



*République Algérienne Démocratique et Populaire*  
*Ministère de l'Enseignement Supérieur*  
*et de la Recherche Scientifique*  
*Université de Tissemsilt*



**Faculté des Sciences et de la Technologie**  
**Département des Sciences de la Nature et de la Vie**  
Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme  
de Master académique en

**Filière : Ecologie et Environnement**

**Spécialité : Protection des Ecosystèmes**

Présenté par : **M<sup>elle</sup> LARKEM Khadidja**

**M<sup>elle</sup> OUASSIF Samira**

*Thème*

---

**Influence de la lithologie, des facteurs  
anthropiques et des conditions climatiques  
sur la qualité des eaux souterraines,**

**Cas de la nappe du Haut Cheliff  
(plaine de Khemis Miliana)**

---

Soutenu le, 12/06/2023

**Devant le Jury :**

<b>M. BENZOHRA</b> Mohamed Nadjib	Président	M.C.B	Univ-Tissemsilt
<b>M. ARDJANE</b> Tadj Eddine Adda	Examineur	M.A.A	Univ-Tissemsilt
<b>M. FELLAH</b> Sahnoun	Encadrant	M.C.B	Univ-Tissemsilt
<b>M. MADENE</b> Elaid	Co-encadrant	Docteur	Univ-Tissemsilt

**Année universitaire : 2022-2023**

## *Remerciements*

En premier lieu, nous remercions Allah le tout puissant de nous avoir aidé à réaliser et terminer ce travail.

Nous tiens à remercier chaleureusement mon encadrant, Monsieur Fellah Sahnoun, Maître de conférences B à l'Université de Tissemsilt, pour nous avoir encadré, nous lui exprimons nos reconnaissances pour ses précieux conseils qui nous ont guidés dans la réalisation de ce travail.

Nous tiens particulièrement à remercier Monsieur Madene Elaid, co-encadrant, Docteur vacataire à l'Université de Tissemsilt, qui nous a consacré son temps pour l'achèvement de ce travail, nous tiendrons à le remercier vivement pour sa disponibilité constante, son esprit critique et ses encouragements le long de notre travail.

Nous ne saurions oublier de remercier les honorables membres du jury, Monsieur Benzohra Nadjib Mohamed qui a bien voulu accepter d'être président de jury, Monsieur Ardjane Tadj Eddine Adda qui a accepté la lourde tâche d'être examinateurs de notre travail. Et qui nous ont fait l'immense honneur de présider et d'examiner ce travail.

Au personnel de l'Agence Nationale des Ressources Hydraulique (ANRH), surtout M<sup>me</sup> Messelmi Hayet, directrice de la direction de l'Agence Nationale de Ressources en Eaux de Khemis Miliana. Pour votre contribution précieuse à ce travail, votre sympathie et votre solidarité à mon égard. En témoignage des moments passés ensemble ; je n'oublierai jamais votre constante disponibilité.

Mes remerciements vont également au M<sup>me</sup> Nasser Asmaa, chef service dans la direction des services agricoles d'Ain Defla, pour la documentation qu'il nous a fournie.

Nous remercions aussi :

Nos parents et nos familles pour leur appui surtout durant nos études ;

Je souhaite associer à ceux-ci des remerciements pour le personnel (enseignants et travailleurs) du département des sciences de la nature et de la vie de l'Université Tissemsilt ;

Nous remercions aussi tous ceux qui nous ont aidés durant la période de la réalisation de ce mémoire, et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin dans l'élaboration de ce mémoire.

# DEDICACE

Pour commencer nous remercions tout d'abord ALLAH le tout puissant et miséricordieux, qui nous a toujours donné la force de passer à travers toutes les épreuves et les découragements, qui nous a aidée à mener à terme Cette étude.

A ceux qui m'ont donné la vie, symbole de sagesse et de fierté, mes parents, Mon père sources de patience, de bonneté et d'encouragement. Ma mère sources d'affection, de tendresse et de compréhension. Qui n'ont jamais cessés de me faire confiance, de me soutenir et de croire en moi, j'espère Qu'ils trouvent ici l'aboutissement de tous leurs efforts et le témoignage de ma profonde reconnaissance et affection.

A mon chère frère Mohamed qui n'a jamais été absent dans les moments sublimes se ma scolarité, pour son soutien moral que je suis très reconnaissant, et pour leur encouragement.

A mes chers frères : Karim, Bachir et Adel

A mes chères sœurs : Fatima et Khaira

Aux chères enfants de mes sœurs et frères : Rouya, Kenza, Redouan, Farouk, Ines, Aridje, Marame et Imene.

À mon mentor M. Madene Elaid, qui a toujours été mon mentor, si je perdais qui m'encourageait toujours, si j'avais un problème, il était toujours mon soutien. Tous les mots de remerciement et de louange ne vous conviendront pas, et ne vous donneront pas votre droit à toutes les connaissances et les efforts que vous m'avez donnés.

A ma chère binôme Samira et ma chère collègue.

A mes meilleurs amis : Farida, Khadidja, nada et Rima.

Tous les remerciements, appréciation et respect à votre personne. Que Dieu vous donne la santé et le bien-être. Que Dieu vous accorde le succès pour ce qu'il aime et plaît

*KHADIDJA*

# DEDICACE

Au terme de ce travail, nous tenons avant tout à remercier ALLAH le Tout Puissant, le miséricordieux qui, grâce à sa protection et sa bienveillance, nous a permis d'acquérir le savoir et d'arriver à ce niveau ;

Je dédie ce modeste travail à Mon père,

Qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi ;

A ma très chère mère :

Ma mère qui m'a entouré d'amour, d'affection et qui fait tout pour ma réussite, que dieu la garde ; Puisse le tout puissant te donner santé, bonheur et longue vie afin que je puisse te combler à mon tour ;

Nous remercions chaleureusement Monsieur Madene Elaid d'avoir fait l'honneur de nous encadrer notre travail ainsi que pour ses conseils, ses orientations et surtout pour sa gentillesse tout au long de notre travail, nous le remercions infiniment.

Ames chères sœurs : Souad, Fatima, Razika et Abir, vos apports sont inestimables ;

A mon frère Moussa, la lumière de mes yeux ;

Aux enfants de ma sœur : Abd El Basset, Mouaad, Ayham et ma fleur Rofan ;

A mon amie d'enfance et Cousine Hassiba ;

A Toute ma famille pour son affection et sa contribution à ma mémoire ;

A ma chère binôme Khadidja et sa famille et mes amies Farida, Nada, Khadidja, Minocha, Siham, Rahma et fatima, et à tout mes collègues de l'université de filière « protection des écosystèmes » la promotion 2022/2023.

Enfin, je le dédie à tous mes amis que je n'ai pas cités et à tous ceux qui me connaissent. A tous ceux qui ont participé de loin ou de près à la réalisation de ce travail.

*SAMIRA*

## *Sommaire*

---

Remerciements.	
Dédicace.	
Liste des figures.	
Liste des tableaux	
Liste des figures.	
Liste des abréviations.	
Résumé.	
Introduction Générale.	

### **CHAPITRE I : Aperçu Bibliographique**

I.1. Introduction.....	18
I.2. Les eaux souterraines.....	18
I.3. Différents types de nappes.....	18
I.4. Paramètres de qualité des eaux souterraines .....	19
I.4.1.Paramètres physiques et organoleptiques.....	19
I.4.2. Paramètres Chimiques.....	20
I.5. Minéralisation des eaux souterraines.....	22
1.6. Pollution des eaux souterraines.....	22
1.6.1. Différentes sources de pollutions .....	23
1.6.2. Caractérisation de la pollution.....	24
I.7. Géochimie des eaux souterraines.....	24
1.8. Impact du changement climatique sur qualité des eaux souterraines.....	25
I.9. Conclusion.....	25

### **CHAPITRE II : Présentation de la Région d'Étude**

II.1. Introduction.....	27
II.2. Situation géographique du bassin du Haut Cheliff.....	27
II.2.1. Contexte régional.....	27
II.2.2.Contexte Local .....	28
II.3.Contexte géomorphologique.....	28
II.4. Habitat.....	29
II.5. Contexte climatique.....	29
II.5.1. Pluviométrie.....	29
II.5.2. Température.....	31
II.5.3.L'humidité.....	32
II.5.4.Evaporation.....	33

II.5.5. L'indice climatique.....	33
II.5.5.1. Indice de " L. EMBERGER ".....	33
II.5.5.2. Indice d'aridité annuel de " DE MARTONNE ".....	34
II.6. Réseau hydrographique.....	35
II.7. Végétation.....	35
II.8. Eaux souterraines.....	37
II.9. Contexte pédologique.....	37
II.10. Géologie.....	38
II.11. Les formations aquifères.....	41
II.12. Conclusion.....	41

### **CHAPITRE III : Matériels et Méthodes**

III.1. Introduction.....	43
III.2. Matériels et méthodes.....	43
III.3. Echantillonnage.....	43
III.4. Méthodes d'analyses.....	45
III.5. Contrôle des résultats de l'analyse.....	45
III.6. Méthodes d'évolution de la qualité des eaux souterraines.....	46
III.6.1. Application de système d'information géographique (SIG) ou Cartographie hydrochimique.....	46
III.6.2. Faciès chimiques.....	46
III.6.2.1. Diagramme de piper.....	46
III.6.2.2. Méthode de Stabler.....	47
III.6.3. Processus de minéralisation.....	47
III.6.3.1. Diagrammes binaires.....	47
III.6.3.2. Indices Chloro-Alcalin (I.C.A) ou Indice d'Echange de Bases (I.E.B).....	47
III.6.3.3 Indices de saturations.....	47
III.6.4. Norme de potabilité des eaux de consommation.....	48
III.6.4.1. Les normes de potabilité.....	48
III.6.4.2. Dureté totale.....	48
III.6.5. Aptitude des eaux souterraines à l'irrigation.....	48

### **CHAPITRE IV : Résultats et Discussions**

IV.1. Introduction.....	53
IV.2. Analyse statistique des données chimiques.....	53
IV.2.1. Analyse statistique.....	53
IV.2.2. Matrice de corrélation.....	53
IV.3. Répartition spatiale des paramètres Physico-chimiques.....	55
IV.4. Détermination des principaux faciès hydrochimiques.....	59

IV.4.1. Classification des eaux selon le diagramme de PIPER .....	59
IV.4.2. Classification des eaux selon Stabler.....	60
IV.5. Diagrammes binaires et processus de minéralisation.....	62
IV.5.1. Diagrammes binaires.....	62
IV.5.2. Les échange d'ions.....	64
IV.5.3. Indices de saturation des minéraux.....	65
IV.6. Utilisation des eaux souterraines pour l'A.E.P.....	67
VI.6.1. Normes de potabilité selon les concentrations des éléments chimiques majeurs.....	67
VI.6.2. Normes de potabilité selon le degré hydrométrique.....	67
IV.7. Classification des eaux d'irrigation .....	68
IV.7.1. Classification des eaux selon Riverside.....	68
IV.7.2. Classification mondiale (F.A.O) .....	69
IV.8. Origine de la pollution anthropique.....	70
IV.8.1. L'utilisation des engrais .....	70
IV.8.2. Rejets d'élevage.....	71
IV.8.3. Les eaux usées domestique.....	72
IV.8.4. L'utilisation des pesticides, des fongicides et herbicide.....	73
IV.8.5. Relation nitrate- sulfate.....	73
IV.9. Lutte proposé contre la pollution des eaux souterraines.....	74
IV.10. Conclusion.....	74
 Conclusion Générale.....	 76

