalement un gradient décroissant de Septembre à Aout. Au cours de cette période, les pluies les plus importantes sont enregistrées à l'Est et l'Ouest de la Plaine. Pendant les mois de Novembre, Décembre, Janvier et Février, les hauteurs pluviométriques dépassent les 60 mm sur les stations de Khemis ANRH Ain Sultan, Sidi Lakhedar, Barrage Harraza, alors qu'ils atteignent à peine les 10 mm à partir des mois Juin, Juillet et Aout. Ce comportement spatial de la pluviométrie mensuelle au cours de l'année (décrit ci-dessus) montre une division de la période à saison humide (d'Octobre à Avril), où la pluviométrie atteint le maximal et une saison sèche (allant de Juin à la fin de Septembre) (Hadjmoussa 2019).

I.3.4. Evaporation

Au niveau de la station d'El Khemis. Il existe plusieurs méthodes de mesure de l'évaporation. Sachant qu'il s'agit de l'évaporomètre du piche, Bac Colorado et du bac classe A. A la station expérimentale, on préconise l'utilisation du bac classe A.

Tableau 2: Moyenne mensuelle de l'évaporation pour une période (2003-2014)

Année	Sép	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Evaporation (mm)	163,8	112,15	59,81	39,24	36,83	48,95	86,11	79,11	119,98	173,63	224,49	263,09

(SOURCE: ANRH D'El Khemis)

Pendant la période 2003-2014 les données de l'évaporation enregistrées à la Station de Khemis ; on observe deux Périodes bien distinctes tout comme les températures et les précipitations que la variation de l'évaporation mensuelle :

- Une période de forte évaporation partant du mois Mai au mois d'Octobre dont la valeur maximale atteinte est de 263.07 mm
- Une période de faible évaporation allant du mois de Novembre au mois d'Avril ou la valeur minimale atteinte est de 36,86 mm
-

I.3.5. Lithologie du bassin versant

Il est caractérisé par les massifs calcaire crétacés qui représente des terrains à dominante marneuse qui composent un relief compartimenté (Djebel Gurioum, Fartes...). Les phénomènes karstiques sont très développés dans la partie du Sud de ces massifs calcaires, on distingue aussi les massifs septentrionaux, les plaines plio-quaternaires, les cônes de déjection cimentés, les glacis, les zones de remblaiement argilo-limoneux (Demmak.A.).

Tableau 3 Caractéristiques morphométriques des bassins versants de la région d'étude.

Sous bassin	Nom	Surface (A) (km ²)	Périmètre (P) (km)	Altitude moyenne (m)	Altitude minimale (m)	Altitude maximale (m)	Indice de compacité (Kc)	Indice de pente global (Ig) (m/km)	Dénivelée spécifique (Ds) (m)	Classe de relief
0115	Harbil	767,29	168,95	600	300	1300	1,70	15,01	415,78	Fort
0116	Deurdeur	743,97	142,68	980	300	1800	1,46	19,41	568,42	Très fort
0117	Harraza	857,64	185,65	575	300	1600	1,76	23,87	651,09	Très fort

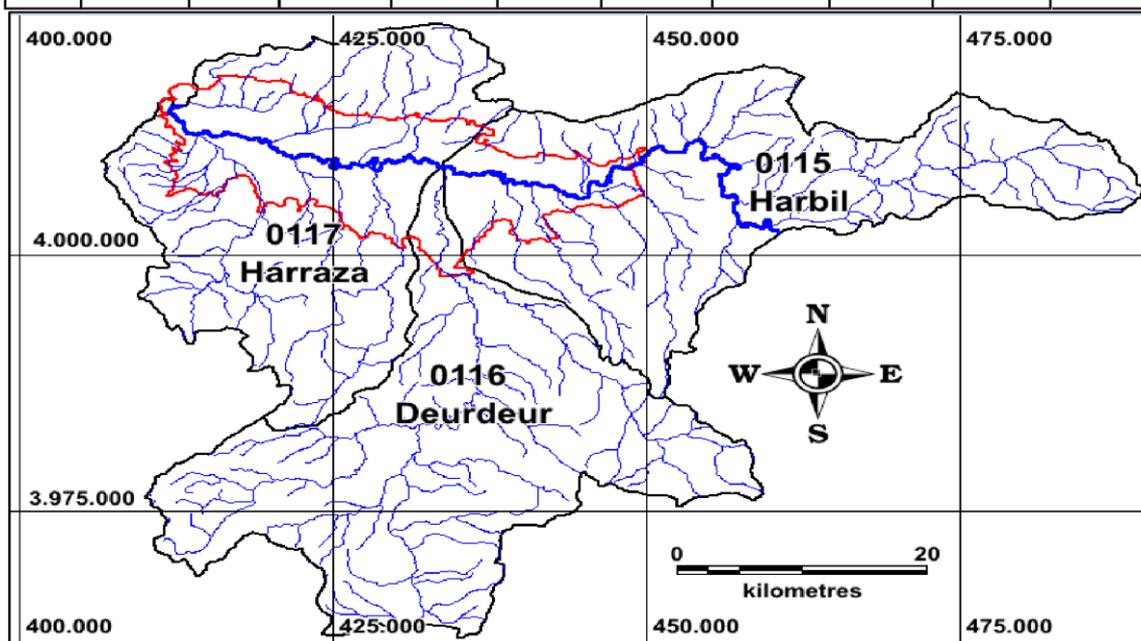


Figure 5 Carte des sous bassins versants de la région d'étude

I.3.6. Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique se définit comme un ensemble hiérarchisé et structuré de chenaux qui assurent le drainage superficiel, permanent ou temporaire, d'un bassin versant ou d'une région donnée.

La hiérarchie du réseau hydrographique se manifeste par l'importance croissante de ses éléments, depuis les ramifications originelles de l'amont dépourvues de tributaires (dites d'ordre 1 dans la classification de Horton-Strahler, (1952) jusqu'au collecteur principal.

La plaine d'alluviale de Khemis Miliana est traversée d'Est en Ouest par Oued Chelif et ses principaux affluents qui alimentent la zone et qui sont oued Souffay, Oued Millet et Oued

Boutane au Nord, Oued Deurdeur, Oued Massine et oued Harreza au Sud

Tableau 4: Réseau hydrographique de la plaine de Khemis Miliana (Bong.I ; Mezian.IS ,2013).

Oued	Chélif	Souffay	Millet et Butane	Deurdeur	Massine	Harreza	Djelida
Longueur (m)	59275.67	4305.85	30897	5171	6424	10273	5665
Direction d'écoulement	E-W	NNE-SSO	E-W	SSO-NNE	SSE-NNO	SE-NO	ESE-O NO

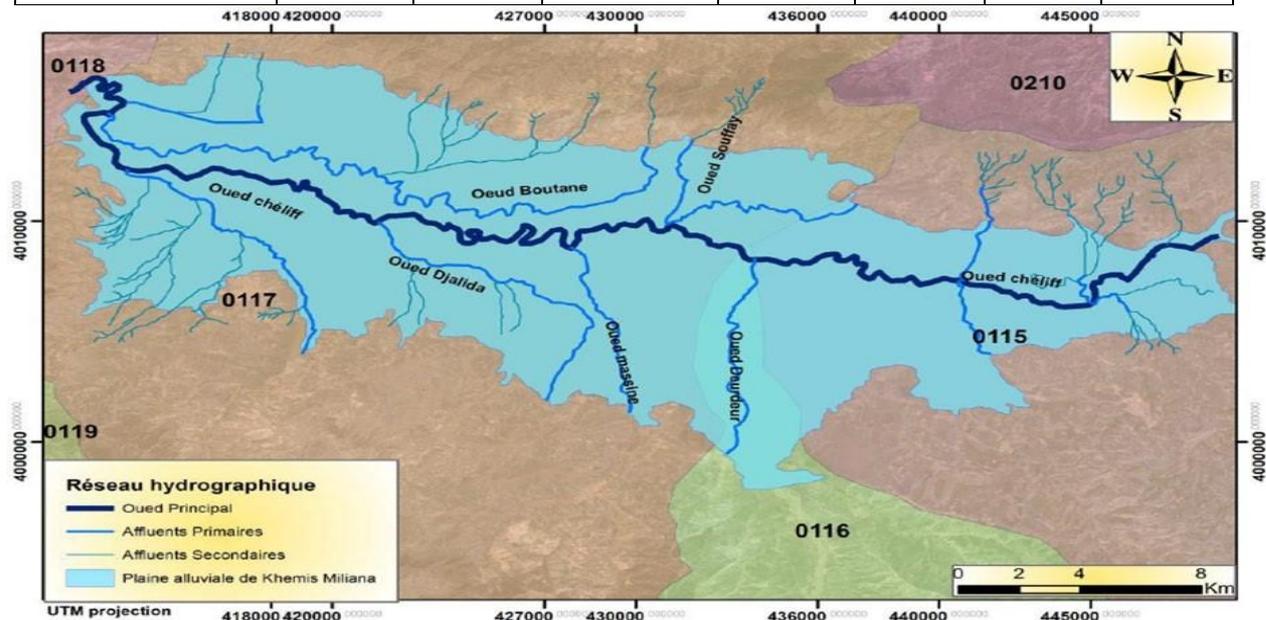


Figure 6. Réseau hydrographique de la Plaine de Khemis Miliana.

I.4.Cadre Géologie et Hydrogéologie

I.4.1. Géologie

I.4.1.1. Description litho-stratigraphique des formations:

La plaine du Haut Chéiff, s'inscrit dans l'ensemble des terrains de l'Atlas Tellien, elle correspond à un synclinal Néogène reposant sur le substratum Crétacé du sillon subsidient Tellien, entre le massif de Boumaad et les contreforts du Ouarsenis.

Les formations existantes dans la plaine sont essentiellement représentées par des dépôts de marnes de grés et alluvions qui se sont accumulés dans le bassin subsidés durant tout le MioPlio-Quaternaire. Cet ensemble est dû à la superposition de plusieurs phases de plissements et de déformations d'âge Primaire, Secondaire et Tertiaire (Fig 7)

Les terrains qui forment le coeur du synclinal sont le Miocène supérieur. Ils constituent une couche gréseuse au sommet et passent vers le bas à des terrains plus argileux. Cet enchainement d'événement constitue une série stratigraphique comme le montre la figure (Fig9).

La plaine du Haut Chéiff correspond à une vaste zone déprimée d'orientation Est-Ouest allongés grossièrement d'Est en Ouest, sur plus de 60 Km de long et une moyenne de 25 Km de large, à l'intérieur de laquelle les formations Mio-Plio-Quaternaire sont accumulées. Les coupes lithologiques transversales effectuées dans la plaine du Haut Chéiff, font apparaître l'allure synclinale des différentes formations constituant le sous-sol (Figr 7). Ces dépôts se sont effectués à la faveur de transgressions successives. Les massifs environnants constituent les pointements autochtones jurassiques et primaires du Zaccar, du Doui (In Djeda, 1987). (Fig.8).

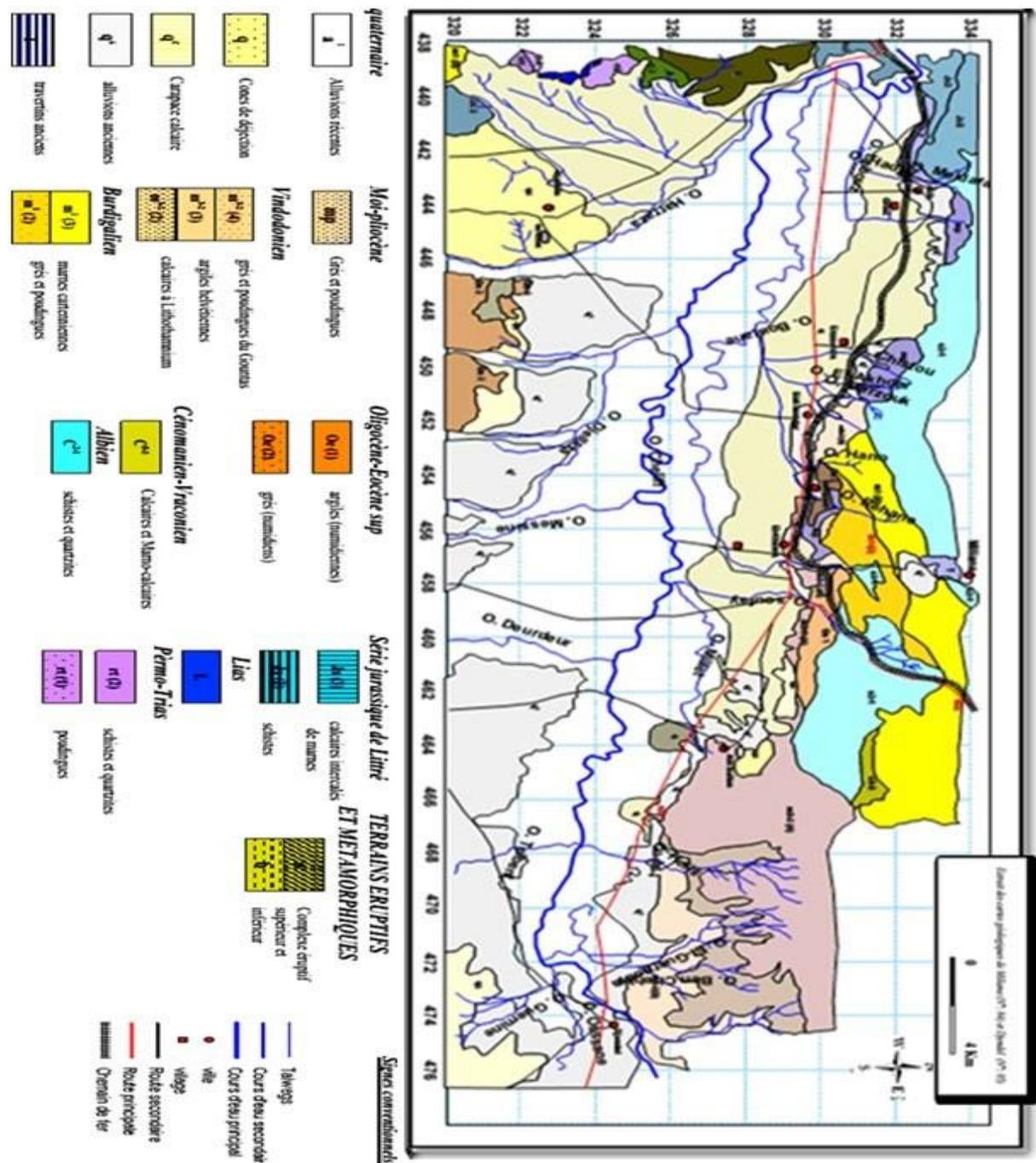
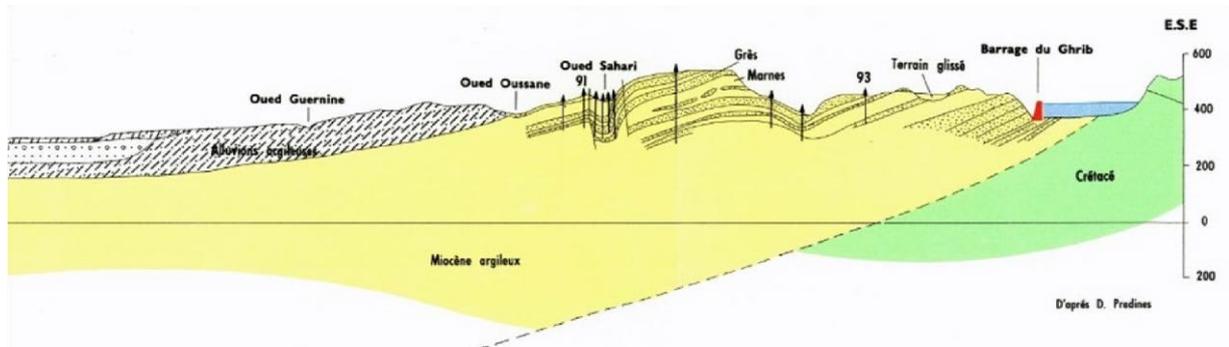


Figure 7. Carte géologique (source : Touhari et al, 2015)

Les coupes lithologiques transversales effectuées dans la plaine du Haut Chéouf (fig.8) font apparaitre la dépression subsidier et l'allure en synclinal de différentes formations constituant le sous-sol, on peut observer de bas en haut (fig.9) :



Carte : 1/200 000

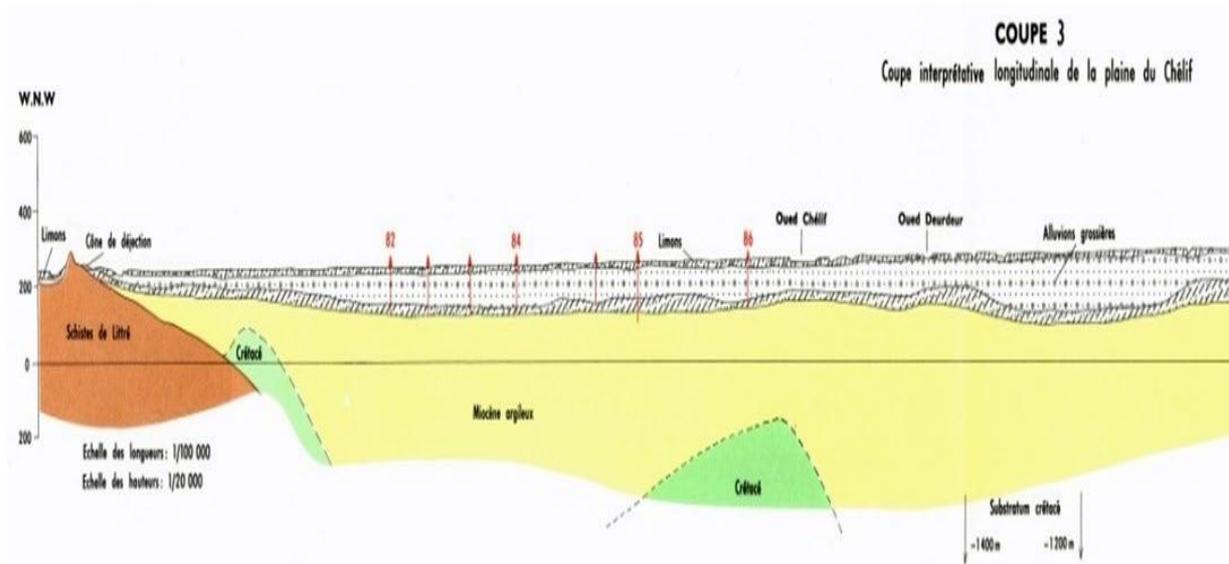
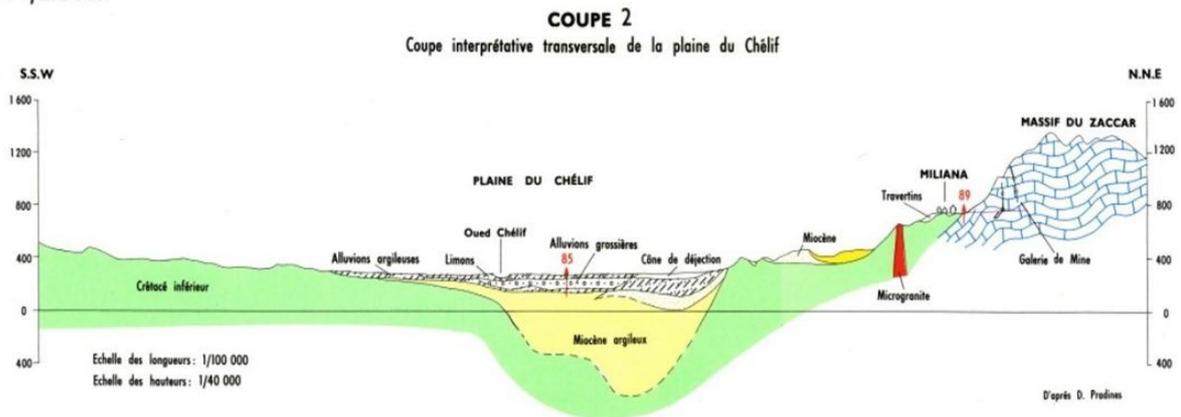


Figure 8. Coupe transversale dans la plaine du Haut Cheliff (ANRH, 2005)

Epaisseur (m)	Log	Lithologie	Age		Comportement Hydrogéologique
10 à 20		Limons et argiles	Quaternaire récent		Semi - perméable
100		Alluvions grossières (grès et poudingues)	Quaternaire ancien		Perméable
100		Alluvions argileuses (sables, graviers, argiles)	Pliocène		Imperméable
100		Argiles			Perméable
200		Argiles	Miocène supérieur		Imperméable
?					Perméable
300				Calcaires	
		Marnes	Miocène inférieur		Imperméable
20		Calcaires			Perméable
?		Grès et quartzitiques	Eocène		Perméable
?		Argiles et schistes	Sénonien		Imperméable
20 à 60		Calcaires et marnes	Cénomannien		Imperméable
1000		Schistes et bancs de quartzites	Albien		Imperméable
800 à 1000		Argiles schisteuses	Néocomien		Imperméable
1000		Calcaires	Jurassique		Perméable
?		Gypse et argiles	Trias		Semi-perméable
500		Schistes et quartzites	Permo-Trias		Imperméable

Figure 9. Log litho-stratigraphique et hydrogéologique de la plaine alluviale de Khemis.

I.4.1.2. Stratigraphie

Dans cette étude on s'est basé essentiellement sur les caractéristiques litho-stratigraphiques, d'après l'analyse du log litho-stratigraphique nous pouvons ressortir les différentes formations géologiques, représenté par des terrains anté-miocènes et les terrains de la plaine du Cheliff qui représente l'aquifère même de la plaine (Fig 9).

I.4.1.2.1. Les terreanté-miocènes

I.4.1.2.1.1. Le Primaire

Le primaire d'une épaisseur de 500 m, Il affleure à l'Ouest du Doui et au Nord du Zaccar, est constitué d'une alternance des schistes noirs graphiteux et de bancs de quartzites et argiles.

I.4.1.2.1.2. Le Trias

Le trias est généralement constitué par des dolomies et des calcaires dolomitiques, il affleure dans le massif de Doui à l'Ouest de la plaine et au Nord dans le Zaccar.

I.4.1.2.1.3. Le jurassique

Le jurassique est constitué, dans le massif de Zaccar par des calcaires massifs, compacts, fracturés et karstifiés et surmonté par des schistes gréseux et des marno-calcaires.

L'ensemble de la série attient une épaisseur de 700 m environ.

Dans le djebel Douai, le jurassique est représenté essentiellement par des niveaux de calcaires dolomitiques d'épaisseur avoisinant 80 m.

I.4.1.2.1.4. Le Crétacé

Le crétacé affleure sur les bordures latérales de la plaine, il est représenté de la base au sommet par :

- Des argiles schisteuses du Néo-Miocène d'une épaisseur de 800 m environ au Nord et à l'Ouest de Zaccar.
- Des faciès flyschs de l'albien qui se développe dans le massif de boumàad.
- Des marnes avec des intercalations de bancs de calcaire d'âge Sénonien.

I.4.1.2.2. Les terre poste-miocènes

I.4.1.2.2.1. Le Miocène

Le Miocène peut atteindre 300 m d'épaisseur et il est constitué de la base au sommet par :

- **Le Miocène inférieur (Burdigalien) :**

Le Miocène inférieur repose sur des terrains plus anciens Éocènes et Crétacés et débute par une formation conglomératique d'épaisseur environ 220 m.

- **Le Miocène supérieur (vindobonien) :**

Le Miocène supérieur est constitué par une série représentée de la base au sommet par Des niveaux conglomératiques épais de 1 à 2 à ciment sablo marneux, surmontés par un niveau marneux de couleur bleu d'une épaisseur d'environ 50 m, et Des marnes blanches alternant avec quelques bancs siliceux couronnés par un dépôt de grés et de sable d'une épaisseur d'environ 100 m.

I.4.1.2.2.2. Le Mio- pliocène

Le Mio- pliocène est constitué par des galets quartzeux, des conglomérats, des grés et des argiles détritiques ainsi que le travertin ancien déposé au niveau des sources du Zaccar

I.4.1.2.2.3. Le pliocène

On distingue un Pliocène marin et un Pliocène continental :

- **Le pliocène supérieur (continental) :**

Le pliocène continental est formé de conglomérats à éléments gréseux à grésocalcaires et des sables non consolidés. Les dépôts sableux rouges à stratifications entre croisées qui succèdent aux conglomérats précédents appartiennent au villafranchien. Ces dépôts reposent le plus souvent sur des limons gris. Parfois, les conglomérats du pliocène supérieur n'existent pas et les formations rouges du Villafranchien se trouvent alors en contact des grés astiens.

- **Le pliocène inférieur (marin)**

Il est représenté par une série marneuse qui débute par des niveaux détritiques gréseux ou sableux et parfois conglomératiques, ensuite on a un passage progressif dans la partie supérieure à des marnes sableuses et sables argileux formant tous les termes de passage aux grés Astiens.

I.4.1.2.2.4. Le Quaternaire

Les dépôts quaternaires sont continentaux. On distingue un Quaternaire ancien et un Quaternaire récent.

- **Le Quaternaire ancien :**

Il est représenté essentiellement par des alluvions conglomératiques : galets, graviers et des sables.

Les alluvions du Quaternaire ancien sont observées au pied du massif de Zaccar et en particulier à l'est de Sidi Lakhdar. Elles forment les vastes collines en bordure Sud de la plaine d'Elkhemis.

- **Le Quaternaire récent :**

Le Quaternaire récent est formé essentiellement de limon, dont l'épaisseur varie de 50 à 200 m, on y distingue de bas en haut :

- Des limons bruns à rouges, les niveaux les plus anciens sont discordants sur le Quaternaire ancien. Ces limons recouvrent la presque totalité de la dépression sous forme d'alternance sablo gréseuse.

- Des Grés, visibles surtout sur les berges des oueds, forment des accumulations de niveaux très fins dont les épaisseurs peuvent atteindre cinq mètres. Ce sont d'anciennes vases asséchées.

- Ces formations proviennent de l'érosion des reliefs avoisinants.

- Des alluvions actuelles formés de limons, de sables, de galets et de cailloutis au fond des talwegs et dans les zones de confluence des oueds et des méandres abandonnés

I.4.2. Hydrogéologie

La synthèse géologique de la région, argumentée par une description lithologique et structurale et en s'appuyant sur l'examen de la série stratigraphique a permis de ressortir les niveaux aquifères suivants :

I.4.2.1. Les calcaires Jurassiques

Les calcaires Jurassiques affleurent au sud d'Ain Defla avec une épaisseur considérables (environ 100 m jusqu'à 400m et plus), Les calcaires d'âge Jurassique constituent un important réservoir Karstique qui se particularise par la présence des fissures représentatives d'un milieu approprié pour la circulation et le stockage de l'eau souterraine. Toutefois, la densité et la répartition mal connues et des forages posent d'énormes problèmes pour l'implantation des puits et des forages leur puissance peut atteindre les 400 m en raison des directions préférentielles que peuvent prendre les filets d'eau lorsqu'ils sont sollicités par un

captage ; des essais de traçage et des études spéléologique seront d'un grand intérêt hydrogéologique.

I.4.2.2. Les aquifères du Miocène

Il se présente sous forme de conglomérats plus ou moins argileux et sableux. Les calcaires du Miocène affleurent le long de la limite Sud de la vallée.

L'observation de ces affleurements et les données de forages, suggèrent la présence d'espaces vides et de fissures internes ouvertes. Cette situation est provoquée par dissolution des carbonates sous l'influence de l'infiltration de l'eau de pluie, particulièrement le long des surfaces de contact. L'aquifère c'est développé dans ces espaces vides.