## Références Bibliographiques

## Annexes

## *Liste des tableaux*

---

---

<b>Tableau 1</b> : Relation entre la minéralisation et la conductivité électrique.....	20
<b>Tableau 2</b> : Classification de l'eau selon la dureté totale.....	20
<b>Tableau 3</b> : Paramètres géométriques des sous bassins et de la plaine de la région.....	28
<b>Tableau 4</b> : Caractéristiques des stations pluviométriques, d'après ANRH (Période : 1970-2016).....	29
<b>Tableau 5</b> : Températures moyennes mensuelles et annuelles (Période : 1987-2016).....	31
<b>Tableau 6</b> : Indice d'Embergerdu Bassin du Haut Chéiff.....	33
<b>Tableau 7</b> : Indice d'aridité annuel dans la région étudiée d'après " DE MARTONNE.....	35
<b>Tableau 8</b> : Réseau hydrographique de la plaine Alluviale de Khemis Miliana.....	35
<b>Tableau 9</b> : Détails des paramètres chimiques des points d'eau en 2017.....	49
<b>Tableau 10</b> : Paramètres statistiques des variables physico-chimiques des eaux souterraines en 2017.....	53
<b>Tableau 11</b> : Matrice de corrélation entre les variables en hautes eaux 2017.....	54
<b>Tableau 12</b> : Matrice de corrélation entre les variables en basses eaux 2017.....	54
<b>Tableau 13</b> : Classification des faciès hydrochimique selon Stabler.....	61
<b>Tableau 14</b> : Pourcentage des échantillons ayant des concentrations inférieures aux normes OMS (2008).....	67
<b>Tableau 15</b> : Classification des eaux selon leurs DHT.....	68
<b>Tableau 16</b> : Classification les eaux en fonction de la concentration des sels selon FAO.....	69
<b>Tableau 17</b> : La quantité des engrais azoté utilisée dans la plaine du Haut Cheliff (année 2017).....	70
<b>Tableau 18</b> : Estimation de l'apport annuel en azote à partir de l'élevage.....	71
<b>Tableau 19</b> : Estimation de l'apport annuel en azote à partir les eaux usées domestique.....	72



## Liste des figures

<b>Figure 1</b> : Les nappes d'eau souterraine.....	19
<b>Figure2</b> : Synthèse des réactions et processus géochimiques dans un système d'écoulement souterrain.....	23
<b>Figure 3</b> : Carte de localisation de la zone d'étude Haut Cheliff.....	27
<b>Figure 4</b> : Unité hydrogéologique de la zone d'étude sur le fond satellitaire.....	28
<b>Figure 5</b> : Précipitations moyennes annuelles des stations de la région.....	30
<b>Figure 6</b> : Pluviométrie moyenne interannuelle (période 1976/2012) .....	30
<b>Figure 7</b> : Variation moyenne mensuelle des précipitations de la plaine du Haut Cheliff (1975-2016) (station El Khemis ANRH).....	31
<b>Figure 8</b> : Variation mensuelle des températures de la plaine du Haut Cheliff (1987-2016) (station El Khemis ANRH).....	31
<b>Figure 9</b> : Diagramme Ombrothermique de la plaine du Haut Cheliff (station de Khemis Miliana ANRH).....	32
<b>Figure 10</b> : Variation de l'humidité moyenne mensuelle de la plaine du Haut Cheliff (1987-2016) (station El Khemis ANRH).....	32
<b>Figure 11</b> : Variation de l'évaporation moyenne mensuelle au barrage Harraza (1987-2016) (station Barrage Harraza).....	33
<b>Figure 12</b> : Climagramme d'Emberger de la station de Khemis Miliana ANRH.....	34
<b>Figure 13</b> : Carte de réseau hydrographique sur image satellitaire.....	35
<b>Figure 14</b> : Carte d'occupation du sol du Haut Cheliff (ONID, 2012).....	36
<b>Figure 15</b> : Surface agricole dans la vallée du Haut Cheliff (photo sortie le 20/02/2023.....	36
<b>Figure 16</b> . Carte pédologique du Haut Cheliff.....	38
<b>Figure 17</b> : Carte géologique du Haut Chélif (ex : carte géologique de nord d'Algérie au 1/50000.....	39
<b>Figure 18</b> : Coupe géologique interprétative transversale de la plaine du Haut Cheliff .....	40
<b>Figure 19</b> : Inventaire des points d'eaux de la plaine du Haut Cheliff.....	44
<b>Figure 20</b> : Puits et Piézomètre dans la nappe du Haut Cheliff.....	44
<b>Figure 21</b> . Répartition spatiale du Résidu sec en mg/L des eaux souterraines dans la plaine Alluviale de Khemis Miliana.....	55
<b>Figure 22</b> . Répartition spatiale du Potentiel hydrogène (pH) et la conductivité électrique (CE) des eaux souterraines dans la plaine Alluviale de Khemis Miliana.....	55
<b>Figure 23</b> . Répartition spatiale des cations des eaux souterraines dans la plaine Alluviale de Khemis Miliana.....	57
<b>Figure 24</b> . Répartition spatiale des anions des eaux souterraines dans la plaine Alluviale de Khemis Miliana.....	58
<b>Figure 25</b> : Diagramme de Piper, (Points en rouge : période des hautes eaux 2017 ; Points en vert : période des basses eaux 2017).....	60
<b>Figure 26</b> : Distribution des faciès chimiques en 2017.....	61

<b>Figure 27</b> : Relations entre les principaux éléments majeurs 2017. (Points en rouge : période des hautes eaux 2017 ; Points en vert : période des basses eaux 2017).....	63
<b>Figure 28</b> : Relation entre $(Ca^{2+} + Mg^{2+})$ et $(HCO_3^- + SO_4^{2-})$ en 2017 (Points en rouge : période des hautes eaux 2017 ; Points en noir : période des basses eaux 2017).....	64
<b>Figure 29</b> : Carte de l'évolution des valeurs de l'I.E.B en hautes (A) et basse eaux (B).....	64
<b>Figure 30</b> : Variation de l'indice de saturation des minéraux, période hautes eaux 2017.....	30
<b>Figure 31</b> : Variation de l'indice de saturation des minéraux, période basses eaux 2017.....	66
<b>Figure 32</b> : Variation de l'indice de saturation des minéraux.....	66
<b>Figure 33</b> : Représentation sur le diagramme de RICHARDS (Riverside) des eaux de la nappe alluviale du Haut Cheliff (Points en rouge : période des hautes eaux 2017 ; Points en vert : période des basses eaux 2017).....	69
<b>Figure 34</b> : Répartition de la quantité des engrais NPK et les Urées 46 % par commune dans la vallée du Haut Chélif pour l'année 2017.....	70
<b>Figure 35</b> : Evolution la composition d'eaux usées domestiques est rejetées dans la vallée du Haut Chélif pour l'année 2017.....	72
<b>Figure 36</b> : Diagrammes des concentrations en nitrates en fonction des concentrations en sulfates (Points en rouge : période des hautes eaux 2017 ; Points en vert : période des basses eaux 2017).....	73

## *Liste des Abréviations*

---

- ABH** : Agence du Bassin hydrographique Cheliff-Zahrez.
- AEP** : Alimentation en Eau Potable
- ANRH** : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
- BI** : Balance Ionique
- C°** : Degré Celsius.
- CE** : Conductivité électrique ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )
- Cm** : Centimètre
- CV** : Coefficient de variation
- DEFI** : Durée Étendue Fréquence Intensité
- D.H.T** : Degré Hydrotimétrique Total
- DSA** : Direction des Services Agricoles
- FAO**: Food and Agriculture Organisation
- Ha** : Hectare
- g/l** : gramme par litre
- I** : Indice d'aridité
- ICA** : Indice Chloro-Alcalin
- IEB** : indice d'échange de base
- IS** : Indice de saturation
- m<sup>3</sup>/j** : Mètre cube par jour
- mg/l** : Milligramme par litre
- méq/l** : Milliéquivalent par litre
- Moy** : Moyenne
- O.M.S** : Organisation Mondiale de la Santé
- %** : Pourcentage
- P** : Précipitations (mm)
- PNDA** : Programme National de Développement de l'Agriculture
- PNUD** : Plan des Nations Unies pour le Développement
- ONID** : Office National de l'Irrigation et Drainage
- R .sec** : Résidu Sec
- SAR** : Sodium Absorption Ratio
- SIG** : Système d'Information géographique
- T** : Température (°C)
- T/an** : Tonne par an
- °F** : degré français

## *Résumé*

La région du Haut Cheliff qui fait partie du grand bassin du Cheliff est située au nord-ouest de l'Algérie. L'approvisionnement en eau de la population dépend principalement des ressources en eau souterraine. La région d'étude est à vocation agricole, le développement de l'agriculture ces dernières années a fait que la nappe alluviale du Haut Cheliff est de plus en plus sollicitée. La région est caractérisée par un climat semi-aride. Ces facteurs ont contribué d'une manière significative à la dégradation de la qualité des eaux souterraines.

L'objectif principal recherché dans cette étude est d'arriver à étudier de la qualité des eaux souterraines dans la plaine du Haut Cheliff. Nous allons essayer de mieux comprendre l'impact des paramètres climatiques, des facteurs anthropiques et lithologiques sur la qualité de la ressource souterraine et d'optimiser l'interprétation des analyses physico-chimiques en utilisant des moyens plus adéquats.

En l'an 2017, quarante-trois (43) échantillons ont été prélevés et analysés pendant les périodes de hautes et basses eaux. Ces analyses sont effectuées par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH). Le traitement et la représentation des données ont fait appel à l'usage d'outils modernes comme : La cartographie, les outils statistiques, le diagramme de Piper et la méthode de Stabler, les diagrammes binaires, les indices d'échange de bases et les indices de saturation.

Les résultats auxquels on a abouti ont montré que les eaux souterraines de la plaine du Haut Cheliff sont caractérisées par une forte salinité et par la présence du faciès chloruré-calcique avec une apparition des faciès chloruré-sodique, sulfaté calcique et bicarbonate calcique.

La qualité chimique de l'eau est passable à médiocre avec la présence de certains contaminants résultant des nitrates utilisés dans les activités agricoles et l'effet des rejets urbains d'origines anthropiques. La majorité des éléments chimiques analysés dépasse les normes fixées par l'OMS. Deux types d'eau ont été reconnus par la méthode de RICHARDS à savoir médiocre à mauvais. L'utilisation de certaines d'entre elles pourrait avoir un effet négatif sur l'environnement.

**Mots clés :** Eaux Souterraines, Salinité, Nitrates, Environnement, Haut Cheliff.

## *Abstract*

The Upper Cheliff region, which is part of the large Cheliff basin, is located in the north-west of Algeria. The population's water supply depends mainly on groundwater resources. The study area is an agricultural area, and the development of agriculture in recent years has meant that the alluvial groundwater of the Upper Cheliff is increasingly in demand. The region is characterized by a semi-arid climate. These factors have contributed significantly to the degradation of groundwater quality.

The main objective in this context is to study the quality of groundwater in the Upper Cheliff region. We will try to better understand the impact of climatic parameters, anthropic and lithological factors on the quality of the groundwater resource and to optimise the interpretation of physico-chemical analyses by using more adequate means.

In 2017, forty-three (43) samples were taken and analyzed during high and low water periods. These analyses were carried out by the National Water Resources Agency (ANRH). The

processing and representation of the data called for the use of modern tools such as: cartography, statistical tools, Piper diagram and Stabler method, binary diagrams, base exchange indices and saturation indices.

The results showed that the groundwater of the Haut Chéiff plain is characterised by high salinity and the presence of chloride-calcium facies with the appearance of chloride-sodium, sulphate-calcium and bicarbonate-calcium facies. The chemical quality of the water is fair to poor with the presence of certain contaminants resulting from nitrates used in agricultural activities and the effect of urban discharges of anthropic origin. The majority of the chemical elements analysed exceed the standards set by the WHO. Two types of water were recognised by the RICHARDS method, namely poor to poor. The use of some of them could have a negative effect on the environment.

**Key words:** Groundwater, Salinity, Nitrates, Environment, Upper Cheliff.

## ملخص

تقع منطقة شلف الأعلى، وهي جزء من حوض شلف الكبير، في شمال غرب الجزائر. تعتمد إمدادات المياه للسكان بشكل أساسي على موارد المياه الجوفية. منطقة الدراسة هي منطقة زراعية، وقد أدى تطوير الزراعة في السنوات الأخيرة إلى زيادة طلب طبقة المياه الجوفية في سهل شلف الأعلى. تتميز المنطقة بمناخ شبه جاف. ساهمت هذه العوامل بشكل كبير في تدهور جودة المياه الجوفية.