I.4.2.3. Les aquifères du Pliocène

Ce sont essentiellement les grès sableux jaunâtres de l'Astien, qui vont voir leur sommet se transformer en sables dunaires à hélix. L'épaisseur est très variable atteignant quelquefois les 100 m au centre de la plaine et quelques mètres aux affleurements.

I.4.2.4. Les aquifères alluvionnaires du Quaternaire

Les formations alluvionnaires du Quaternaire constituent l'aquifère le plus exploité dans toute la plaine du Haut-Chélif. Les descriptions lithologiques des forages montrent qu'un pourcentage important des matériaux traversés est constitué par des sables, des graviers et des grès. Il existe plusieurs forages et puits traditionnels qui captent cet aquifère avec une profondeur variante entre 5 et 100 m.

I.5. Hydrodynamique de l'aquifère

I.5.1. Inventaire des points d'eau

L'inventaire qu'on a utilisé est réalisé par l'ANRH en collaboration avec la DRE de Ain Défla recense un réseau assez dense réparti sur toute la plaine du Haut Chélif. Avec 40 puits domestiques, 49 forages pour l'alimentation en eau potable et 4 piézométriques.

I.5.2. La piézométrie

La reconnaissance la direction générale de l'écoulement et les zones d'alimentation et de dépressions sont permis par Le suivi de l'évolution piézométrique de la nappe dans le temps et dans l'espace qui permet aussi d'avoir une idée sur le temps de séjour des eaux d'infiltration dans la couche aquifère et

par conséquent nous informe sur le degré des échanges géochimiques entre l'eau et la roche. La détermination de l'itinéraire des eaux souterraines le moyen de transport des substances minérales et organiques renseigne sur leur minéralisation et l'origine de leur pollution.

I.5.3. Interprétation de la carte piézométrique juin 2013

L'analyse de la carte piézométrique des hautes eaux (Juin 2013) montre que la circulation des eaux souterraines dans la nappe alluviale de Khémis Miliana se fait d'Est vers l'Ouest. Les courbes hydro-isohypses se resserrent à l'amont avec un gradient hydraulique important de l'ordre de 0,09 et dans la partie sud-est avec un gradient hydraulique de l'ordre de 0,01. Dans la partie centrale les courbes sont plus espacées avec un gradient hydraulique de 0,008. En aval, les courbes convergent vers un même axe de drainage. (Fig10) (Attafi.S 2018)

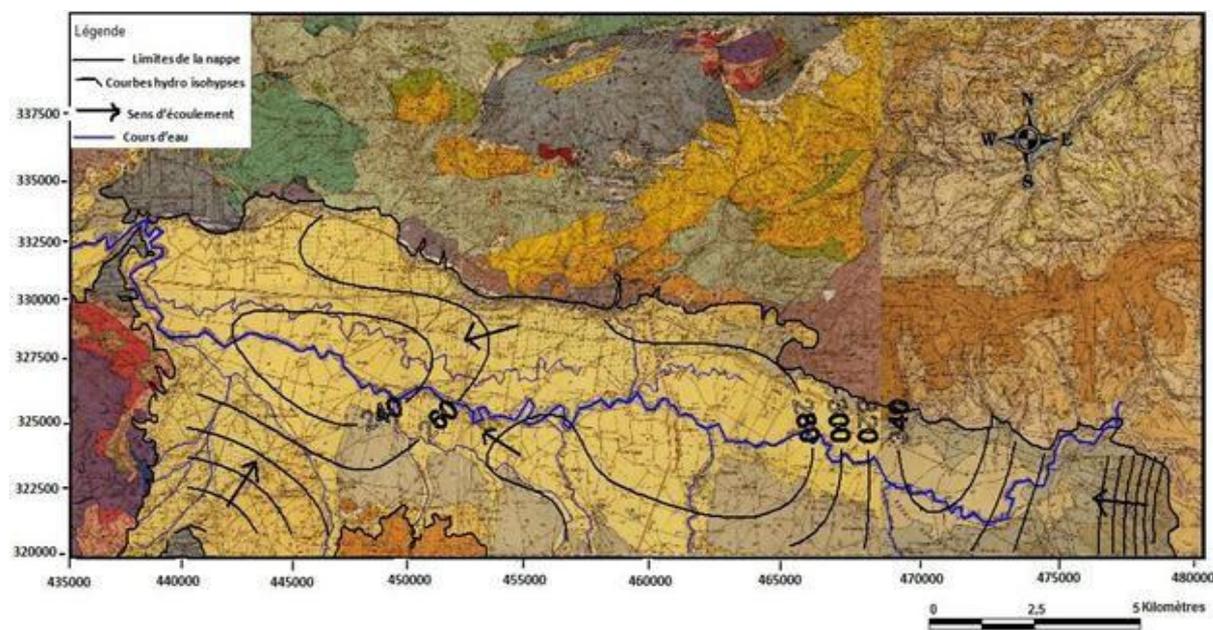


Figure 10. Carte piézométrique de la nappe alluviale du Haut Chélif (Période des hautes eaux : juin 2013) (Attafi 2018)

I.5.4. Carte piézométrique novembre 2013

Les observations sont les mêmes que celles faites sur la carte précédente, elles possèdent la même morphologie avec, néanmoins, une diminution des fluctuations dans l'ensemble de la nappe traduisant la faible recharge durant cette période (Fig 11) (Attafi 2018)

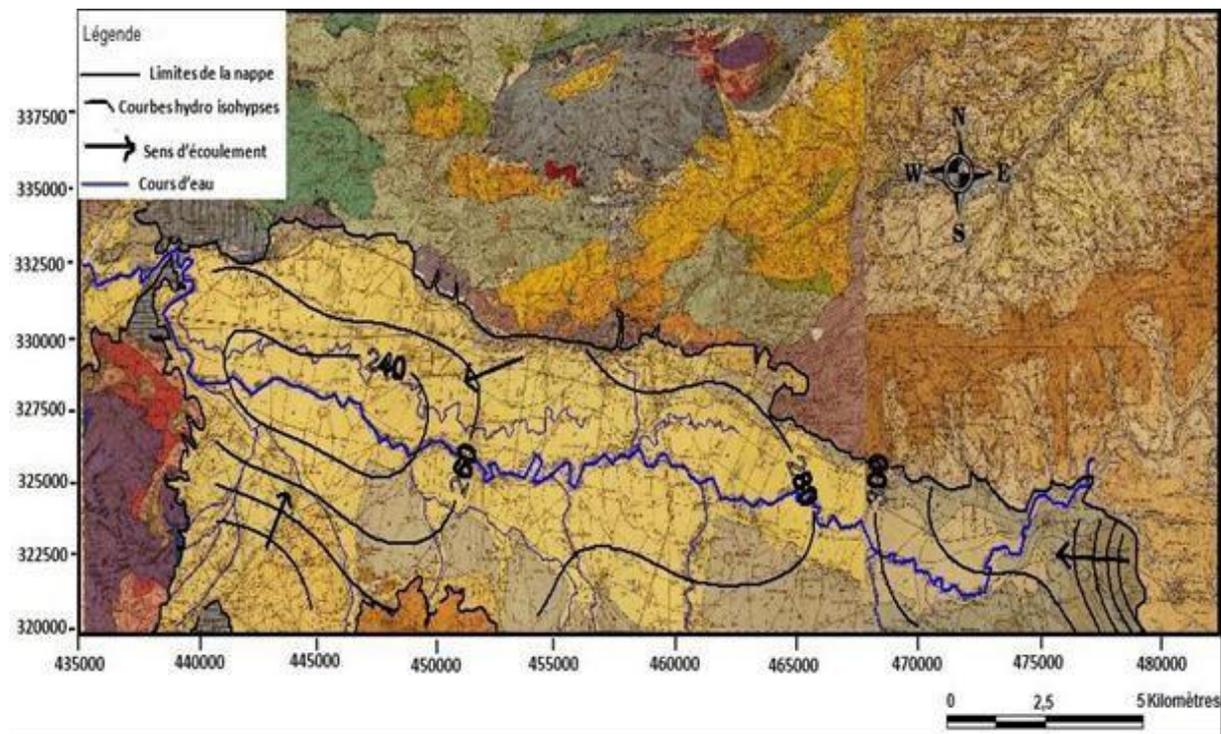


Figure 11: Carte piézométrique de la nappe alluviale du Haut Chélif (Période des basses eaux : novembre 2013) (Attafi 2018)

I.5.5. Alimentation de la nappe

La nappe est bordée au nord et au nord-est par les affleurements gréseux perméables du Mio-pliocène qui constituent un aquifère important qui plonge sous la terrasse alluviale quaternaire, et les grès et poudingues bordent la nappe au sud. La forte pente du massif schisto-calcaire du Zaccar très raviné favorise le ruissellement dans la partie nord qui provoque le débordement de nombreux oueds situés à la rive droite de l'oued principal.

Les eaux d'infiltration résultant des apports des eaux météoritiques tombant sur la plaine, et des eaux d'irrigation excédentaires et des eaux de ruissellement de l'oued Chélif et de ses affluents, assurent l'alimentation de la nappe mio-plio-quaternaire.

I.6. Cadre Pédologie

Les sols du Haut Chélif sont caractérisés par la prédominance d'éléments fins donc c'est la catégorie des terres fortes. La plupart des sols ont un fort pourcentage de calcaire actif supérieur à 10%, les sols ne sont pas salés et de types argileux limoneux (Legoupil, 1974).

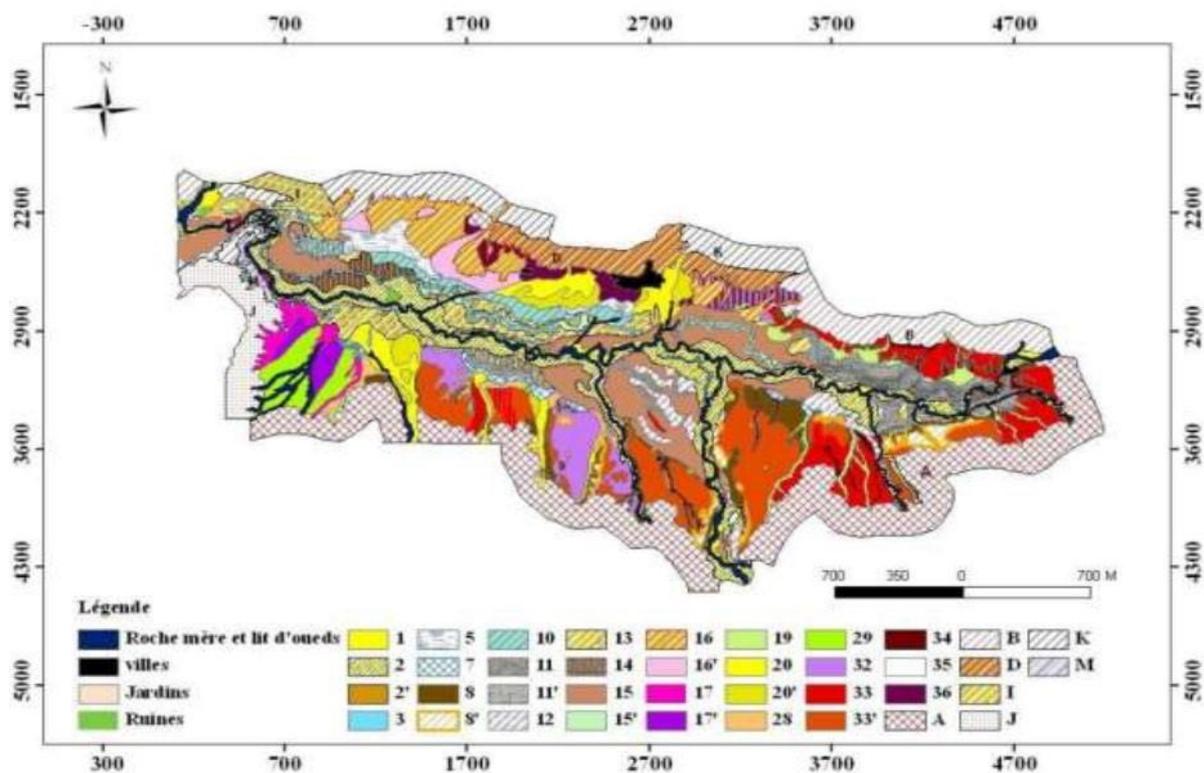


Figure 12 . La carte des sols de la région du Haut Cheliff (BOULAIN, 1957)

D'après la carte pédologique de la plaine du Haut Cheliff Boulaïne, 1957 (Fig 12), la majorité des sols constituant la région sont des sols limoneux argileux. Les sols sableux sont principalement représentés le long d'Oued Cheliff alors que les sols argileux sont rencontrés dans la partie Nord les sols limoneux sont plus présents aux bordures extrêmes Nord et extrêmes Sud.

Le sol est souvent représenté comme un environnement convenable pour l'accumulation et la transformation de matière, ces processus peuvent donner naissance à de nouveaux sols, déterminés par la couche de sédiments qui les recouvrent.

I.7.Socio-économique

I.7.1. Population (Habitation)

La population dans le bassin versant du Haut Cheliff à la fin 2016 était à 833 742 habitants avec un taux d'accroissement de 1,3% dont 82,55% sont concentrés en zones agglomérées et 17,45 % uniquement en zone rurale.

Cette population est plus condensée dans les agglomérations qui sont localisées au Nord de la plaine.