الهدف الرئيسي المنشود في هذه الدراسة هو التمكن من دراسة جودة المياه الجوفية في منطقة شلف الأعلى. سنحاول فهم تأثير العوامل المناخية والعوامل البشرية والبيولوجية بشكل أفضل على جودة الموارد الجوفية وتحسين تفسير التحليلات الفيزيائية والكيميائية باستخدام وسائل أكثر ملائمة.

في عام 2017، تم جمع وتحليل 43 عينة خلال فترات المياه المرتفعة والمنخفضة. يتم إجراء هذه التحليلات من قبل الوكالة الوطنية للموارد المائية (ANRH). تتطلب معالجة البيانات وتمثيلها استخدام الأدوات الحديثة مثل: رسم الخرائط، والأدوات الإحصائية، ومخطط Piper وطريقة Stabler، والمخططات الثنائية، ومؤشرات التبادل الأساسية، ومؤشرات التشبع.

أظهرت النتائج التي توصلنا إليها أن المياه الجوفية في سهل شلف الأعلى تتميز بالملوحة العالية ووجود نوع المياه كلوريد الكالسيوم السائد مع ظهور أنواع كلوريد الصوديوم وكبريتات الكالسيوم وبيكربونات الكالسيوم بشكل طفيف. جودة المياه الكيميائية متوسطة إلى رديئة مع وجود بعض الملوثات الناتجة عن النترات المستخدمة في الأنشطة الزراعية وتأثير التصريفات الحضرية ذات الأصل البشري. غالبية العناصر الكيميائية التي تم تحليلها تتجاوز المعايير التي وضعتها منظمة الصحة العالمية. تم التعرف على نوعين من المياه من خلال طريقة ريتشارد، وهما مياه متوسطة الملوحة ومياه رديئة. قد يكون لاستخدام بعضها تأثير سلبي على المحيط البيئي.

**الكلمات المفتاحية:** المياه الجوفية، الملوحة، النترات، المحيط، شلف الأعلى.

*Introduction*  
*Générale*

---

## Introduction Générale

En Algérie, l'eau est une ressource de plus en plus précieuse. La principale source de satisfaction de la demande en eau souterraine, du fait de son exploitation qui est relativement facile. En milieu aride et semi-aride, particulièrement dans la région méditerranéenne, les eaux souterraines sont fortement sollicitées (**El Jihad et Taabni 2019**). Ces dernières années ces eaux souterraines ne sont pas protégées contre la pollution. Donc un danger menace notre environnement et l'homme qui en est responsable par l'exploitation non rationnelle de cette ressource, les rejets domestiques et industriels non contrôlés dans la nature, l'utilisation intensive des fertilisants et des engrais surtout chimiques. Ces activités modifient le chimisme de l'eau et la rendent impropre aux usages souhaités et elles ont un impact néfaste sur la qualité des eaux souterraines. Donc, les eaux souterraines peuvent être contaminées à partir de sources naturelles ou de nombreux type d'activités humaines.

La pollution constitue un risque permanent de limitation des ressources en eaux souterraines (**Bekkoussa et al, 2018**). La croissance démographique, la modernisation de l'agriculture et l'industrie contribuent à la dégradation quantitative et qualitative des eaux souterraines. Les problèmes liés à la pollution des eaux souterraines constituent actuellement une source d'inquiétude qui requiert un intérêt universel. Cette pollution, générée par les activités anthropiques, peut, en atteignant des niveaux critiques, présenter un danger grave pour la santé publique et l'environnement.

La plaine du Haut Cheliff a connu ces dernières années un important développement agricole, et ce, après l'application du Programme National de Développement de l'Agriculture (PNDA) en 2000 et celui du Fond National pour la Régulation du Développement Agricole (FNRDA) en 2001 qui a engendré un accroissement de la demande en eau pour l'irrigation conduisant ainsi à la surexploitation de la nappe alluviale du Haut Cheliff, laquelle est d'une capacité d'environ 16 Hm<sup>3</sup>/an constitue la première source pour l'irrigation. Cette action, combinée à la sécheresse, a provoqué un tarissement des sources et un rabattement sensible des aquifères, et d'autre part, a exposé les ressources en eau à différentes pollutions résultant de l'activité agricole.

La qualité des eaux de cette région a subi ces dernières années une certaine détérioration, à cause de rejets urbains non contrôlés, de l'utilisation intensive d'engrais chimiques et de fertilisants dans l'agriculture ainsi que de son exploitation désordonnée. Ces éléments modifient le chimisme de l'eau et la rendent impropre aux usages souhaités.

Quelques études, déjà réalisées sur la qualité des eaux souterraines de la nappe alluviale du Haut du Chéiff (mémoires d'Ingénieur, de Master, de Magister et des thèses de Doctorat : **Maghraoui, 1986 ; Djeda, 1987 ; Ikhlef, 2006 ; Bouzada, 2013 ; Touhari, 2015 ; Dekkiche, 2019 ; Madene, 2021**)

Dans ce contexte, la présente étude s'ajoute à de plus anciens travaux de recherche, et ce pour donner un aperçu scientifique sur l'état actuel de la région du Haut Cheliff, du point de vue qualitatif et quantitatif.

L'objectif principal recherché dans ce contexte est l'étude de la qualité des eaux souterraines dans la région du Haut Cheliff durant l'année 2017.

L'étude menée dans le présent manuscrit aura également pour objet la compréhension de l'ensemble des processus régissant le chimisme des eaux de la nappe alluviale du Haut Cheliff. Nous allons essayer de mieux comprendre l'impact de la lithologiques, les facteurs anthropique et des conditions climatiques sur la qualité de la ressource souterraine et d'optimiser l'interprétation des analyses physico-chimiques en utilisant des moyens plus adéquats.

Le manuscrit de mémoire s'articule autour de quatre chapitres précédés d'une introduction décrivant la problématique du sujet, les objectifs visés et les méthodes et moyens utilisés pour mener à bien cette étude :

- Dans le premier chapitre, un aperçu bibliographique des types d'aquifère, de la composition physico-chimique des eaux souterraines, des mécanismes de minéralisation des eaux et leur pollution sera présenté ;
- La localisation et les caractéristiques de la région étudiée sont présentées dans le deuxième chapitre, ainsi que l'analyse des principales conditions climatiques, pédologiques et géologique ;
- Le chapitre trois concerne la méthode et matériel utilise dans l'évolution la qualité des eaux souterraines
- Le quatrième ou le dernier chapitre concerne résultat et discussion. Cette partie portera sur les résultats des différentes analyses physico-chimiques des eaux souterraines de la nappe alluviale reconnues dans le Haut Chélif. L'interprétation des données permettra de discuter l'origine de la minéralisation et d'apprécier la qualité des eaux (potabilité et aptitude à l'irrigation). nous identifierons les principales sources de pollution et leurs impacts sur les eaux souterraines de la nappe alluviale du Haut Cheliff.

A la fin, l'ensemble de ces différents résultats issus des différents chapitres constituent la synthèse qui fera l'objet de la conclusion générale.



# *Chapitre I*

---

*APERÇU*

*BIBLIOGRAPHIQUE*

## I.1. Introduction

La composition chimique des eaux souterraines déterminée provenant de la constitution des zones souterraines qu'elle a traversées et qui lui cèdent, ou avec qui elle échange différentes substances La formation géologique poreuses et perméable qui ont la propriété de permettre l'infiltration, le stockage et l'écoulement des eaux constituent les aquifère et le réservoir des eaux souterraines, leur ressource en eaux proviennent de la partie des eaux de pluie non reprise par l'évaporation, la végétation ou le ruissèlement (**El Meddahi , 2016**).

Les concentrations des compositions chimique sont conditionnées par divers facteurs tels que les paramètres climatiques, l'activité anthropique, les échanges entre aquifères et les eaux de surface (**Gouaidia, 2008**).

## I.2. Les eaux souterraines

Les eaux souterraines sont les eaux de sous-sol qui constituent une provision d'eau potable inestimable pour l'humanité. Les eaux souterraines sont en interaction avec les autres types de masses d'eau, d'une part les eaux douces continentales (cours d'eau, zones humides, lacs...) et d'autre part avec les eaux marines en bordure littorale. Le sens de ces transferts peut varier au cours de l'année en fonction des conditions hydrologiques. Elles assurent souvent le débit de base des systèmes d'eaux continentales superficielles et de ce fait influencent leur qualité. En d'autres termes, les effets de l'activité humaine sur la qualité des eaux souterraines et les débits des nappes peuvent se répercuter sur la pérennité et la qualité écologique des écosystèmes aquatiques associés et des écosystèmes terrestres directement dépendants (**Kaid Rassou, 2009**).

La composition et la qualité des eaux souterraines sont à l'origine liées à la nature géologique du terrain. Ils ont un impact direct sur celle des eaux de surface, ainsi que sur les écosystèmes aquatiques et terrestres associés. Les eaux usées domestiques et industrielles souvent déversées directement dans les oueds, participent fortement au changement de la qualité des eaux souterraines) (**Abdelbaki et al., 2007**).

## I.3. Différents types de nappes

La nappe désigne la masse d'eau accumulée dans le sous-sol, il existe différents types d'aquifères (figure 1) que l'on peut regrouper en trois grands ensembles :

- **Nappes libres** : Elles sont aussi dénommées nappes à surface libre car elles sont en équilibre de pression avec l'atmosphère. Elles sont limitées en profondeur par l'existence d'un niveau imperméable appelé mur.
- **Nappes perchées** : nappe souterraine libre, permanente ou non , généralement de dimensions modestes, située au dessus d'une zone non saturée.
- **Nappes captives** : Elles correspondent aux nappes profondes. Elles sont limitées dans leur partie inférieure par un mur et dans leur partie supérieure par un toit. Mur et toit correspondent en fait à des niveaux peu perméables garantissant un confinement plus ou moins important. Les écoulements souterrains s'y font sous pression.

Dans certains environnements géologiques, les nappes libres d'eau souterraines peuvent être multiples et s'agencer sous forme d'empilements complexes, on appelle nappe alluvionnaire, c'est le cas de figure courant particulièrement dans les bassins sédimentaires, comme la plaine d'El Khemis ou la nappe alluvionnaire du Haut Cheliff en Algérie.

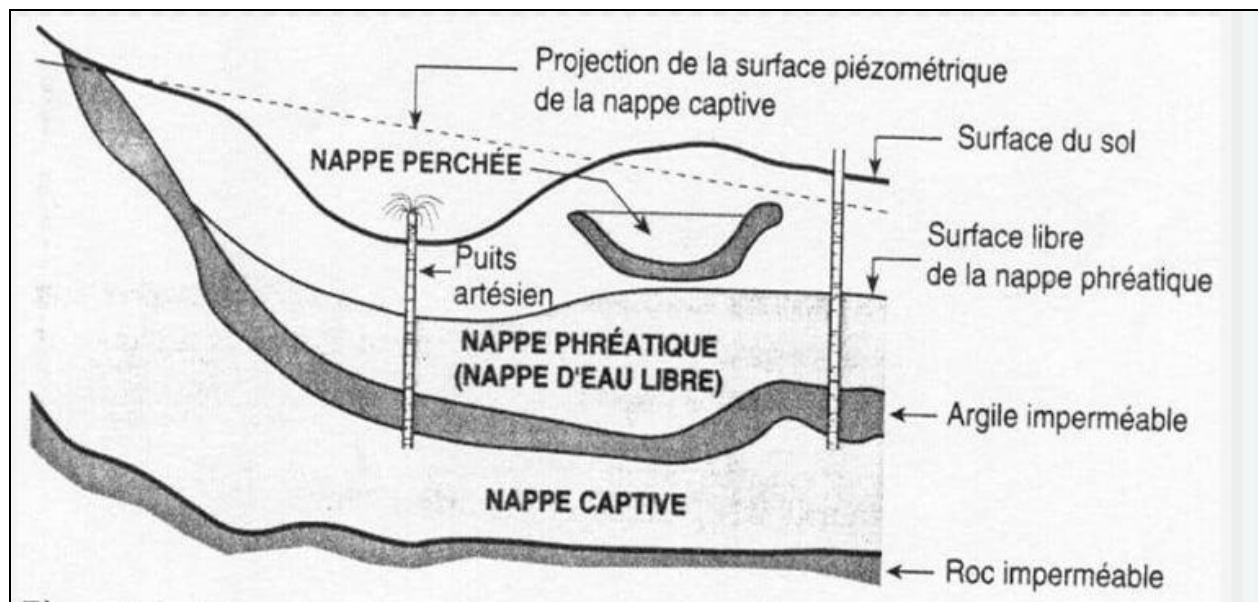


Figure 1 : les nappes d'eau souterraine (Landry et mercier, 1992)

## I.4. Paramètres de qualité des eaux souterraines

### I.4.1. Paramètres physiques et organoleptiques

➤ **Couleur** : La couleur des eaux souterraines est en général transparente sauf si elles sont chargées de sels de calcaire ou de fer (Gaujous, 1995).