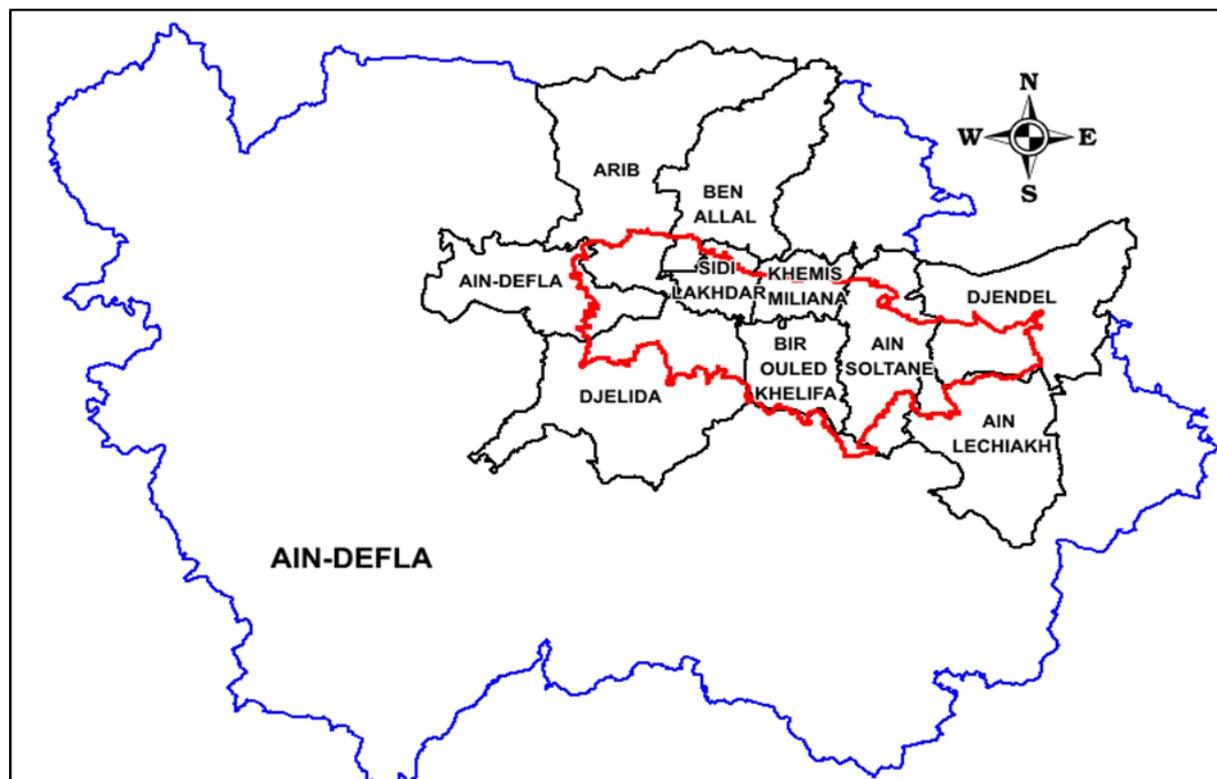


Figure 13 : Situation des communes de la plaine du Haut Cheliff

Les plus significatives sont respectivement d'Est en Ouest : Djendel, Ain sultan, Khemis Miliana, Sidi Lakhdar et Arib, malgré qu'au Sud de la plaine les agglomérations sont minimales et moins denses, les plus importantes agglomérations sont Djelida et Bir Ouled Khalifa (Source : DLEP).

I.7.2. Agriculture

La région du Haut Cheliff en général est une région agricole, et la principale culture y est pratiquée Ce sont les céréales, les fourrages, les cultures maraîchères et les cultures industrielles, Arbres fruitiers et légumineuses.

Pour l'élevage La production animale dans la vallée du Haut Cheliff est ce concentré dans essentiellement aviaire puis ovine, bovine et caprine.

I.7.3. Occupation du sol

D'après la carte d'occupation du sol (fig 14), La région du Haut Cheliff en général, est à vocation agricole. Occupé essentiellement par l'agriculture 65%, et des zones urbanisation (semi urbaine et rurale), les route, bâtiment.

On constate que Les cultures céréalières et maraîchères, arboriculture fruitière et oléiculture en s'étalant sur toute la plaine, cultures industrielles occupent en plaine,

et dans les zones de montagnes, occupent par les cultures en sec (céréales et fourrages)

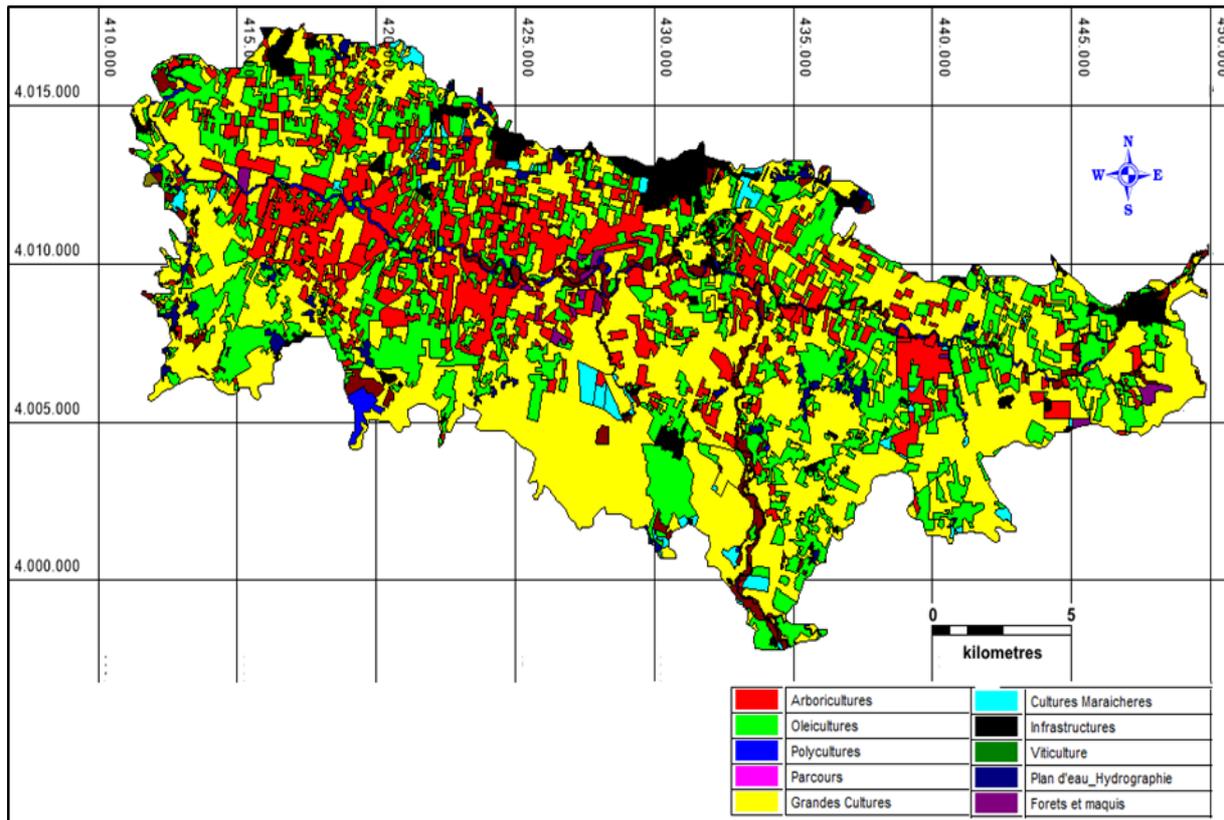


Figure 14. Occupation de sol de la plaine du Haut Cheliff.

CHAPITER II :

Matériels et Méthodes

Introduction :

L'eau est une ressource naturelle indispensable à la vie dans tout écosystème. Le maintien de sa qualité est une préoccupation majeure pour une société qui doit subvenir à des besoins en eau de plus en plus importants. Elle joue un rôle très important dans le développement socioéconomique aussi bien au niveau local, régional que national. Ainsi, les ressources en eau constituent une préoccupation majeure dans les pays à climats arides ou semi-arides comme elles sont absolument essentielles pour le développement des activités humaines, économiques et sociales.

Objectif de cette étude est de déterminer la qualité des eaux souterraines en utilisant un indice numérique WQI (Water Quality Index). Et permet d'apprécier qualité des eaux en les classant en cinq catégories : excellente, bonne, médiocre, très médiocre et inconvenable. La cartographie de cet indice met en lumière la répartition spatiale de ces classes, afin de cibler les zones ou l'eau ne convient pas à la consommation humaine.

II.1. Méthode de caractérisation et étude de la qualité des eaux

II.1.1. Echantillonnage

Dans le cadre de l'évaluation de la qualité des eaux souterraines, Une neuf de points d'échantillonnage (forages et puits) ont été sélectionnés dans la zone d'étude (Fig 15), L'échantillonnage ont été prélevés et Analysés durant la période d'Avril 2020 à Octobre 2020. Assisté par l'équipe de l'ANRH.

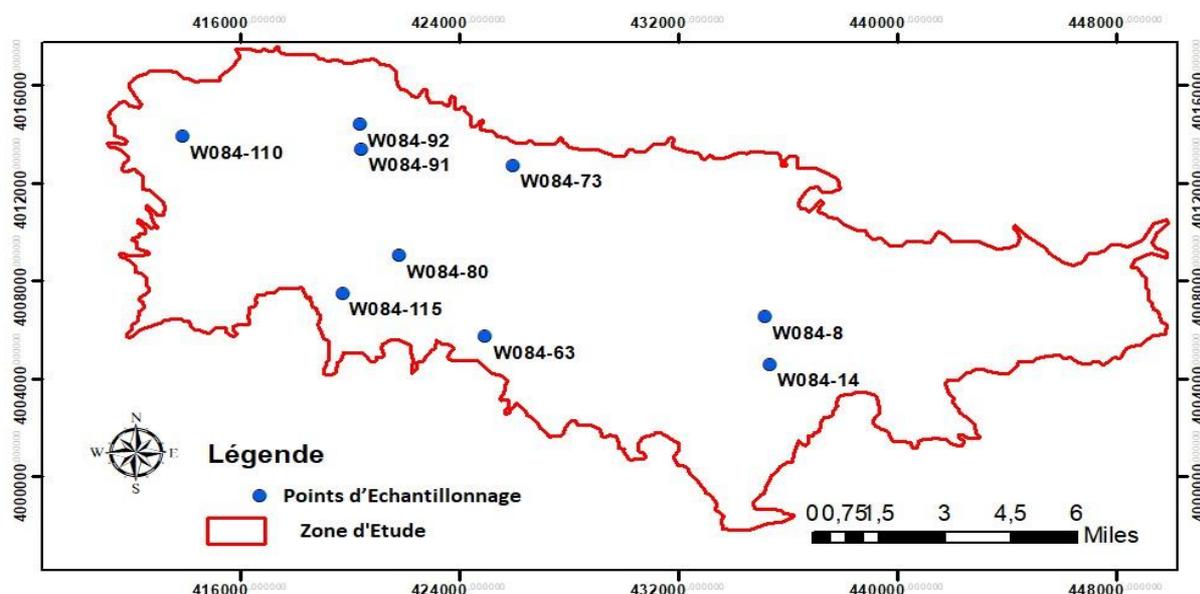


Figure 15 . Localisations des points d'échantillonnages d'eau dans la zone d'étude.

II.1.2. Analyse physico-chimie

Dans cette étude, pour le calcul de l'indice de qualité de l'eau, nous avons utilisé onze paramètres analysés de neuf points d'eaux distribuées sur toute la plaine. Les échantillons d'eau ont été recueillies en bouteilles de polythène et ont été analysés dans le laboratoire de l'ANRH, Les paramètres utilisés sont le ; (pH, CE en/cm, RS, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Cl⁻, HCO₃⁻, NO₃⁻, SO₄⁻).

La précision et la reproductibilité de mesure analytique et la balance ionique les ions étudiés étaient de ± 5%.

La balance ionique (BI) a été calculée en pourcentage avec la relation suivante :

$$BI(\%) = 100 \times \left| \frac{\sum \text{cations} - \sum \text{anions}}{\sum \text{cations} + \sum \text{anions}} \right|$$

- **Σ Cations** : Somme des cations majeurs contenus dans l'eau en milliéquivalent.
- **Σ Anions** : Somme des anions majeurs contenus dans l'eau en milliéquivalent.

II.1.3. Etude Hydrochimie

II.1.3.1. Méthodes statistiques

II.1.3.1.1. Statistiques Élémentaires

Pour les mesures statistiques, telles que minimum, maximum, moyenne et écart type, ont été effectuées à l'aide du logiciel Microsoft Office 2019 (Excel)

II.1.3.1.2. Statistiques hiérarchie

Nous avons utilisé le logiciel SPSS version 26 est un logiciel bien apprécié et l'un des plus populaires logiciel de statistiques et avec licence essai pour Windows, qui fait partie de la catégorie Sciences & Education et la sous-catégorie divers et qui a été développée par IBM. SPSS est un logiciel de statistique qui analyse toutes les données essentielles résultant des activités d'une entreprise. Les données recueillies à partir des volumes de ventes, des revenus, des performances des employés et d'innombrables autres facteurs sont utilisées pour créer des graphiques statistiques, qui indiquent les tendances et les facteurs clés.

II.1.3.2. Méthodes graphiques

Les faciès chimiques sont couramment utilisés en hydrogéologie pour la description de la composition des eaux naturelles. La nécessité d'une comparaison aisée voire une classification des eaux naturelles nécessite l'utilisation des représentations graphiques.

Les résultats hydrochimiques sont reportés sur le diagramme Piper, Chadha en utilisant Logiciel Diagramme 6.73 et Durov en utilisant logiciel Graphe et Diagramme, et ce pour évaluer les mécanismes de dominance des faciès hydrogéochimiques de la zone d'étude.

II.1.3.2.1. Piper

Il permet de présenter sur un même schéma un grand nombre d'analyse qui peuvent être comparées visuellement de façon simple. Les unités de mesure utilisées dans le diagramme Piper sont % de mg/l. (Ammouche, Farah 2013)

Ce type de diagramme permet de représenter plusieurs échantillons d'eau simultanément. Il est composé de deux triangles, permettant de représenter le faciès cationique et le faciès anionique, et d'un losange synthétisant le faciès global. Les nuages de points concentrés dans un pôle représentent pour les différents échantillons la combinaison des éléments cationiques et anioniques. Le diagramme de Piper est particulièrement adapté à l'étude de l'évolution des faciès des eaux lorsque la minéralisation augmente, ou bien pour comparer des groupes d'échantillons entre eux et indiquer les types de cations et anions dominants. (GOUAIDIA.L 2008) (fig 16.a)

II.1.3.2.2. Chadha

Diagramme Chadha utilisé est une version quelque peu modifiée du diagramme de piper et du diagramme de Durov élargi. La différence est que les deux triangles équilatéraux ont été écartés dans le diagramme Chdha subdivisé en quatre domaines principaux (fig16.b), afin de déterminer le processus hydrochimique mis en jeu pendant l'acquisition de la minéralisation.