➤ **Odeur** : Le test de l'odeur ne constitue pas une mesure mais une appréciation et celle-ci a donc un caractère personnel. Les eaux souterraines non thermales sont, en général, inodores si elles sont potables. Par contre, les eaux provenant de marais ou même de lacs, si elles sont insuffisamment filtrées sont reconnaissables à une odeur rappelant celle de l'hydrogène sulfuré provenant de la décomposition de matières organiques (Rodier et al, 2009).

➤ **Goût et saveur** : Toute eau possède une certaine saveur qui lui est propre et qui est due aux sels et aux gaz dissous. La saveur d'une eau souterraine dépend des sels et des gaz qu'elle contient en solution quelques milligrammes de sels de fer ou de cuivre par litre sont décelés, alors que plusieurs centaines de milligramme de chlorure de sodium n'affectent pas le goût (Gaujous, 1995)

➤ **Température** : La connaissance précise de la température de l'eau est importante dans la mesure où celle-ci joue un rôle primordial dans la solubilité des sels et des gaz et par conséquent sur la conductibilité (Rodier et al, 2009).

La température doit être mesurée in situ. Les appareils de mesure de la conductivité ou du pH possèdent généralement un thermomètre intégré.

➤ **Conductivité électrique** : La conductivité électrique est la propriété que possède une eau de favoriser le passage d'un courant électrique. Elle est due à la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique. Elle dépend de la nature de ces ions dissous et leurs concentrations. Sa mesure donne une indication rapide sur l'analyse chimique des eaux. Elle permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau (Trombe, 1977, El Meddahi, 2016).

**Tableau 1** : Relation entre la minéralisation et la conductivité électrique.

Conductivité électrique	Taux de minéralisation
< 100 $\mu\text{s/cm}$	Minéralisation très faible
100 < C.E < 200 $\mu\text{s/cm}$	Minéralisation faible
200 < C.E < 333 $\mu\text{s/cm}$	Minéralisation moyenne
333 < C.E < 666 $\mu\text{s/cm}$	Minéralisation moyenne accentuée
666 < C.E < 1000 $\mu\text{s/cm}$	Minéralisation importante
C.E > 1000 $\mu\text{s/cm}$	Minéralisation élevée

(Source : Rodier, 1996)

➤ **Potentiel d'hydrogène** : Le pH ou potentiel Hydrogène de l'eau mesure sa concentration en ion  $\text{H}^+$ . Il permet d'avoir une idée globale de la physico-chimie de l'eau. Il traduit son caractère acide ou basique. Généralement deux méthodes sont utilisées pour la mesure de pH: la méthode colorimétrique à l'aide des tiges est utilisée pour déterminer le pH afin de comparer les valeurs trouvées avec celles affichées par le multimètre à sonde (Rodier et al, 2009).

#### I.4.2. Paramètres Chimiques

➤ **Résidu sec** : Exprimé en gramme par litre (g/l) ou milligramme par litre (mg/l), représente la minéralisation totale de l'eau, c'est-à-dire la totalité des sels dissous et la matière organique contenus dans l'eau, obtenue par dessiccation de l'eau à 110 °c (Rodier et al, 2009).

➤ **Dureté totale ou titre hydrotimétrique** : L'eau dure est l'eau qui a une haute teneur en cation (calcium et magnésium). La dureté de l'eau dépend essentiellement du contexte géologique. Les eaux des régions calcaires sont dures, celles des régions granitiques sont douces. Le Degré Hydrotimétrique Total (D.H.T) ou la dureté d'une eau indique la teneur totale de l'eau en sel de calcium  $\text{Ca}^{2+}$  et de magnésium  $\text{Mg}^{2+}$  exprimé en degré français et est calculée selon la formule suivante :

$$\text{DHT} = 5 (\text{r Ca}^{2+} + \text{r Mg}^{2+}) \text{ } ^\circ\text{F} \dots\dots\dots (1)$$

Avec :  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  sont exprimés en (még/l).

Un degré français ( $^\circ\text{F}$ ) correspond à la dureté d'une solution contenant 10 mg / l de  $\text{CaCO}_3$

1  $^\circ\text{F}$  est équivalent à 4 mg de calcium par litre et 2,4 mg de magnésium par litre.

1 még d'ions de calcium et de magnésium est égal à 5  $^\circ\text{F}$  (Touhari, 2015).

**Tableau 2** : Classification de l'eau selon la dureté totale

	0 à 7	7 à 14	14 à 22	22 à 32	32 à 54	>54
Dureté de l'eau	Très Douce	Douce	Modérément Douce	Assez Dure	Dure	Très Dure
Usage domestique	Bonne Potabilité		Potabilité passable		Potabilité médiocre à mauvaise	

(Source : Rodier, 1996).

#### ➤ Éléments majeurs

##### 1) Cations

➤ **Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )** : Le calcium est un métal alcalino terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonate. Sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés (Messalmi, 2004). Une forte présence en calcium dans l'eau donne des eaux dures. En plus de son origine industrielle, le calcium peut

provenir d'une origine naturelle par la dissolution du gypse, sous l'attaque chimique des roches carbonatées (**Rodier et al, 2009**).

➤ **Magnésium (Mg<sup>2+</sup>)** : Le magnésium est un des éléments les plus répons dans la nature, il constitue environ 2,1 % de l'écorce terrestre. La plupart des sels sont très solubles dans l'eau. La teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrées (**Rodier et al, 2005**). Le magnésium provient d'une part, de l'attaque chimique par des roches magnésiennes, des basaltes et des argiles par le CO<sub>2</sub> et d'autre part, du lessivage des roches volcaniques, ainsi que par la dissolution de MgSO<sub>4</sub>, présents dans les terrains gypseux (**Rejsek, 2002**). Le magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau.

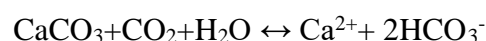
➤ **Sodium (Na<sup>+</sup>)** : Le sodium est toujours présent dans les eaux naturelles en proportion très variables. Le sodium est un élément très soluble et très fréquent dans les eaux ; il peut provenir à partir de plusieurs origines à savoir : la décomposition des sels minéraux tels que les silicates, le lessivage des formations géologiques riches en NaCl (halite) et des venues d'eaux salées dans les nappes (**Rodier et al, 2005**). Le sodium est par contre généralement peu présent dans les roches carbonatées. Notons que les argiles peuvent être saturées en ion Na<sup>+</sup>, par le processus d'échange de base (**Gouaidia, 2008**).

➤ **Potassium (K<sup>+</sup>)** : Le potassium est beaucoup moins abondant que le sodium, sa présence est à peu près constante dans les eaux naturelles. Le potassium provient d'une part, des lessivages des engrais, des argiles et des roches volcaniques, et d'origine industrielle, d'un autre part (**Rodier et al, 2005**).

## 2) Anions

➤ **Chlorures (Cl<sup>-</sup>)** : Le chlorure est présent à l'état naturel dans les eaux souterraines en raison de l'altération météorique et l'évaporation ou du lessivage des formations salifères notamment la halite, ainsi que de la dissolution des dépôts de sel et la pollution anthropique (**Rodier et al, 2005**). La concentration des chlorures dans l'eau dépend de l'origine de l'eau, du terrain traversé et de la composition chimique des sols, l'utilisation des engrais chimiques, des rejets des eaux usées (industrielle ou domestique) et des roches qui sont contacts avec les sources en eau (**Debieche, 2002**).

➤ **Carbonates (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) et Bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)** : L'ion Bicarbonate est le principal constituant alcalin de la plupart des eaux courantes. Les ions bicarbonates se forment à partir de la dissolution des minéraux carbonatés par des eaux météoriques qui se chargent en CO<sub>2</sub> lors de leur percolation à travers le sol (**Sari, 2014**) :



➤ **Sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)** : La concentration en ion de sulfate des eaux naturelles est très variable. Les sulfates peuvent être d'origine naturelle à partir du gypse (CaSO<sub>4</sub>) ou pyrite [FeS<sub>2</sub>], Les sulfates peuvent également essentiellement de la dissolution de roches sédimentaires évaporitiques, notamment le gypse l'utilisation des engrais chimiques ; des eaux de pluie où le soufre présent dans l'atmosphère subit une oxydation, et du lessivage des terrains argileux et marneux (**Rodier et al, 2005**).

➤ **Nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)** : Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote et ils se trouvent naturellement dans les eaux de surface ainsi que dans les eaux souterraines (**Rejsek,**

2002). L'élévation des nitrates dans les eaux souterraines est souvent liée au développement des élevages, à une fertilisation excessive des zones agricoles par les engrais.

### 1.5. Minéralisation des eaux souterraines

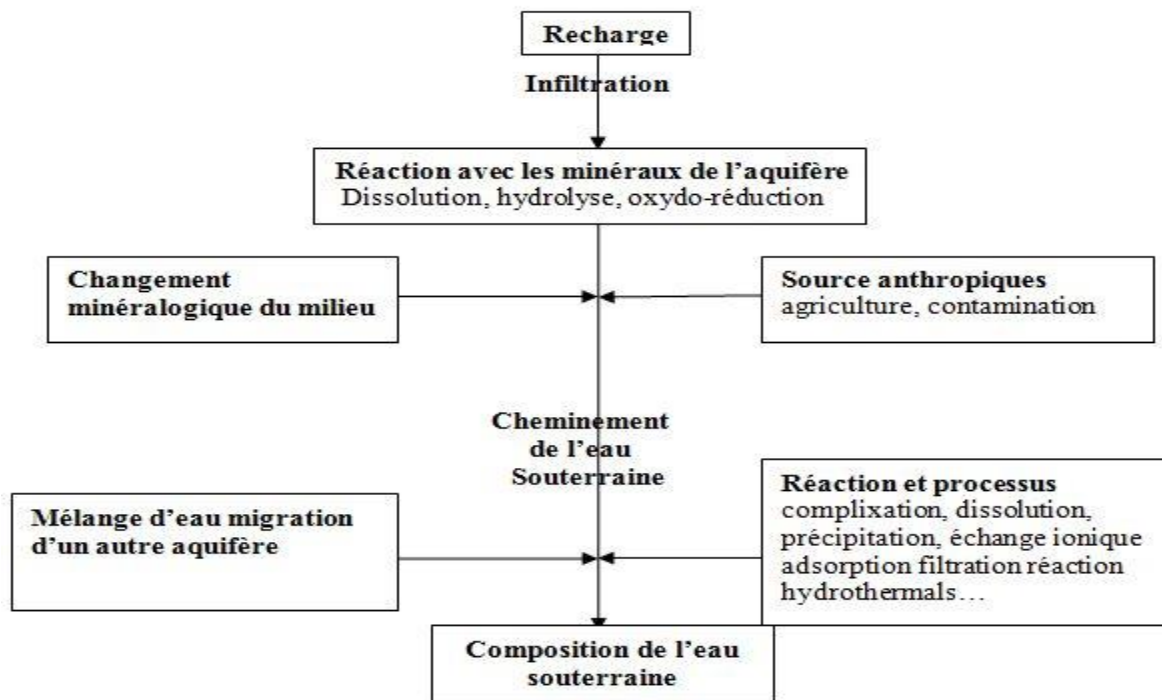
La chimie des eaux souterraines est un facteur important pour déterminer les besoins de son utilisation. Les processus hydrogéochimiques des eaux souterraines aident pour obtenir un aperçu des contributions de l'interaction Roche/Sol-Eau et aussi les influences anthropiques sur la qualité des eaux souterraines (Madene, 2021). Ces processus géochimiques sont responsables des variations spatiotemporelles de la chimie des eaux souterraines (Varol et al, 2014). Les propriétés physiques et chimiques ainsi acquise caractérisant l'eau de la nappe qu'elle forme et sont conditionnées par les facteurs suivants ;

- a) La nature des roches traversées et des minéraux rencontrés au cours de l'infiltration ;
- b) Les activités anthropiques ont une influence non négligeable sur la qualité physico-chimique des eaux souterraines. On observe principalement deux types d'influence :
  - En agriculture : Apport de  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $NH_4^+$ ,  $PO_4^{3-}$ .
  - Rejets des eaux usées : Apport de  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $NO_3^-$ ,  $Cl^-$  et quelques métaux lourds (Gouaidia, 2008).
- c) Le temps de contact de l'eau avec les roches, donc de la vitesse de percolation de l'eau dans le sous-sol ;
- d) Le taux de renouvellement de l'eau de la nappe par l'eau d'infiltration.

Au sein de la nappe, l'eau peut en effet subir les effets de plusieurs phénomènes (précipitation des minéraux, dissolutions, échange de base...), les eaux souterraines sont dures, elles sont très chargées en sels de calcium et magnésium. Au contact du gypse, l'eau peut se charger en sulfate de calcium et magnésium. Les eaux souterraines des nappes alluviales à une qualité qui dépend par les eaux de l'infiltration, la nature géologique et de la profondeur de nappe et l'évaporation des eaux (Madene, 2021)

### 1.6. Pollution des eaux souterraines

L'eau souterraine est considérée comme polluée lorsqu'elle contient des substances autres que celles liées à la nature des terrains qu'elle a traversés ou dans lesquelles elle séjourne. La pollution de l'eau est une altération des qualités naturelles (physiques et chimiques) d'une eau. C'est à fois l'action et les processus de dégradation des qualités de l'eau. La pollution des eaux souterraines entraîne le risque permanent de limitation de cette ressource dans un proche avenir. Elle résulte essentiellement de l'activité humaine indépendamment de la détérioration naturelle liée aux facteurs géologiques (Dekkiche et Mezaour, 2019). La pollution modifie certaines caractéristiques de l'eau (composants physico-chimique, bactériologiques,...) et suscite une altération qui la rend impropre à certains usages (Alili et Hadj Kadour, 2007).



**Figure 1 :** synthèse des réactions et processus géochimiques dans un système d'écoulement souterrain (Cloutier, 2004).

### 1.6.1. Différentes sources de pollutions

➤ **Pollution domestique et urbaine :** Dans le cas d'un assainissement, collectif ou individuel, défectueux, des substances indésirables contenues dans les eaux des vannes et les eaux ménagères peuvent être transférées à la nappe (matières organiques, détergentes, solvants, antibiotiques, microorganismes) (Touhari, 2015).

➤ **Pollution industrielle :** Les polluants d'origines industrielles sont très variés selon les types d'activité. Elles constituent la deuxième source de pollution des eaux de surface et souterraines et peut avoir des causes variées. Les plus fréquentes sont les dépôts de déchets, les bassins d'eau de lavage ou de traitement de l'industrie minière, métallurgique ou chimique, qui ont été placés sans précautions, à même le sol, sur des terrains trop perméables. Cette pollution est caractérisée par : - des matières organiques et graisses (industries agro-alimentaires) - des hydrocarbures (raffineries) - des métaux (traitement de surface métallurgique) - des acides, bases et produits chimiques divers (industries chimiques) - de l'eau chaude (circuits de refroidissement des centrales thermiques) - des matières radioactives (centrales nucléaires) (Touhari, 2015).

➤ **Pollution agricole :** Les pratiques actuelles des cultures et l'élevage influencent fortement le régime et la qualité des eaux (Charikh, 2015). La pollution est étendue dans l'espace et dans le temps ; elle est chronique et concerne de grandes surfaces. En effet, les pratiques actuelles des cultures et de l'élevage influencent fortement le régime et la qualité des eaux. Le transfert des engrais et pesticides à la nappe se fait soit par infiltration sur l'ensemble de la surface cultivée, soit par rejet dans des puits perdus, des gouffres et bétoires. La pratique de l'irrigation accélère le transfert. Une pollution ponctuelle commune est fournie par les eaux de rinçages des récipients et appareils d'épandage. Les élevages intensifs de bovins et volailles produisent une grande quantité de déjections azotées qui doit être stockées en réservoirs étanches avant d'être utilisée comme engrais (ou comme aliments) (Touhari, 2015).

## 1.6.2. Caractérisation de la pollution

La pollution est caractérisée par le « DEFI » c'est à dire sa Durée, son Étendue, sa Fréquence et son Intensité :

- a) **Durée** : la durée l'émission polluante est très variable en fonction de son origine, des moyens de détection et des moyens de lutte pour son atténuation.
- b) **Étendue** : l'étendue de la propagation d'un polluant dépend de sa source, du volume du polluant, des possibilités de détection et des moyens utilisée pour la stopper.
- c) **Fréquence** : la fréquence d'un phénomène de pollution est directement lie à l'activité humaine à laquelle elle se rapporte, aux mesures prises dans le sens de diminution des actes volontaires ou involontaires de pollution et à l'existence d'infrastructures.
- d) **Intensité** : Elle est fonction de la toxicité des contaminants et de leur concentration.

## 1.7. Géochimie des eaux souterraines

Le chimisme des eaux souterraines dépend essentiellement de la composition lithologique des terrains traversés et du temps de séjour des eaux dans le réservoir. Ainsi que du type d'alimentation et la profondeur de la nappe. La composition chimique d'une eau joue un rôle important dans la détermination de sa qualité chimique de l'eau et la possibilité d'utilisation pour l'alimentation en eau potable ou d'autres usages (irrigation, industrie, ..., etc.) (**Ghesquiere et al, 2015**). Les phénomènes de dissolution des éléments dépendent du degré de saturation des eaux vis-à-vis des minéraux à une température donnée. Ce phénomène indique les tendances des phases à se dissoudre ou précipiter, et permet de suivre l'évolution géochimique de l'eau dans l'aquifère (**Madene, 2021**). D'autre phénomène contribue dans la chimie des eaux souterraines, c'est les échanges de bases, Ce phénomène plus connu avec l'argile, se produit souvent sur les argiles de l'aquifère par fixation des alcalino-terreux ( $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ ) et libération de sodium ( $\text{Na}^+$ ) ou inverse. Les argiles sodiques échangent le sodium contre le calcium et le magnésium de l'eau. Les argiles calciques échangent le calcium contre le sodium et le magnésium (**Madene, 2021**)

## 1.8. Impact du changement climatique sur qualité des eaux souterraines

Le changement climatique peut influencer sur la qualité et les processus de minéralisation des eaux souterraines (**Dragoni et Sukhija., 2008**). En effet, la qualité des eaux souterraines dépendante des propriétés physiques et chimiques des aquifères est notamment contrôlée par les fluctuations climatiques. La perturbation de la recharge de la nappe, les temps de résidence et de la température de l'eau modifie la chimie de l'eau (**Van, 2007**). Les variations climatiques peuvent entraîner des modifications dans la salinisation des eaux souterraines qui constitue l'une des principales causes de dégradation de la qualité de l'eau dans le monde (**Larbi Bouamrane et Nabi., 2019**)

## 1.9. Conclusion

Les caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines montrent qu'elles sont en relation directe avec les conditions géologiques, le climat de milieu et les activités anthropiques.

Du point de vue géologique, la contamination naturelle s'effectue par la dissolution des formations géologique (évaporitique et carbonatées) responsable, par endroit, des concentrations excessives en éléments majeurs (Ca, Mg, Na, K,  $\text{HCO}_3$ , Cl,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{NO}_3$ ).



L'action anthropique est caractérisée par : la pollution urbaine, l'existence de nombreuses fermes agricoles, l'utilisation massive des fertilisants des sols et l'usage de produits chimique de traitement des plantes (pesticides) et l'épandage excessif des engrais chimiques responsables des fortes concentrations en NO<sub>3</sub>. La qualité des eaux souterraines est liée par la structure des terrains où elle a séjourné et le types de pollué anthropique.

# *Chapitre II*

---

## PRESENTATION DE LA REGION D'ÉTUDE

## II.1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons s'intéresser à la description du bassin du Haut Cheliff, des caractéristiques morpho-métriques et à l'étude des facteurs hydro-climatologiques.

## II.2. Situation géographique du bassin du Haut Cheliff

### II.2.1. Contexte régional

La zone d'étude correspond au bassin du Haut Cheliff, qui est située au à 110 km nord-ouest de l'Algérie. Il fait partie du bassin hydrographique du Cheliff au nord-est de ce dernier (figure 3).

Cette région correspond sensiblement au centre de ce que les géographes appellent le Maghreb.

Elle est en effet limitée par :

- Au Nord par le bassin du Côtier Dahra.
- Au Sud par le bassin amont du Cheliff.
- A l'Est par le bassin hydrographique de l'Algérois.
- A l'Ouest par le bassin du Moyen Cheliff.

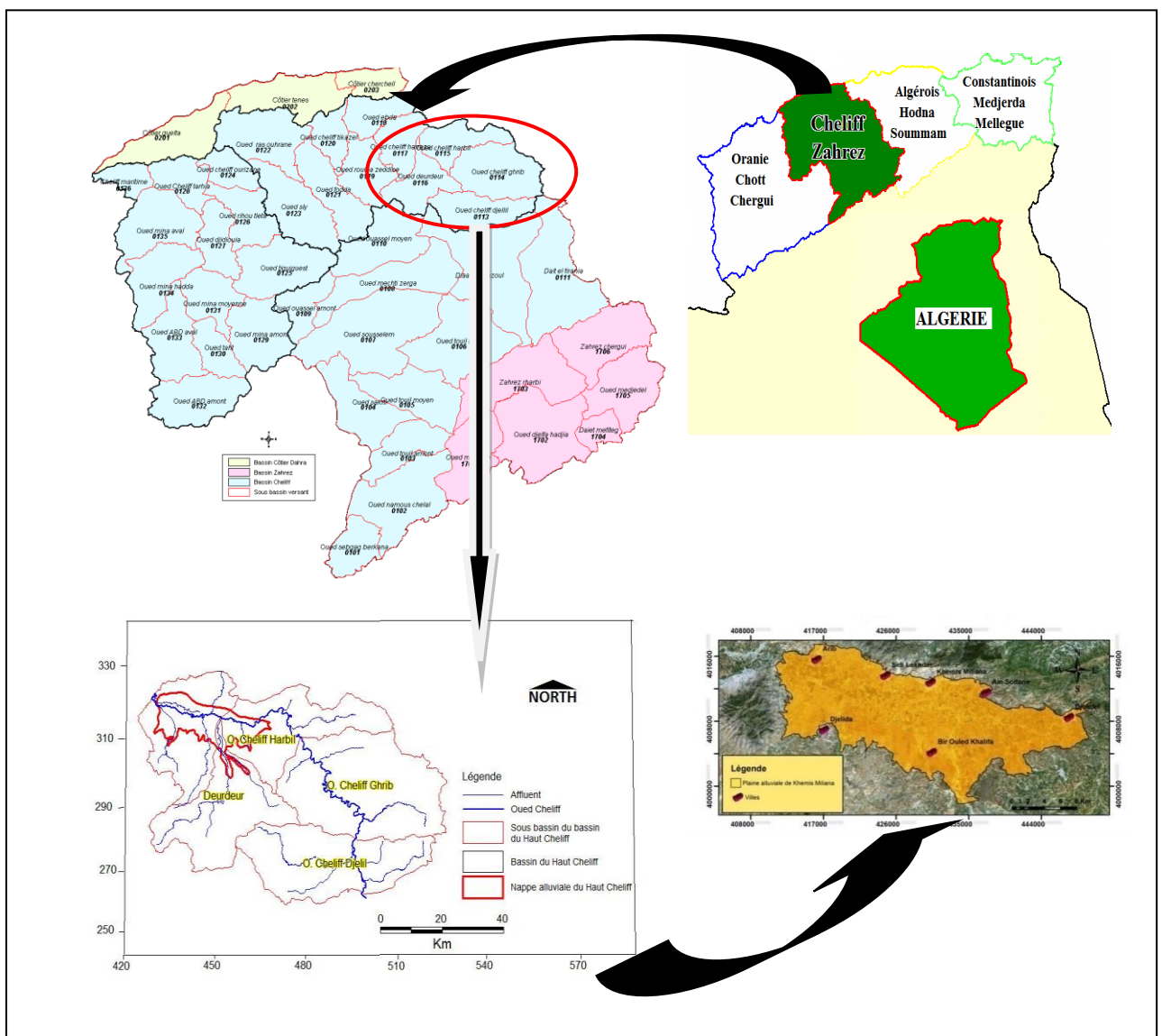


Figure 3 : Carte de localisation de la zone d'étude Haut Cheliff.