II.1.3.2.3. Durov

Le diagramme de Durov est base sur les mêmes deux triangles utilises par le diagramme de Piper, et il utilise également des valeurs en % de meq. L⁻¹. Ce diagramme remplace le losange du Piper par un carré (fig16.c).

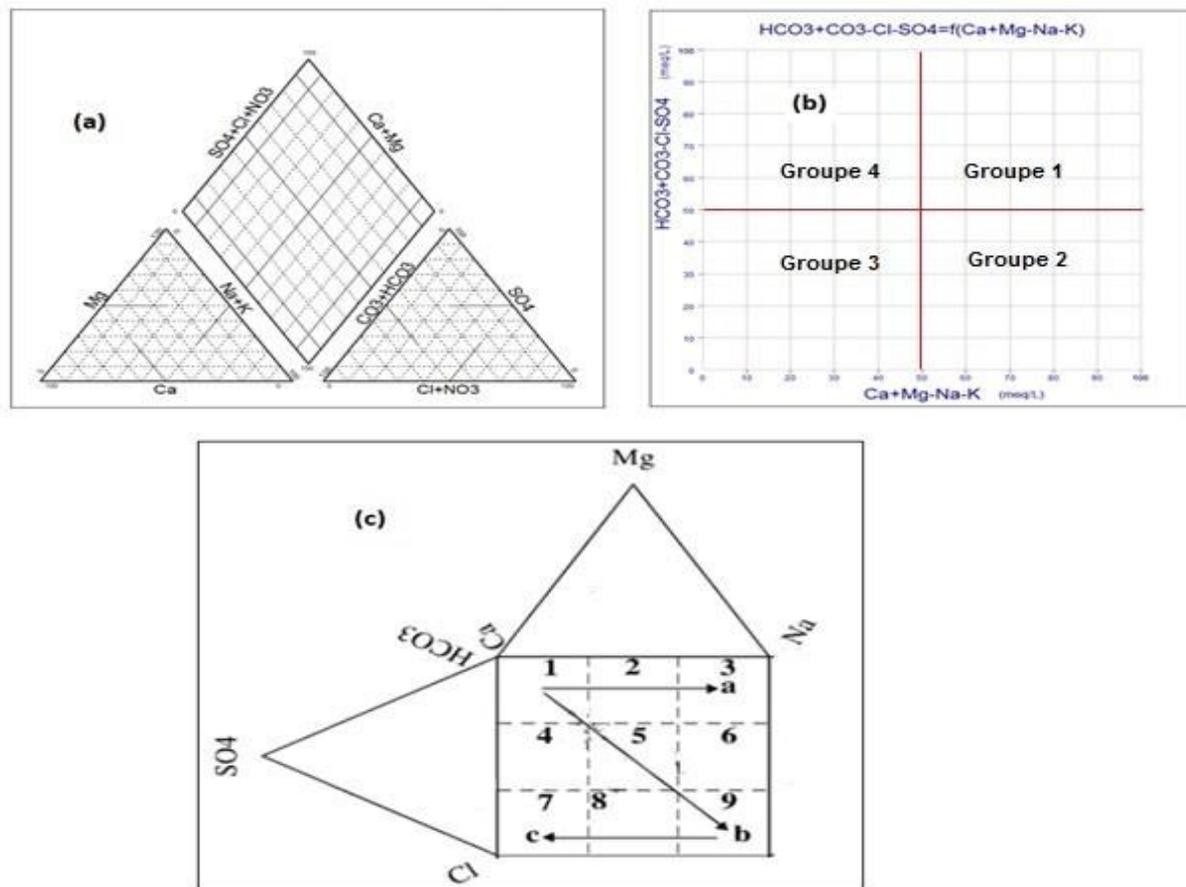


Figure 16. Diagramme de Piper (a), Chadha (b), et celui de Durov (c)

II.1.4. L'Indice de la qualité des eaux souterraines (WIQ)

II.1.4.1. Définition de l'Indice de la qualité d'eau (WIQ)

L'indice de qualité de l'eau est l'un des outils les plus efficaces pour communiquer des informations sur la qualité de l'eau pour les citoyens concernés et les décideurs. (A. N. Amadi, 2010)

IQE a été appliquée avec succès pour évaluer la qualité des eaux souterraines dans les dernières années en raison de son utilité à la compréhension des problèmes de qualité de l'eau en intégrant des données complexes et de générer un score qui décrit l'état de la qualité de l'eau. (M. Al-hadithi 2012)

Les indices de qualité de l'eau visent à donner une valeur à la qualité de l'eau d'une source sur la base de l'un ou l'autre système qui traduit la liste des constituants et leurs concentrations présentes dans un échantillon en une seule valeur. Une peut alors comparer différents échantillons pour la qualité sur la base de la valeur d'index de chaque échantillon. (TasneemAbbasi and S.Abbasi)

L'indice de la qualité des eaux souterraines (IQES) es défini comme une technique d'évaluation qui fournit l'influence de paramètre individuel de la qualité de l'eau sur la qualité globale de l'eau. Elle est calculée à partir du point de vue de la consommation humaine. L'indice de qualité des eaux souterraines visent à donner une valeur unique à la qualité d'une eau. On peut alors comparer les différents échantillons de la qualité sur la base de la valeur d'index de chaque échantillon. (K.Cherif, B.Rachid, B.Khaled 2020)

II.1.4.2. Calcul de l'Indice de qualité de l'eau (WIQ)

Plusieurs étapes sont suivies pour le calcul de l'indice de la Qualité des eaux souterraines. Ce dernier est une somme pondérée de plusieurs paramètres, un poids relatif est attribué (W_i) pour chaque paramètre en fonction de son rapport d'importance dans la qualité globale de l'eau destinée à alimentation en eau potable ou à d'autre usage. Un poids maximum de 5 est attribué au paramètre « Nitrates » par exemple, en raison de son importance dans l'évaluation de la qualité de l'eau. (TasneemAbbasi and S.Abbasi)

Avec l'indice de qualité de l'eau, nous pouvons obtenir un nombre qui exprime la qualité globale de l'eau, en fonction de plusieurs paramètres de qualité. Pour déterminer la potabilité des eaux souterraines, l'indice de qualité de l'eau a été calculé à l'aide des étapes suivantes suivante. (K.Cherif, B.Rachid, B.Khaled 2020)

Étape I

Chaque paramètre physico-chimique « i » doit y avoir une pondération qui variée de 1 à 5 comme indiqué dans le tableau ci-dessous (Tableau 4), suivant leur signification dans la qualité globale de l'eau potable. Ce qui permet la détermination de la pondération relative

« W_i » pour chaque paramètre selon la formule suivante :

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

Où, W_i = Pondération (Poids) relative

w_i = Pondération (Poids) de chaque paramètre physico chimique i

n = nombre des paramètres physico-chimique

Tableau 5: Poids relatifs de paramètres chimiques (donnez des sources)

Paramètres (i)	Poids (wi)	Poids relatifs (Wi)	Normes Algériennes
CE (mS/cm)	5	0,1316	2800
pH	4	0,1053	6,5 - 9
Ca ²⁺ (mg/l)	4	0,1053	200
Mg ²⁺ (mg/l)	4	0,1053	150
K ⁺ (mg/l)	1	0,0263	12
Na ⁺ (mg/l)	4	0,1053	200
Cl ⁻ (mg/l)	5	0,1316	500
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	5	0,1316	400
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	1	0,0263	500
NO ₃ ⁻ (mg/l)	5	0,1316	50
Somme	38	1	

Le poids maximal 5 a été attribué au NO₃⁻, CE, Cl⁻, et SO₄²⁻ en raison de leurs importances majeures dans l'évaluation de la qualité de l'eau, alors qu'un poids minimal de 1 a été attribué au K⁺ et HCO₃⁻ en raison de son impact insignifiant dans la qualité. Pour les autres paramètres tels que pH, Ca²⁺, Mg²⁺, et Na⁺ un poids 4 a été attribué en raison de leur importance relative dans l'évaluation de la qualité de l'eau.

Étape II

Le degré de qualité sera obtenu par la formule suivante :

$$Q_i = \left(\frac{C_i}{S_i} \right) \times 100$$

Où, Q_i = degré de qualité ;

C_i = Concentration de chaque paramètre physico-chimique « i » de l'échantillon d'eau ;

S_i = Valeur admissible de chaque paramètre selon les normes Algériennes

Étape III

Le sous-indice « Sli » est calculé par la formule suivante :

$$Sli = Wi \times Qi$$

Où, Sli = Sous-indice du $i^{\text{ème}}$ paramètre

Qi = degré de qualité du paramètre $i^{\text{ème}}$

Étape IV

L'indice de la qualité de l'eau sera déterminé au moyen de la formule :

$$WQI = \sum_{i=1}^n Sli$$

**Tableau 6: Indice de qualité de l'eau classé par palette de couleur standard
D'après (S. M. Sadat-Noori., 2014).**

Classes	Indices de qualité	Définition de la classe de qualité
	< 50	Eau de très bonne qualité
	50 - 100	Eau de bonne qualité
	100 - 200	Eau de qualité moyenne
	200 - 300	Eau de qualité médiocre
	> 300	Eau de mauvaise qualité

Un indice de qualité des eaux souterraines pour chaque échantillon est calculé, en somme. Une spatialisation de cet indice par interpolation IDW est générée pour le cas d'exemple cidessous. Pour un public non technicien en ce domaine, il n'est pas aisé d'appréhender de manière aussi exacte que possible la qualité d'une eau qui est une notion complexe.

L'évaluation de la qualité d'une eau demande de "manipuler" à la fois le concept d'usage de l'eau, de normes propres à chacun de ces usages, une multitude de paramètres, et des concentrations exprimées dans des unités souvent différentes suivant les paramètres. (Abbasi, S. A; Arya, D.S ; 2000)

Un des objets de l'indice de qualité est de traduire de manière simple, la qualité d'une eau. Pour cela, les valeurs de concentrations de chacun des paramètres susceptibles de contribuer à l'évaluation de la qualité d'une eau sont intégrées.

II.1.4.3. Cartographie WQI

La cartographie d'indice de qualité des eaux de la nappe alluviale du Haut Chelifà été réalisés par la méthode Interpolation IDW (l'extension Spatial Analyst), à l'aide du logiciel ArcGis version 10.8. Le logiciel ArcGis il va permis l'intégration et la répartition spatiale d'IWQ et leur représentation sous le format Rester.

CHAPTER III:

Resultats et Discussions

III.1. Méthodes statistiques

III.1.1. Statistique élémentaire

Les résultats obtenus par l'analyse statistique d'échantillonnage à donnée pour les éléments chimiques.

III.1.1.1. La conductivité électrique

Pendant la période des hautes eaux les valeurs de La cocentration de conductivité électrique varient entre 4050 s/m et 1503 s/m, La valeur minimale est atteinte au puits W084-91, la valeur maximale au niveau du puits W084-8, avec une valeur de l'écart-type 522,3 et 0,23 pour le coefficient de variance. Pour la Période des basses eaux varient entre 3825 s/m et 1534s/m, La valeur minimale est atteinte au puits W084-110, la valeur maximale au niveau du puits W084-63, Avec une valeur de l'écart-type 459,14 et 0,2 pour le coefficient de variance. La valeur maximale est supérieure aux normes algériennes dans les deux périodes.

III.1.1.2. Potentiel d'Hydrogène (pH)

Les valeurs du PH varient entre 7,9 et 7,6, Quand les eaux sont hautes, quant à la valeur minimale elle est atteinte dans la plupart des puits, et la valeur maximale au niveau du puits W084-73, avec des valeurs de l'écart-type et coefficient de variance qui sont respectivement de 0,09 et 0,01. Et pour ce qui est de la période des basses eaux varient entre 7,6 et 7,2. Quant à la valeur minimale est atteinte au puits W084-63, et la valeur maximale au niveau du puits W084-14 et W084-91, avec des valeurs de l'écart type et du coefficient de variance qui sont respectivement de 0,08 et 0,01. Dans les deux périodes la valeur maximale realise les normes algeriennes.

Tableau 7: Résultats Statistique élémentaires
Période des hautes eaux (Avril 2020)

LES ELEMENTS	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	CE	pH
Max	467	140	140	4	893	407	431	185	4050	7,90
Min	127	64	22	2	185	62	92	8	1503	7,60
Moy	212,89	105,44	77,11	2,33	432,56	215,56	311,89	63,11	2231,2 2	7,67
Ecart type	66,96	25,06	29,26	0,52	160,96	91,16	79,90	41,46	522,30	0,09
CV	0,31	0,24	0,38	0,22	0,37	0,42	0,26	0,66	0,23	0,01
Normes Algérienne	200	150	200	12	500	400	500	50	2800	6,5-9

III.1.1.3. Cations

III.1.1.3.1. Calcium

Durant la période des hautes eaux les valeurs des concentrations de calcium varient entre 467 mg/l à 127 mg/l, La valeur minimale est atteinte au puits W084-91, la valeur maximale au niveau du puits W084-8, avec une valeur de l'écart-type 66,96 et 0,31 pour le coefficient de variance. Pour la Période des basses eaux elles varient entre 467 mg/l et 132 mg/l, La valeur minimale est atteinte au puits W084-110, la valeur maximale au niveau du puits W084-63, Avec une valeur de l'écart-type 66,12 et 0,31 pour le coefficient de variance. La valeur maximale supérieure aux normes algerienne pour les deux périodes.

III.1.1.3.2. Magnésium

Dans la période des hautes eaux les concentrations des valeurs de magnésium varient entre 140 mg/l et 64 mg/l, La valeur minimale est atteinte au puits W084-110, la valeur maximale au niveau du puits W084-8, avec une valeur de l'écart-type 25,06 et 0,24 pour le coefficient de variance. Et pour la durée des basses eaux elles varient entre 140 mg/l et 65 mg/l, La valeur minimale est atteinte au puits W084-91, la valeur maximale au niveau du puits W08463, avec une valeur de l'écart-type 23,98 et 0,23 pour le coefficient de variance. Dans les deux cas la valeur maximale plus proche aux normes algerienne.

III.1.1.3.3. Potassium

Les concentrations de Potassium varient entre 4 mg/l et 2 mg/l, la valeur maximale au niveau du puits W084-14, La valeur minimale est atteinte dans la plupart des puits, ainsi que la valeur de l'écart-type 0,52 et 0,22 pour le coefficient de variance Pour les deux périodes. La valeur maximale moins que les normes algerienne pour les deux periode.

III.1.1.3.4. Sodium

Les valeurs de concentrations du sodium varient entre 140mg/l et 22mg/l où la valeur maximale est au niveau du puits W084-14 et la valeur minimale est au puits W084-92 avec une valeur de l'écart-type et du coefficient de variance qui sont respectivement de 29,26 et 0,38 et tout ça durant la période des hautes eaux. Et durant la période des basses eaux les concentrations varient entre 143mg/l et 48mg/l où au niveau du puits W084-14 sa valeur est maximale et la valeur minimale est au puits W084-91 et pour le coefficient de variance et de l'écart-type leurs valeurs sont de 0,28 et 23,60. La valeur maximale plus proche aux normes algerienne pour les deux periode.

Tableau 8: Résultats Statistique élémentaires
(Période des basses eaux, année 2020)

LES ELEMENT S	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	CE	pH
Max	467	140	143	4	893	416	440	191	3825	7,60
Min	132	65	48	2	192	63	232	8	1534	7,20
Moy	214,22	106,22	84,44	2,33	433,11	218,44	331,67	64	2297,2	7,48
Ecart type	66,12	23,98	23,60	0,52	151,70	94,62	71,19	42,89	459,14	0,08
CV	0,31	0,23	0,28	0,22	0,35	0,43	0,21	0,67	0,20	0,01
Normes Algérienne	200	150	200	12	500	400	500	50	2800	6,5-9

III.1.1.4. Anions

III.1.1.4.1. Chlorure

Les concentrations de chlorure varient entre 893 mg/l et 185 mg/l, pendant la période des hautes eaux, sachant que la valeur minimale est au niveau du puits W084-91 et la valeur maximale est au puits w084-8 avec un écart type de 160,96 et 0,37 pour le coefficient de variance. Et les concentrations varient entre 893 mg/l et 192 mg/l pendant la période des basses eaux, et la valeur minimale est atteinte au puits w084-110, et la valeur maximale au puits w084-63 avec un écart type de 151,7 et 0,35 pour le coefficient de variance. La valeur maximale est supérieure aux normes algériennes dans les deux périodes.

III.1.1.4.2. Sulfate

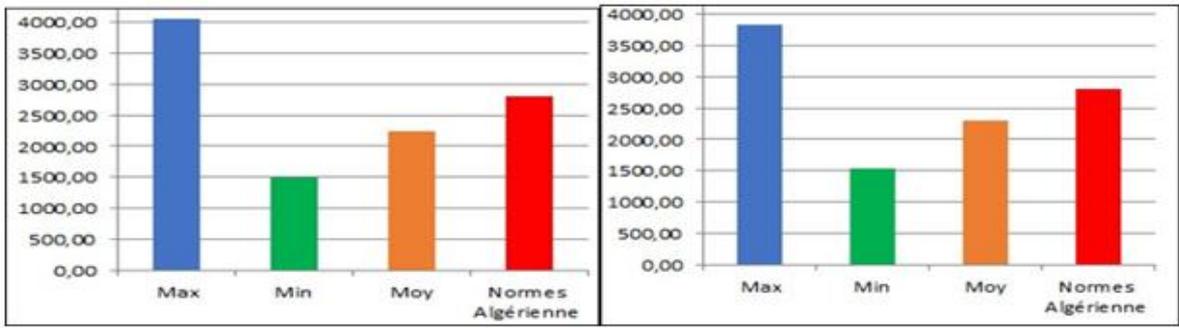
Pendant la période des hautes eaux les valeurs des concentrations de sulfate varient entre 407 mg/l et 62 mg/l, ou une concentration minimale au puits W084-92, et une concentration maximale au puits W084-14, Avec une écart-type de 91,16 et 0,42 du coefficient de variance. Et Pour la Période des basses eaux les concentrations varient entre 416 mg/l et 63 mg/l, ou on trouve La valeur de la concentration minimale au puits W084-92, et la concentration maximale au niveau du puits W084-14, Avec une valeur de l'écart-type 94,62 et 0,43 pour le coefficient de variance. Dans les deux cas la valeur maximale plus proche aux normes algérienne.

III.1.1.4.3. Bicarbonates

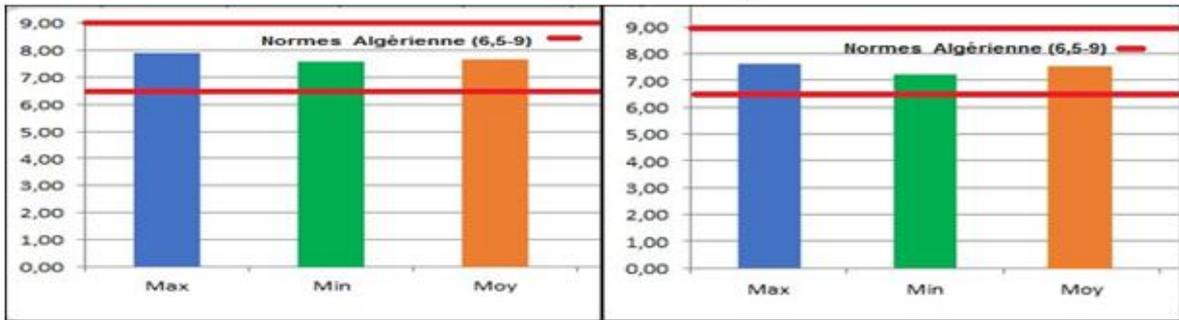
Les concentrations de bicarbonates varient entre 431 mg/l et 92 mg/l, pendant la période des hautes eaux, sachant que la valeur minimale au niveau du puits est de W084-92 et la valeur maximale est de W084-14 avec un écart type de 79,90 et 0,26 pour le coefficient de variance. Et ces concentrations varient entre 440 mg/l et 232 mg/l pendant la période des basses eaux, et la valeur minimale est atteinte au puits w084-92, et la valeur maximale w084-14 avec un écart type de 71,19 et 0,21 pour le coefficient de variance. Pour les deux cas la valeur maximale plus proche aux normes algérienne.

III.1.1.4.4. Nitrate

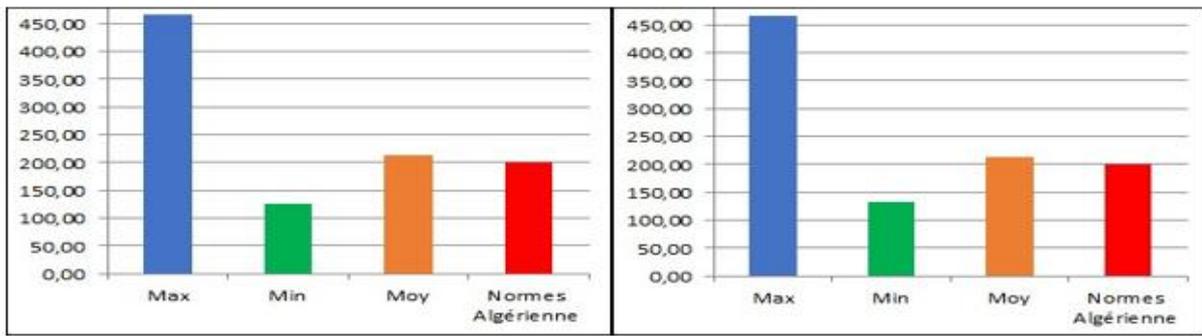
Pendant la période des hautes eaux les valeurs des concentrations de Nitrate varient entre 185 mg/l et 8 mg/l, La valeur minimale est atteinte au puits W084-91 et W084-115, la valeur maximale au niveau du puits W084-73, Avec une valeur de l'écart-type 41,46 et 0,66 pour le coefficient de variance. Pour la Période des basses eaux varient entre 191 mg/l et 8 mg/l, La valeur minimale est atteinte au puits W084-110 et W084-115, la valeur maximale au niveau du puits W084-73, Avec une valeur de l'écart-type 42,89 et 0,67 pour le coefficient de variance. La valeur maximale est supérieure aux normes algériennes dans les deux périodes.



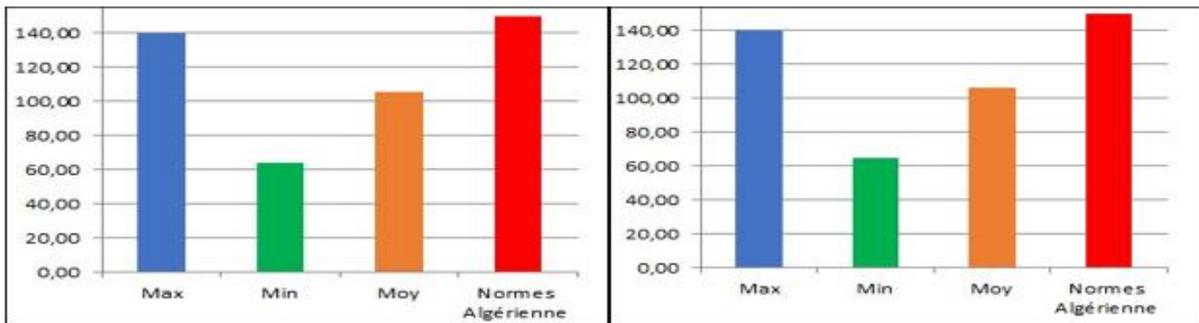
Hautes eaux La conductivité électrique Bases eaux



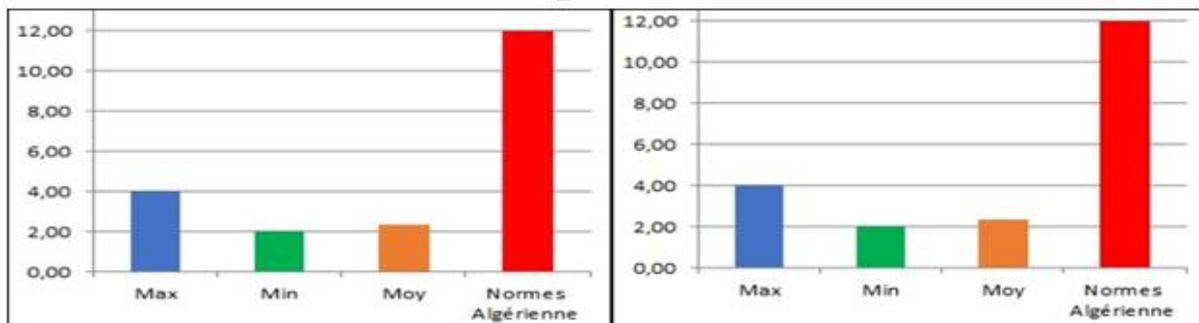
Hautes eaux Potentiel d'Hydrogène (pH) Bases eaux



Hautes eaux Calcium Bases eaux



Hautes eaux Magnésium Bases eaux



Hautes eaux Potassium Bases eaux

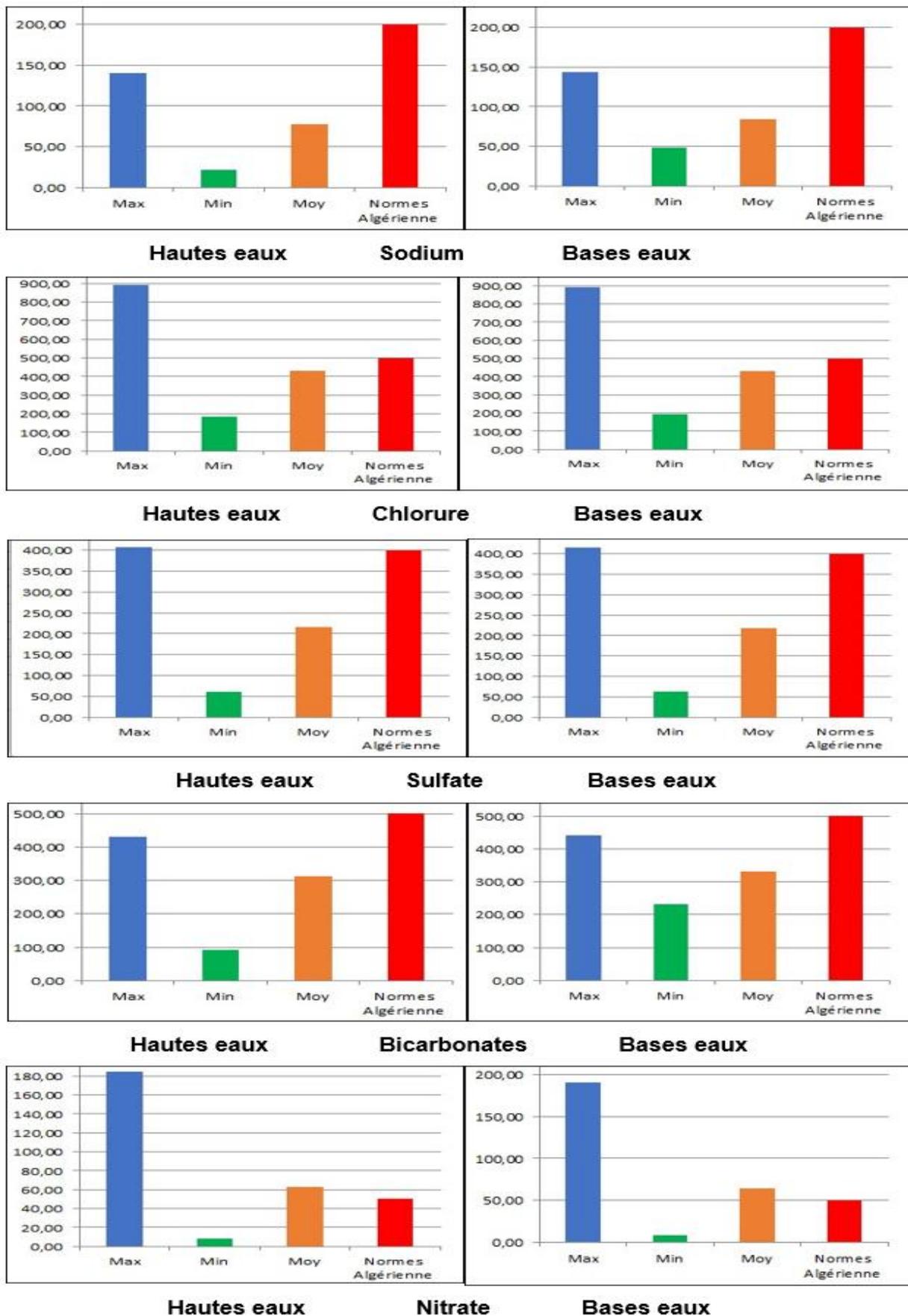


Figure 17. Les histogrammes des élément chimique pour les deux companges pour l'année 2020