### II.2.2.Contexte Local

La région étudiée est dite « plaine alluviale de Khemis-Miliana ou la plaine du Haut Cheliff ».

Elle fait partie du bassin du Haut Cheliff avec une superficie de 360 Km<sup>2</sup> et un périmètre de 156 Km, elle caractérise par une altitude moyenne de 270 m.

Elle forme l'un des plus grands réservoirs d'eau souterraine de la région, géographiquement comprise entre les latitudes (36°12' et 36°30') N et les longitudes (2°02' et 2°44') E (figure 3), Elle est limitée au Nord par les calcaires dolomitiques du Djebel Zaccar (1578 m d'altitude) et les grès de djebel Gantas, au Sud par les premiers contreforts du massif de l'Ouarsenis marno-argilo-gréseux . On y pénètre à l'Est par le seuil de Djendel à 308m d'altitude et on en sort à l'Ouest par le seuil de Doui à 248m.

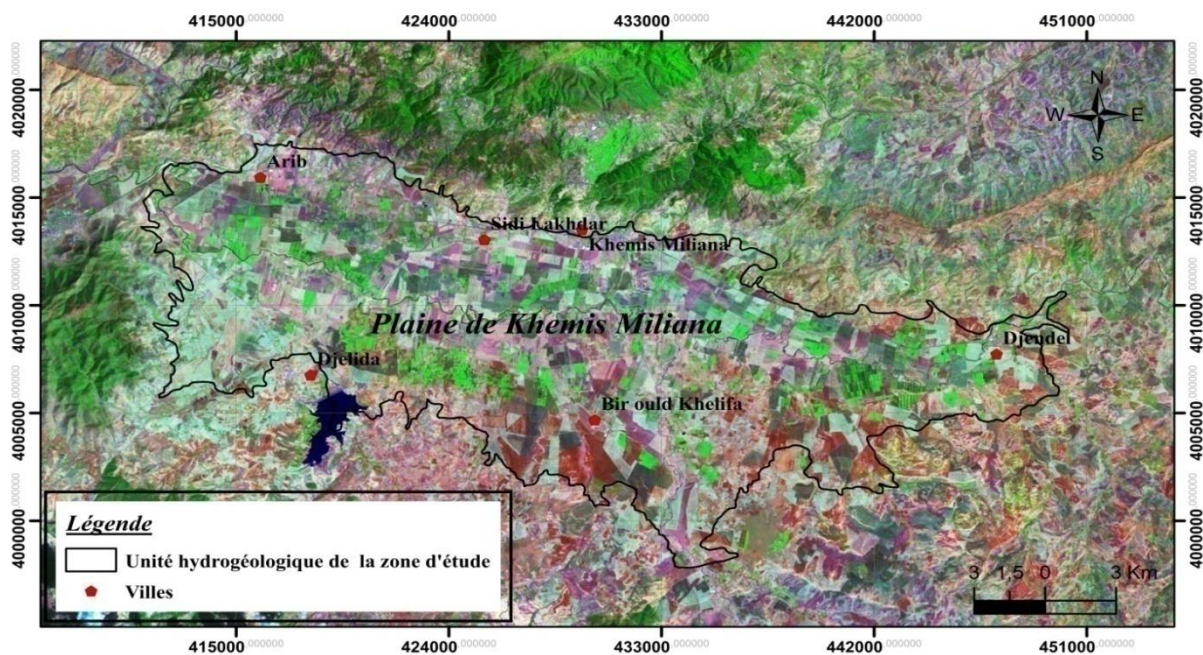


Figure 4 : Unité hydrogéologique de la zone d'étude sur le fond satellitaire (Meziani et al, 2013).

### II.3.Contexte géomorphologique

L'aire de l'étude se compose selon les délimitations orohydrographiques de 05 sous bassins versants : Oued Chélif Djellil (01-13) ; Oued Chélif Ghrib (01-14) ; Oued Chélif Harbil (01-15) ; Oued Deurdeur (01-16) ; Oued Chélif Harraza (01-17). Ils sont drainés par l'Oued Chélif qui les traverse sur une longueur d'environ 170 km (ABH, 2004). Elle s'étend sur 4779,11 km<sup>2</sup>. Le tableau suivant résume les principaux paramètres géométriques (superficie et périmètre):

Tableau 3 : Paramètres géométriques des sous bassins et de la plaine de la région.

Code de sous-bassin	Nom de sous-bassin	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Périmètre (Km)
01-13	Oued Chélif Djellil	1012,66	171,43
01-14	Oued Chélif Ghrib	1378,63	175,70
01-15	Oued Chélif Harbil	780,17	165,31
01-16	Oued Deurdeur	850,95	179,30
01-17	Oued Chélif Harraza	756,70	142,43
		<b>4779,11</b>	<b>834,17</b>
	la plaine du Haut Chélif (la plaine d'Elkhemis)	359,40	156,10

Source. ANRH Khemis Miliana

## II.4. Habitat

La population dans le bassin du Haut et du Moyen Chélif selon le dernier recensement de (RGPH, 2008). Elle comptait 1 094 167 habitants en 2008 avec un taux d'accroissement de 1,3 % (DLEP). Dont 82,55% sont concentrés agglomérée et 17,45% uniquement en zone rurale. Cette population est concentrée surtout dans les agglomérations qui sont situées au Nord de la plaine, les plus importantes sont respectivement d'Est en Ouest : Djendel, Ain Sultan, Khemis Miliana, Sidi Lakhdar et les Arib, tandis qu'au Sud de la plaine la densité des agglomérations est minime et moins dense, les plus importantes agglomérations sont Djelida et Bir Oueld Khalifa. L'activité essentielle de la population dans la zone est celle de l'agriculture irriguée dont les maraichères et l'arboriculture fruitière ainsi que les céréales, ces derniers bénéficient des infrastructures hydrauliques existantes telles que les barrages de Deurdeur, Ghrib, Harreza.

## II.5. Contexte climatique.

Le climat est un facteur déterminant les différents paramètres qui conditionnent l'écoulement superficiel et souterrain. Les plaines du Cheliff malgré leur relative proximité de la mer (50Km environ), se caractérisent par un climat semi-aride. Généralement, on assiste à un été long, chaud et sec, à des hivers pluvieux et froids et des automnes et des printemps très courts. Cette classification du climat se base sur les données météorologiques de stations régionales de l'ANRH.

### II.5.1. Pluviométrie

Les données pluviométriques des sous bassins ont été recueillies auprès de l'Agence National des Ressources hydriques (A.N.R.H) de Blida et de Khemis Miliana. Il s'agit d'observations journalières reportées sur des tableaux de cumuls mensuels. A partir de ces données mensuelles, nous avons reconstitué les valeurs de pluies annuelles.

#### a) Le réseau pluviométrique

Le réseau des mesures climatiques comporte 16 postes pluviométriques dispersés sur l'ensemble de la zone d'étude gérés par l'A.N.R.H

**Tableau 4 :** Caractéristiques des stations pluviométriques, d'après ANRH (Période : 1970-2016).

Station	Code	X (km)	Y (km)	altitude (m)	P (mm)	Période d'observation
Ksar El Boukhari Gr	011301	503800	287900	630	308,12	1970-2015
Derrag	011302	472150	289850	1150	463,24	1970-2005
Zoubiria Mongorno	011404	513500	312600	932	550,27	1970-2013
Ghrib BGE	011405	487250	318400	460	429,87	1970-2012
Gherib Chélif	011407	495450	308800	435	459,60	1976-2013
Medea Secteur	011509	504850	329800	935	632,72	1976-2015
Ain soltane PEP	011512	465500	325950	285	458,32	1970-2005
Bourdj El Amir Aek	011603	461100	285300	1080	4 24,66	1970-2005
Kherba OD Hellal	011604	482250	293300	1240	328,12	1970-2005
Theneit El Had	011605	439800	285650	1150	519,41	1976-2011
Sidi Mokrifi	011606	463200	304250	425	375,30	1976-2005
Deurdeur BGE	011609	458800	300050	575	417,02	2000-2012
Sidi Lakhdar	011711	452000	329650	250	384,90	1976-2006
El Ababsa	011715	443950	318050	320	364,90	1972-2015
El Khemis Anrh	011717	456200	329000	300	422,18	1975-2016
Barrage De Harraza	011718	445350	321400	312	373,10	1976-2016

Source: ANRH Khemis Miliana in Madene , 2021

Le régime des précipitations est largement influencé par l'emplacement des stations et leurs altitudes (figure 5).

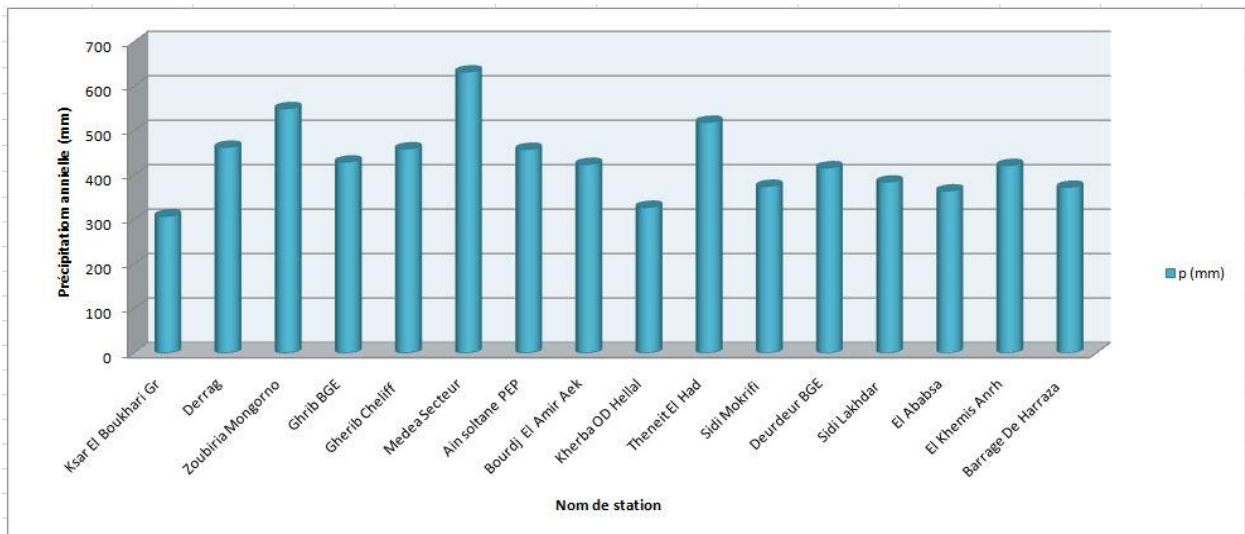


Figure 5 : Précipitations moyennes annuelles des stations de la région.

La figure 6 de la carte des isohyètes, établie à partir des séries chronologiques de longue durée couvrant la période 1976-2012 fait bien ressortir les traits essentiels de la répartition des précipitations dans la région d'étude. La distribution des pluies est très marquée spatialement, au nord de la zone d'étude, les précipitations interannuelles sont très importantes sur les versants sud des monts du Dahra et du Zaccar, avec une moyenne interannuelle de plus de 600 mm (stations Médéa Secteur 011509). Elles diminuent graduellement vers le centre de plaine du Haut Cheliff où elles varient entre 300 et 400 mm. Ceci dénote d'un régime interannuel très irrégulier.