III.1.2. Classification hiérarchie

Pour les deux périodes hautes eaux et bases eaux l'examen du dendrogramme (Fig18.A et Fig18.B) successivement révèle trois groupes hydrochimiques dans les caractérisations chimiques de chaque groupe (Tab 8 et Tab 9) montre que les groupes 1 sont moins inférieure aux normes algériennes suivies par les groupes 2 et les groupes 3

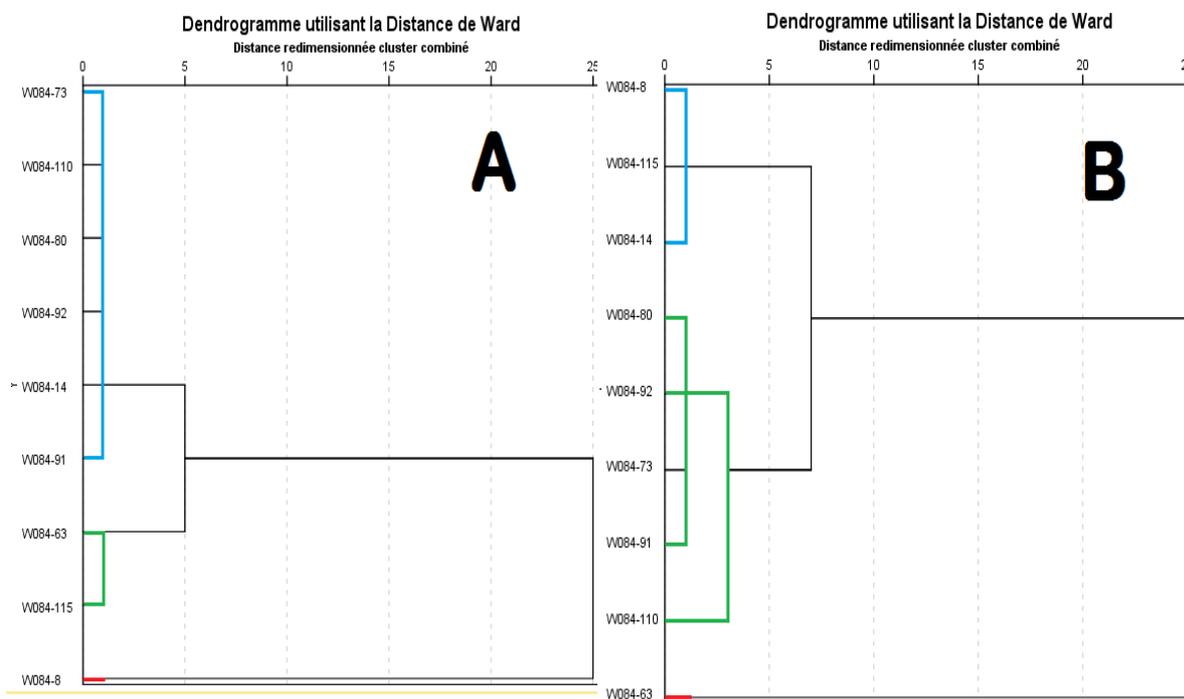


Figure 18 mode CAH pour les deux campagnes hautes (A) et basses (B)

Tableau 9: Résultats de CAH pour la Période des hautes eaux (Avril 2020)

	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₃	CE	pH
G1 : W084-14, W08473, W084- 80, W084-91, W084-92, W084-110	254	132	140	4	411	407	431	185	2040	7,9
	127	64	22	2	185	62	92	8	1503	7,6
G2 : W084-63, W084115	219	131	133	3	627	316	300	49	2690	7,8
	195	126	90	2	502	168	244	8	2304	7,6
G3 : W084-8	467	140	77	2	893	304	252	67	4050	7,6

**Tableau 10: Résultats de CAH pour la Période des bases eaux
(Octobre 2020)**

	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₃	CE	pH
G1 : W084-8, W084-115 W084- 14	201	129	143	4	574	416	440	45	2525	7,6
	200	112	93	2	360	154	250	8	2445	7,5
G2 : W084-73, W084-80, W084-91, W084- 92, W084-110	259	138	86	2	413	248	431	191	2068	7,6
	132	65	48	2	192	63	232	8	1534	7,4
G 3 : W084-63	467	140	77	2	893	304	252	67	3825	7,2

III.1.3. Méthode graphique

III.1.3.1. Diagramme Piper

Les résultats chimiques des eaux prélevées de différents échantillons pour les deux compagnes reportées sur le diagramme de Piper (Fig19) montrent que les eaux souterraines de la région d'étude appartiennent au faciès chimique de la famille Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne, ce résultat démontre que peut être la présence de chlorurée et de sulfatée est due à l'utilisation d'engrais chimique et la présence d'un oued pollué dans cette région, et pour le calcique et le magnésienne à cause de la formation géologique qui a une présence d'une couche de calcaire dolomitique.

III.1.3.2. Diagramme Chadha

Les concentrations des eaux pour les deux compagnes ont été placées ensuite dans le diagramme de Chadha, subdivisé en quatre domaines principaux (fig20), afin de déterminer le processus hydrochimique mis en jeu pendant l'acquisition de la minéralisation.

Les résultats de Diagramme indiquent que tous les points d'eaux analysées pour les deux compagnes, présentant un faciès Chloruré et sulfaté calcique et magnésien sont dans le groupe II, qui indique que les eaux présentant un excès en Ca-Mg-Cl-SO₄ et ayant subi un échange ionique inverse. Cela suggère que la nappe est

constamment alimentée par les eaux de pluie d'une part et que ces eaux séjournent plus ou moins longtemps dans la formation encaissante, ce qui justifie une interaction eau-roche effective (altération chimique)

III.1.3.3. Diagramme Durov

A partir de ce diagramme, il se constate que les points d'eaux de l'aquifères sont regroupés dans les casiers 1, 4 et 5 (Fig21) pour les deux compagnes.

Dans le casier 5 on rencontre la majorité (Cinq points pour chaque compagne) des points d'eaux des deux compagnes. Leur composition résulte ainsi des réactions de mélange des eaux de différentes origines. Le casier 1 et 4 regroupe quelques points (deux pour chaque casier et compagne) d'eau des deux compagnes. Le casier 1, et 4 indique des réactions de mélange et d'échange ioniques inverses

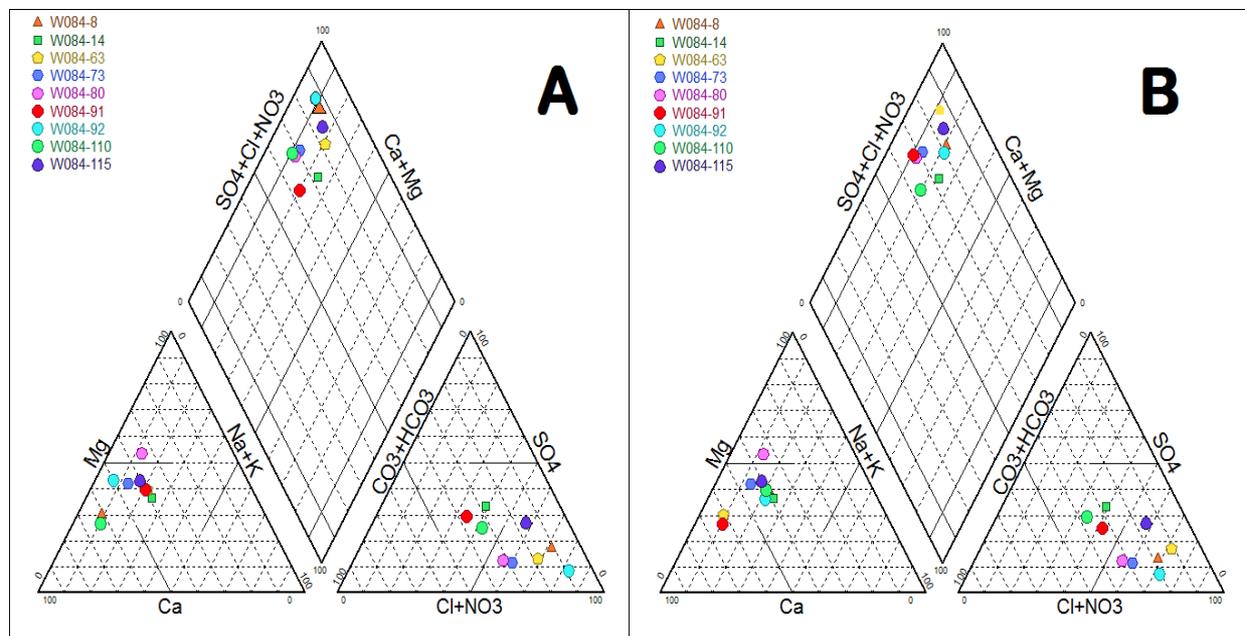


Figure 19. Diagramme de Piper pour les deux compagnes hautes (A) et basses (B) eaux

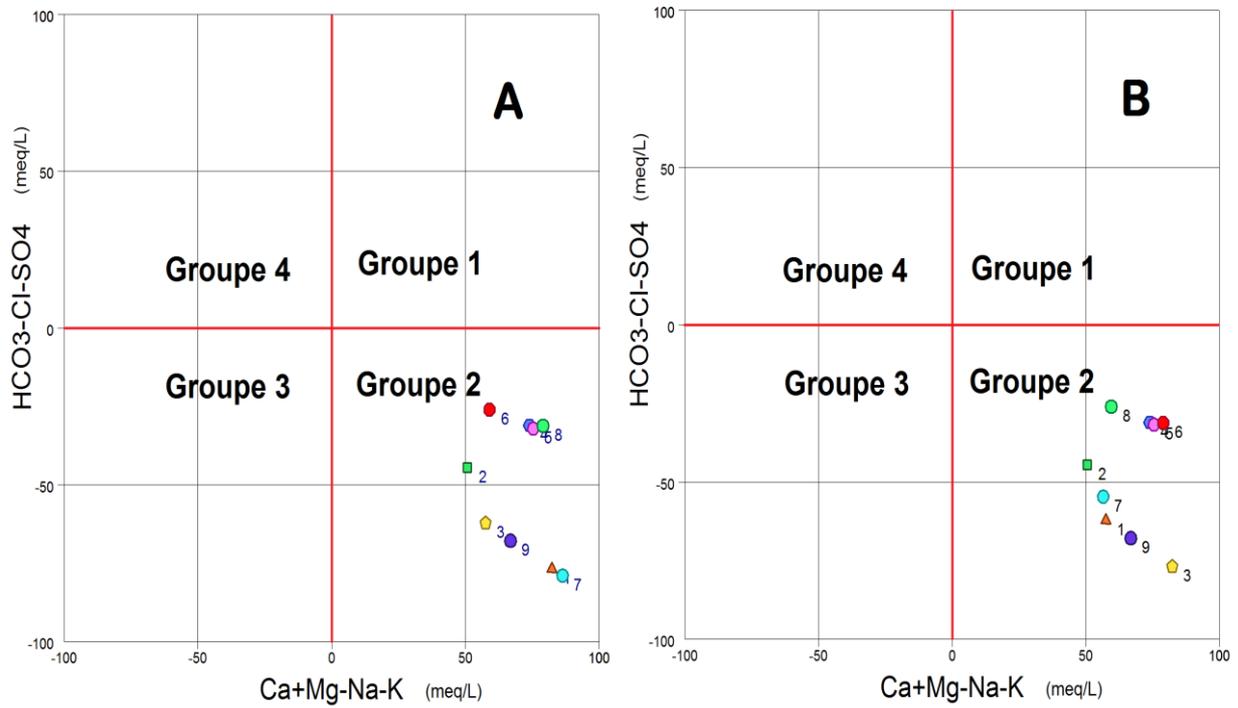


Figure 20. Diagramme de Chadha pour les deux compagnes hautes (A) et basses (B) eaux

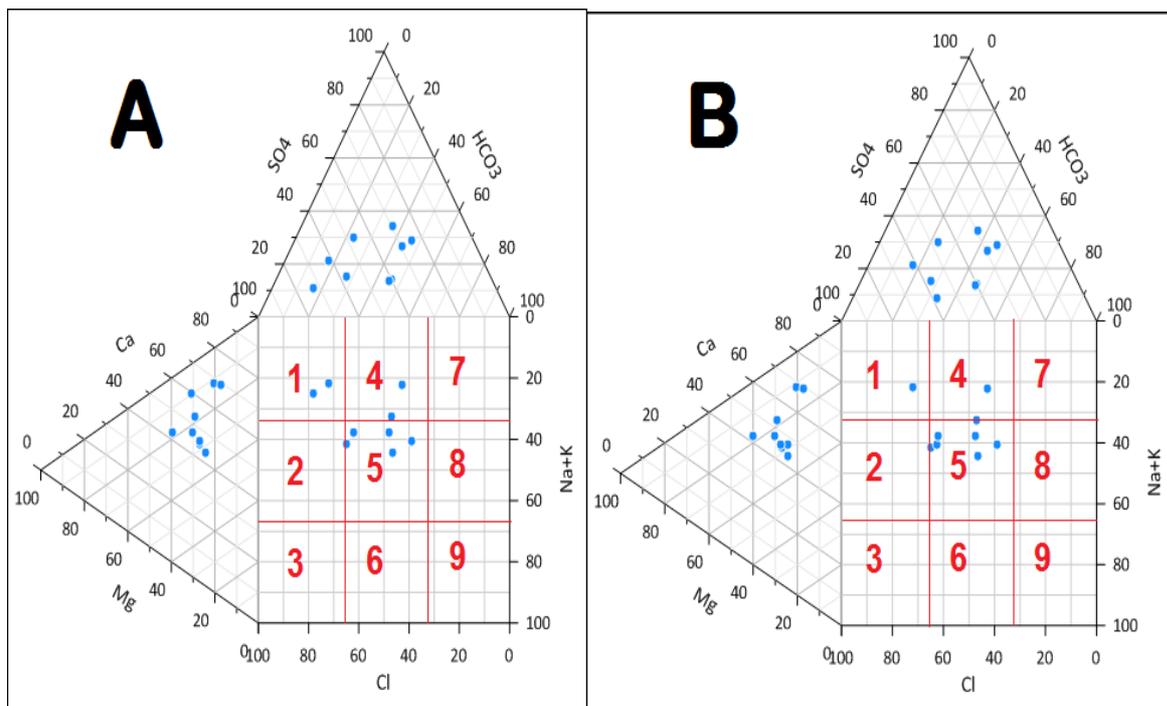


Figure 21. Diagramme de Durov pour les deux compagnes hautes (A) et basses (B) eaux

III.1.4. Indice de la qualité des eaux souterraines (WIQ)

Les résultats d'indice de qualité de l'eau WIQ (tab 10) montre que pour la Période des hautes eaux, la majorité des points 8 sur 9 présentent une eau de bonne qualité, et un seul point d'eau de qualité moyenne et pour la Période des bases eaux, on a 7 points sur 9 présentent une eau de bonne qualité, et deux points d'eau de qualité moyenne, les concentration des éléments dans la periode basses eaux est plus importante que dans la périodes des hautes eaux cela signifie qu'on est en présence du phénomène d'évaporation.

Tableau 11: Résultats de calcul de WIQ pour les deux Périodes eaux (Avril, Octobre)

WIQ Avril	WIQ octobre	Classe de WIQ	Type d'eaux	Classe
G1 : W084-91, W084-110, W084-115, W084-14, W084-92, W08480, W084-63, W084-73	G1 : W084- 110, W084-91, W084115, W084-14 W084-92, W084-80, W084-8	50 - 100	Eau de bonne qualité	
G2 : W084-8	G2 : W084-73, W084-63	100 - 200	Eau de qualité moyenne	

III.1.5. Distribution spatiale de l'Indice de la qualité des eaux souterraines (WIQ)

L'analyse de la carte de la répartition spatiale de l'indice de la qualité des eaux souterraines (GWQI) dans la plaine alluviale de Khemis Miliana a montré que :

Pour la période haute eaux (Avril) nous a permis de constater que la majorité des points d'eaux 88,88 % présente des eaux de bonne qualité qui couvre presque toute la surface totale de la plaine (Fig22.A) , Et l'autre moitié 11,12% montrent une qualité moyenne , ce niveau occupe la partie CentreEst de la plaine la région de Ain Soltane (Fig 22.A) .

Pour la période bases eaux (Octobre) nous a permis de constater que plus de 77,78 % est classé dans la case des eaux de bonne qualité qui couvre presque toute la surface totale de la plaine (Fig22.B), Et l'autre moitié 22,23% montrent une qualité moyenne, ce niveau occupe la partie Sud de la plaine BirOuledkhlifaet Djelida ainsi qu'une partie de du centre de la plaine Nord de Sidi Lakhder (Fig22.B).

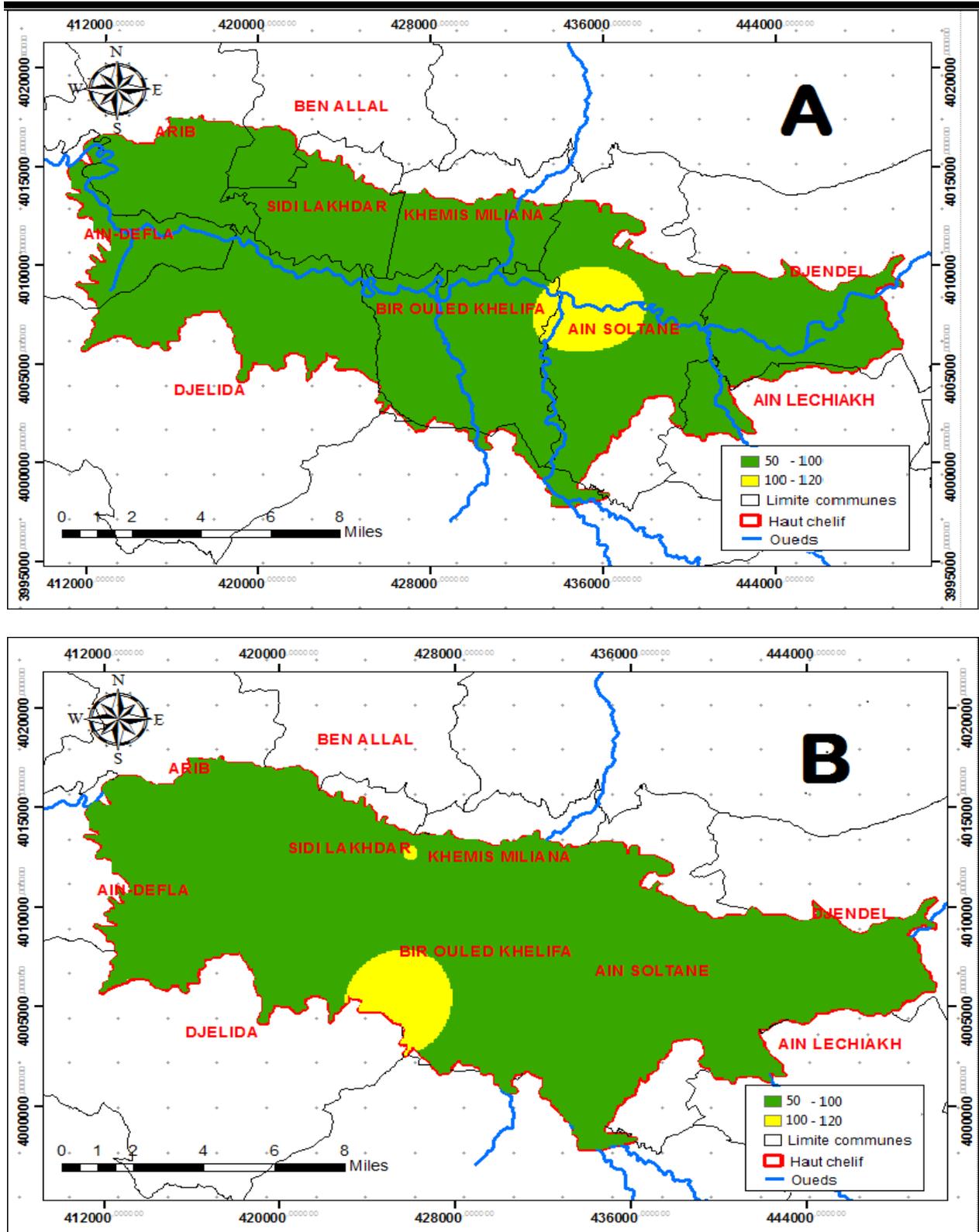


Figure 22: Répartition spatiale de l'indice de qualité des eaux souterraines pour les deux campagnes hautes (A) et basses (B) eaux de la plaine de Khemis Miliana (Octobre2020).

Conclusion Générale
et
Recommandations :

Conclusion Générale et recommandations

La plaine Alluviale du Haut Chéiff s'étend sur une superficie de 359 Km², cette plaine voir ça position joue un rôle déterminant dans le développement socio-économique de la région, l'agriculture est considérée comme l'activité principale, la croissance démographique ainsi que l'intensité de la demande en eau pour l'irrigation risquent d'influencer négativement sur la qualité de l'eau souterraine.

Nous avons abordé la problématique de la cartographie de l'indice de la qualité des eaux souterraines dans la région haut Chéiff dans l'objectif d'évaluation de l'indice de qualité des eaux souterraine, et de cartographier les résultats obtenus grâce au logiciel arc gis. Pour ce faire, nous avons calculé l'indice qualité WIQ grâce au logiciel Excel et on a étudié la variabilité spatio-temporelle de certaines propriétés chimiques des eaux souterraines, par l'approche Statistiques hiérarchie on a utilisé logiciel SPSS et Méthodes graphiques Les faciès chimiques (Piper, Chadha et Durov) a l'aide des logiciels Diagramme et graphe.

L'estimation qualitative des eaux destinées à la consommation humaine est devenue une impérative environnementale et sanitaire.

Du point de vue hydrogéochimique lors des deux périodes hautes et basses eaux a montré que les eaux souterraines de la plaine du Haut Chéiff présentent essentiellement un faciès Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne

Pendant les deux périodes hautes et basses eaux l'indice GWQI permet d'avoir une vue synthétique sur la qualité de l'eau en prenant en compte les principaux paramètres physicochimiques qui impactent la potabilité des eaux. L'indice de la qualité des eaux souterraines (WIQ) a été formulé à partir d'une formule basée sur 8 éléments chimiques cationiques et anioniques, ainsi que les pH, CE et ces éléments on les a tirés de 9 puits, Les eaux souterraines de la zone étudié appartiennent majoritairement à la classe des eaux de bonne qualité et se qui couvre presque toute la surface totale de la plaine à l'exception de quelques puits

La cartographie établie représente la répartition spatiale de WIQ, Une distribution spatiale des neuf puits pendant les deux périodes des hautes et basses eaux

Souterraines ainsi que leur évolution spatio-temporelle ont été cartographiées, l'analyse des cartes ont montré que, la majorité de la zone étudiée est caractérisé par des eaux de bonne qualité et dans les quelques zones qui reste les eaux sont de moyenne qualité, La qualité des eaux souterraines diminue dans le Sud de la plaine, et dans une partie dans le nord, le facteur principal peut être dû à la dilution des éléments en suivant le sens d'écoulement souterrain.

Recommandations :

- ✓ Surveillance périodique de la qualité des eaux et entretien des puits ;
- ✓ Le control continu de la qualité des eaux souterraines dans la région haut cheliff ;
- ✓ Éviter l'implantation des ouvrages d'AEP au voisinage des berges des oueds, car les pompages peuvent provoquer un écoulement des eaux de l'oued vers la nappe, ce qui amènerait une modification de la qualité de la nappe ;
- ✓ Concernant l'agriculture, il est conseillé de limiter l'utilisation intensive des engrais chimiques dans les sols à forte perméabilité, afin de limiter l'infiltration des éléments chimiques vers la nappe ;
- ✓ Les décharges publiques non contrôlées doivent être interdites dans les sites proches des nappes aquifères et les communes doivent prendre l'initiative pour s'associer en vue de créer en commun des centres d'enfouissement technique ;
- ✓ L'aménagement de la ressource en eau et le développement économique et social ne peuvent être considérés séparément. Cela est un des éléments indispensables pour qu'un plan d'aménagement soit réaliste et puisse être appliqué. Cela est aussi nécessaire pour répondre à un objectif de développement durable donc l'aménagement de la ressource en eau.

Références bibliographiques :

- Abbasi, S. A; Arya, D.S; 2000: Environmental Impact Assessment. DiscoveryPublishing House, New Delhi.
- Ammouche, Farah jui-2013 Etude de la qualité des eaux souterraine
- A. N. Amadi, P. I. Olasehinde, E. A. Okosun et J. Yisa, "Assessment of the Water Quality Index of Otamiri and Oramiriukwa Rivers", Physics International, 1 (2), pp. 116-123, 2010.
- AttafiSoumia 2018 (Evaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution à l'aide d'une méthode spécifique SI
- HADJMOUSSA HAFIDA 2019 (qualité des eaux)
- Gharbi. B (CARTOGRAPHIE DE LA QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES EN UTILISANT LES SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE SIG-3D GEOMODELING ET ANALYSE SPATIALE : CAS D'APPLICATION DE LA PLAINE ALLUVIALE DU HAUT CHELIFF, ALGERIE)
- GOUAIDIA Layachi 2008 (INFLUENCE DE LA LITHOLOGIE ET DES CONDITIONS CLIMATIQUES SUR LA VARIATION DES PARAMETRES PHYSICO CHIMIQUES DES EAUX D'UNE NAPPE EN ZONE SEMI ARIDE, CAS DE LA NAPPE DE MESKIANA NORD-EST ALGERIEN
- KessarCherif, Benahacene Rachid, Bouakkaz Khaled. 2020-02-03 (Salim Analyse Spatiale de l'Indice de la Qualité des Eaux Souterraines de la Plaine Alluviale du Haut Chélif) Algerian Journal of Geosciences and RemoteSensing
- M. Al-hadithi. "Application of water quality index to assess suitability of groundwater quality for drinking purposes in Ratmao-Pathri Rao watershed, Haridwar District, India", American Journal of Scientific and Industrial Research, 3(6), pp. 395-402, 2012.
- Sadat-Noori, S. M., et al. (2014). "Groundwater quality assessment using the Water Quality Index and GIS in Saveh-Nobaran aquifer, Iran." Environmental Earth Sciences 71(9): 3827-3843
- TasneemAbbasi and S.Abbasi WATER QUALITY INDICES 13 juin 2012 - 362 pages