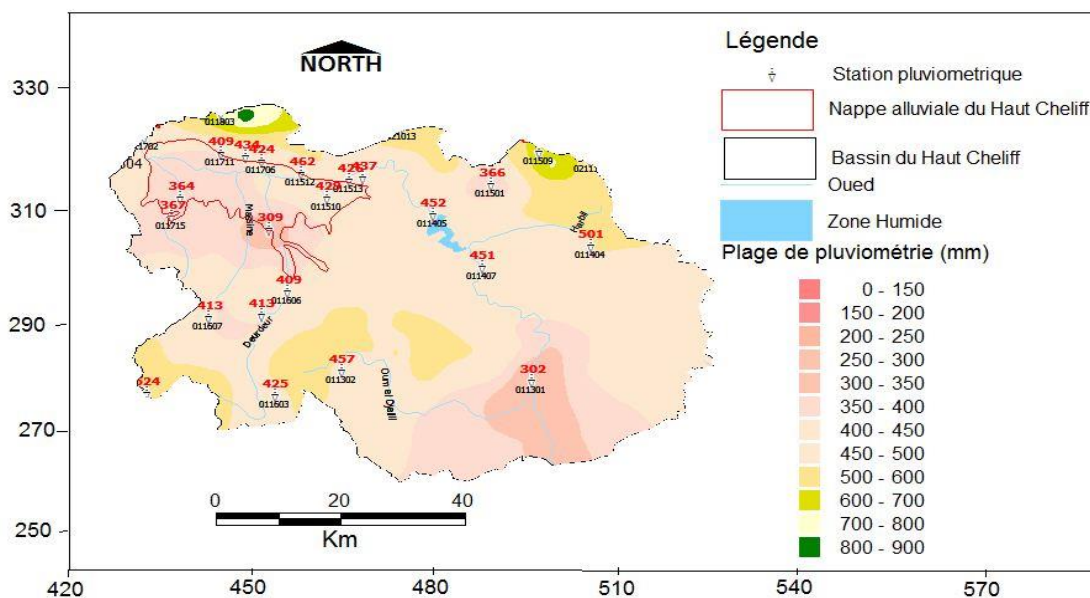
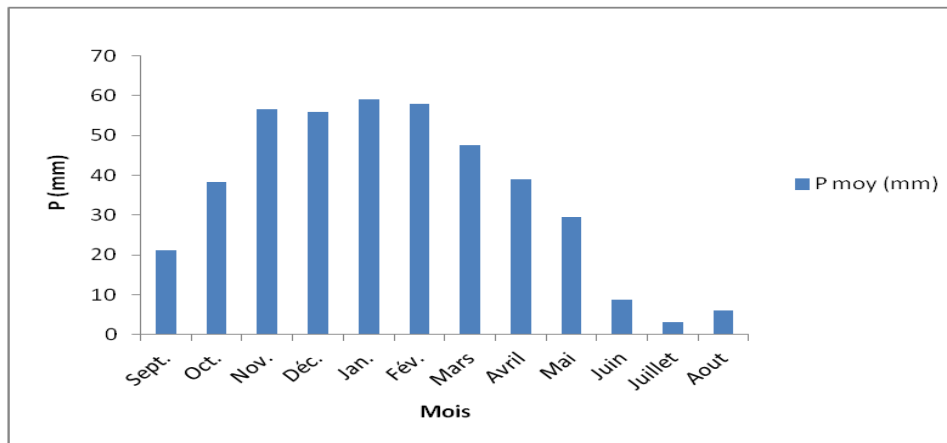


Figure 6 : Pluviométrie moyenne interannuelle (période 1976/2012)

**b) Les précipitations moyennes mensuelles**

La figure 7 porte les valeurs moyennes mensuelles (en mm) de la pluviométrie enregistrée dans la plaine de Khemis Miliana (station El Khemis ANRH 011717) durant la période allant de 1975 à 2016.





**Figure 7 :** Variation moyenne mensuelle des précipitations de la plaine du Haut Cheliff (1975-2016) (station El Khemis ANRH)

L'analyse des précipitations moyennes mensuelles de la plaine de Khemis Miliana (Figure 7) montre que le mois de décembre, janvier et février sont les plus pluvieux (55,98 mm ; 59,10 mm et 58,02 mm). La période estivale s'étalant entre juin et août, est la moins pluvieuse dans l'année. La faible pluviosité est enregistrée durant le mois de juillet.

### II.5.2. Température

#### a) Les températures moyennes mensuelles

Les données sur les températures moyennes mensuelles présentées dans le tableau suivant sont celles des stations gérées par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH).

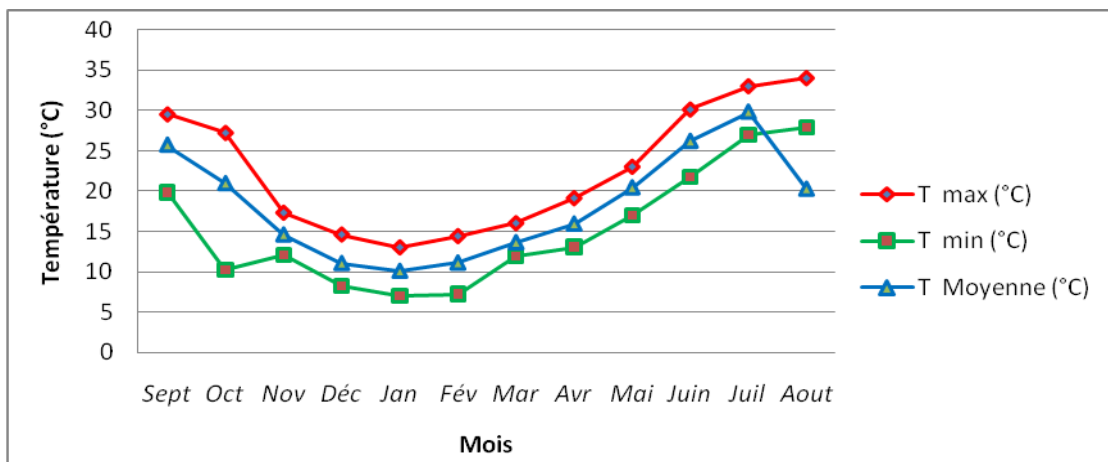
Nous avons traité seulement les températures moyennes mensuelles pour la station de Khemis Miliana ANRH.

Les températures moyennes mensuelles calculées à partir des mesures portant sur la période de 28 ans d'observation (1987-2014) sont représentées dans le tableau 5

**Tableau 5 :** Températures moyennes mensuelles et annuelles (Période : 1987-2016).

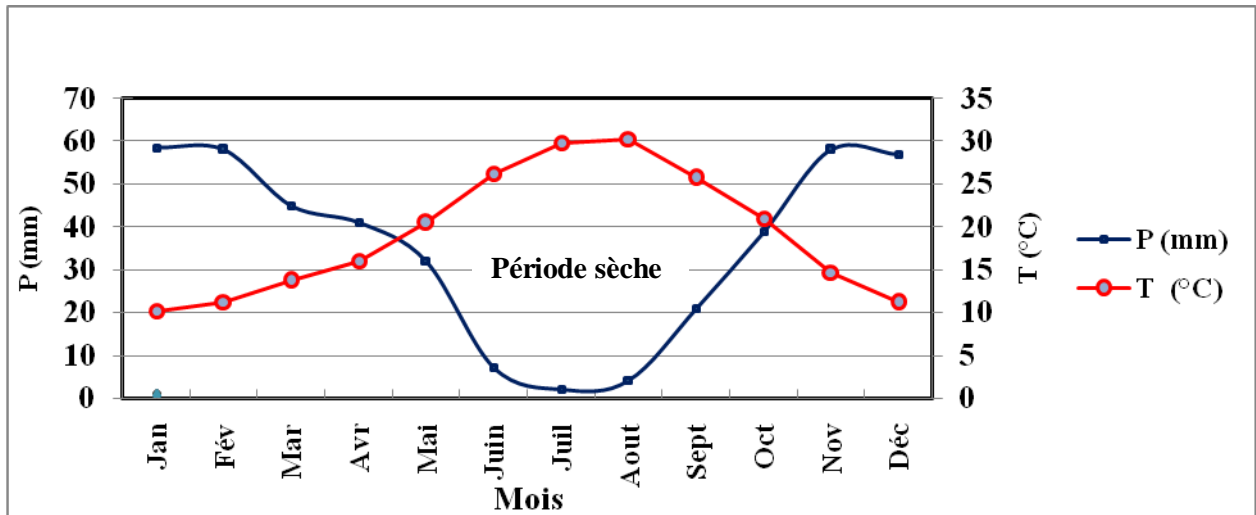
		Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Moy. Ann
Khemis Miliana	T max (°C)	29,5	27,20	17,3	14,6	13	14,4	16	19,1	23,00	30,1	33	34	<b>22,68</b>
	T min (°C)	19,90	10,30	12,1	8,32	7,10	7,3	12	13,1	17	21,8	27	27,9	<b>15,31</b>
	T Moyenne (°C)	25,73	20,99	14,66	11,13	10,17	11,20	13,70	16,00	20,47	26,20	29,80	30,30	<b>19,20</b>

Source: ANRH Khemis Miliana in Madene , 2021



**Figure 8 :** Variation mensuelle des températures de la plaine du Haut Cheliff (1987-2016) (station El Khemis ANRH).

La représentation graphique (figure 8) nous indique que la zone d'étude a un climat doux et humide en hiver et chaud et sec en été. De telles caractéristiques correspondent à un climat de type méditerranéen. Les températures moyennes mensuelles les plus élevées sont observées pendant la période estivale (de Juin à Septembre) avec des valeurs moyennes variant entre 25,73 à 30,30°C). Par contre, les plus basses (de 10,17 à 13,70°C), sont observées pendant la saison hivernale (Décembre à Mars) avec un minimum pendant le mois de Janvier (10,17°C).

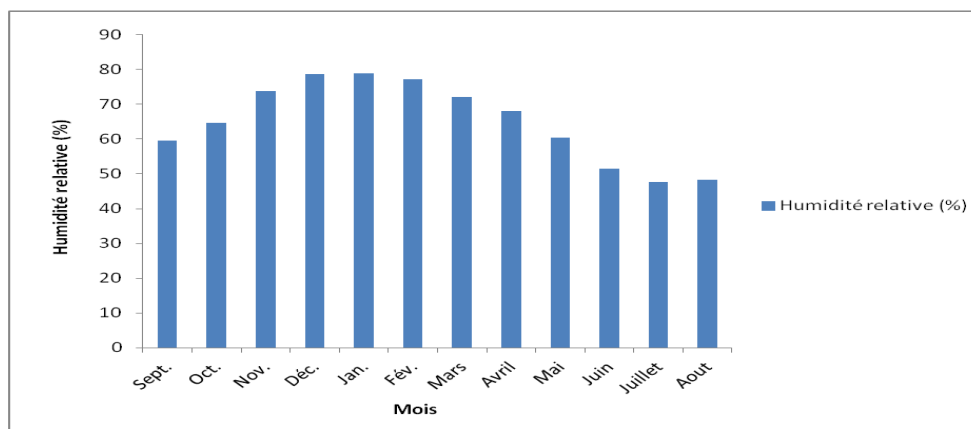


**Figure 9 :** Diagramme Ombrothermique de la plaine du Haut Cheliff (1987-2016) (station de Khemis Miliana ANRH)

Le diagramme Ombrothermique de la plaine du Haut Cheliff (1987-2016) montre que la période de sécheresse est très longue, elle s'étale sur environ 6 mois, allant du début Mai à Octobre.

### II.5.3. L'humidité

Dans la plaine de Khemis Miliana, la plus grande valeur d'humidité relative de l'air est atteinte pendant la période hivernale, avec 78,85% au mois de Janvier, et la plus basse, pendant la période estivale avec 47,72% au mois de Juillet. La figure 21 regroupe les données disponibles sur l'humidité relative de l'atmosphère enregistrées dans la plaine de Khemis Miliana.



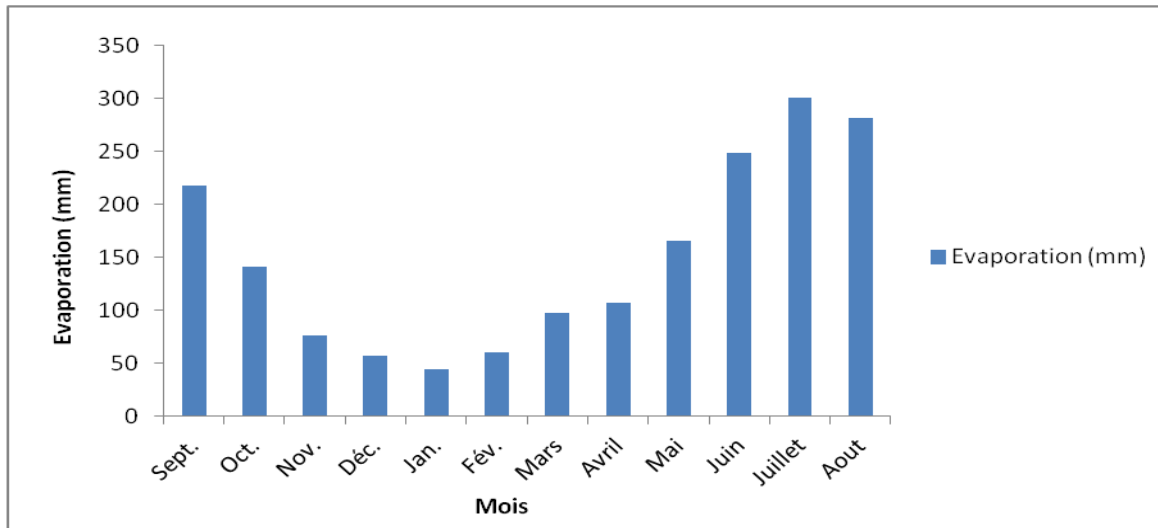
**Figure 10 :** Variation de l'humidité moyenne mensuelle de la plaine du Haut Cheliff (1987-2016) (station El Khemis ANRH)



### II.5.4. Evaporation

L'évaporation est un phénomène physique qui permet une appréciation des conditions climatiques d'une région, elle résulte de la superposition des échanges entre l'eau et le pouvoir absorbant de l'atmosphère. Elle peut aussi comme étant le passage de l'état liquide à l'état gazeux.

Les valeurs de l'évaporation du plan d'eau libre sont adoptées d'après les données observées au barrage Harraza. Elles sont données par la figure ci-dessous.



**Figure 11 :** Variation de l'évaporation moyenne mensuelle au barrage Harraza (1987-2016) (station **Barrage Harraza**)

Les observations de l'évaporation moyenne mensuelle de la période 1987-2016 montrent une valeur maximale au mois de juillet (300,93 mm) et une valeur minimale au mois de janvier (44,44 mm).

### II.5.5. L'indice climatique

Dans cette étude, nous nous tenterons de calculer l'indice de " L. EMBERGER" et l'indice d'aridité annuel de De Martonne.

#### II.5.5.1. Indice de " L. EMBERGER"

L'Indice d'Emberger (Q2) est un indice spécifique au climat méditerranéen, elle calcule par la formule suivante :

$$Q_2 = [2000P / M^2 - m^2] \dots\dots\dots (2)$$

P : précipitation moyenne annuelle (mm).

M : Moyenne des températures maximales quotidiennes du mois le plus chaud (en kelvin).

m : Moyenne des températures minimales quotidiennes du mois le plus froid (en kelvin).

L'application numérique donne les résultats suivants dans le tableau 06.

**Tableau 6 :** Indice d'Embergerdu Bassin du Haut Chélif.

Station	P (mm)	M (°C)	m (°C)	Q <sub>2</sub>
Khemis Miliana Anrh	422,18	295,83	288,36	193,49

Le rapport de notre station sur la figure 12 permet de dire que le climat du bassin du Haut Chélif est de type semi-aride.

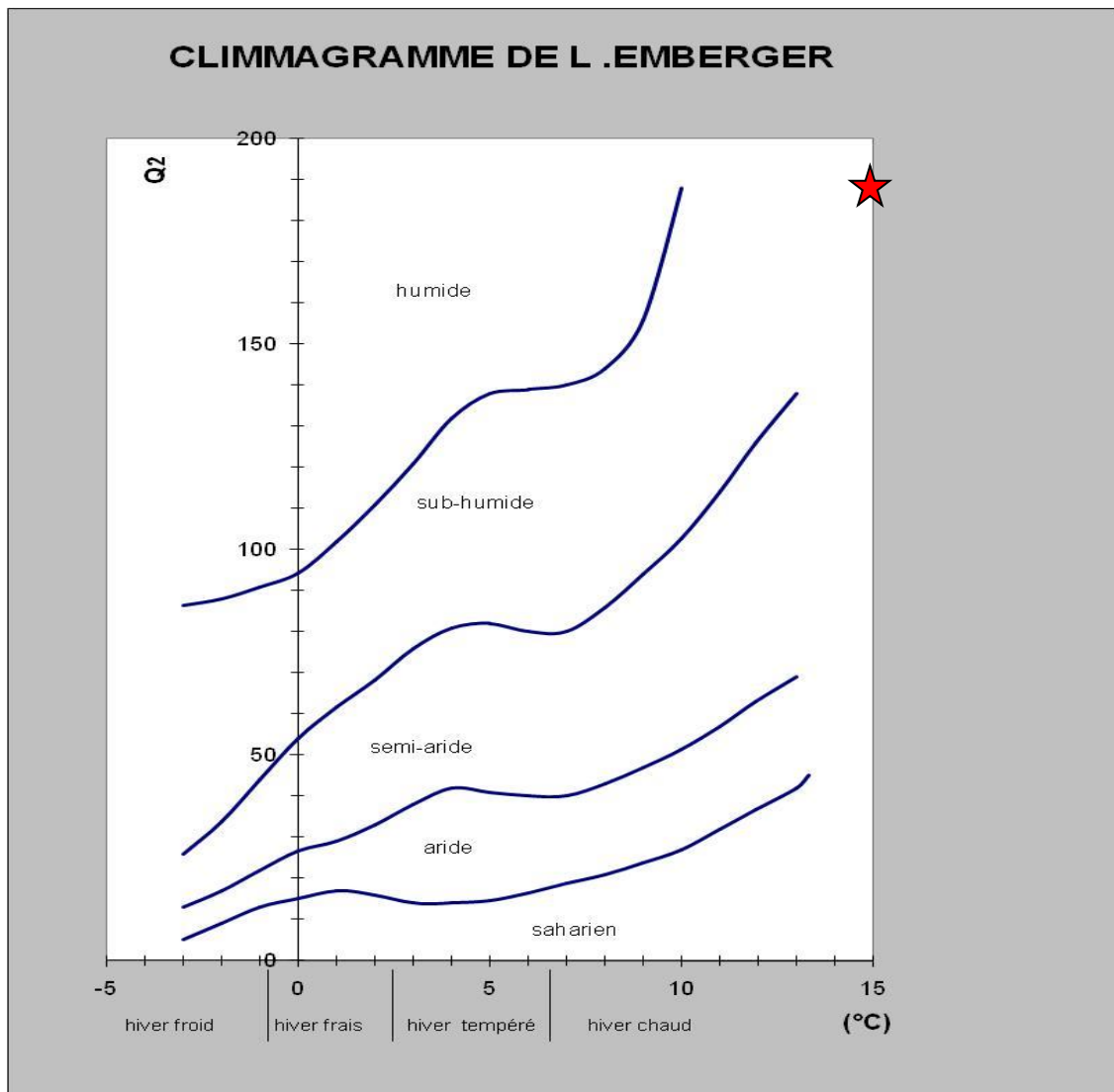


Figure 12 : Climagramme d'Emberger de la station de Khemis Miliana ANRH

### II.5.5.2. Indice d'aridité annuel de " DE MARTONNE "

L'indice De Martonne est calculé par la relation suivante :

$$I = \frac{P}{T+10} \dots\dots\dots (3)$$

Où

I : indice d'aridité

P : précipitations moyennes annuelles en mm.

T : températures moyennes annuelles en °C

Suivant les valeurs de (I), **De Martonne** a établi la classification suivante :

- I < 5 : climat hyperaride, écoulement temporaire.
- 5 < I < 7,5 : climat désertique, écoulement temporaire.
- 7,5 < I < 10 : climat steppique, écoulement temporaire.
- 10 < I < 20 : climat semi-aride, écoulement temporaire.
- 20 < I < 30 : climat semi-humide (tempéré), drainage extérieure.
- 30 < I < 55 : climat humide.

Les résultats sont reportés dans le tableau 7.

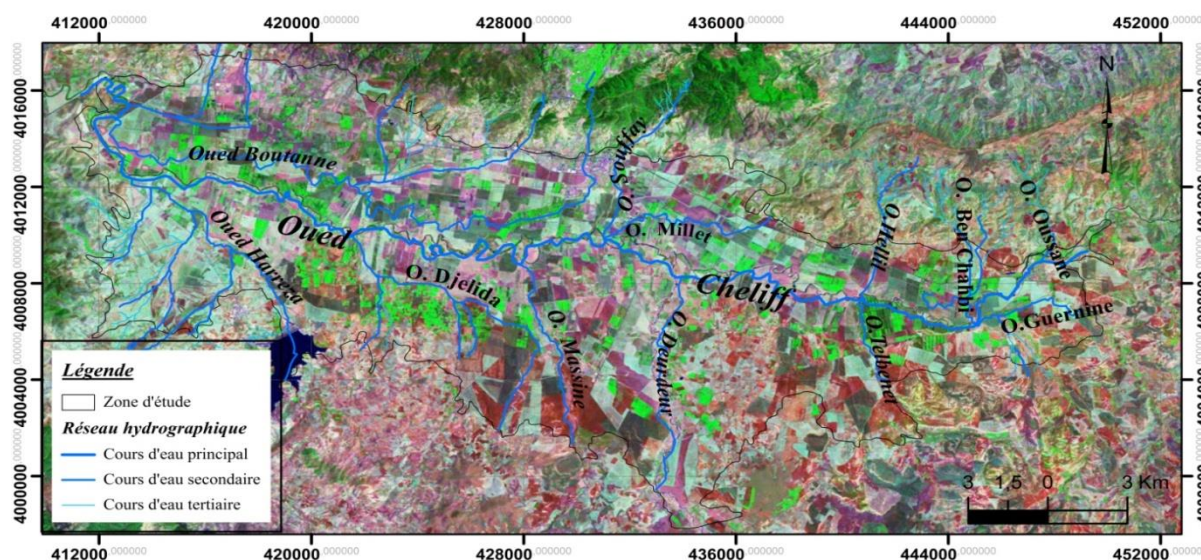
**Tableau 7** : Indice d'aridité annuel dans la région étudiée d'après " DE MARTONNE".

Station	P (mm)	T (°C)	I	Observation
Khemis Miliana	422,18	19,20	14,45	Climat semi-aride

L'indice de **DE-MARTONE** pour la station de Khemis Miliana est situé entre 10 et 20 donc par conséquent le climat de la zone d'étude est désormais du type **semi-aride**.

## II.6. Réseau hydrographique

Le bassin du Haut Cheliff est traversé par un seul cours d'eau principal, qui est l'oued Cheliff ; c'est le seul qui possède le cours le plus long et le débit le plus élevé. Il est considéré comme un collecteur des eaux de ruissellement qui affluent sur ce bassin (**Bouderbala et al, 2017**). La plaine du Haut Cheliff est traversée d'Est en Ouest par Oued Cheliff et ses principaux affluents qui sont Oued Souffay, Millet et Boutane au Nord, Deurdeur, Massine et Djelida, Harreza au Sud (Figure 13).



**Figure 13** : Carte de réseau hydrographique sur image satellitaire (**Meziani et al, 2013**).

Les deux caractéristiques telles que la longueur et la direction du réseau hydrographique sont représentées dans le tableau ci-après :

**Tableau 8** : Réseau hydrographique de la plaine Alluviale de Khemis Miliana (**Meziani et al, 2013**).

Cours d'eau	Longueur en (m)	Direction d'écoulement
Cheliff	59275,67	E-W
Souffay	4305,85	NNE-SSO
Millet et Boutane	30897	E-W
Deurdeur	5171	SSO-NNE
Massine	6424	SSE-NNO
Harreza	10273	SE-NO
Djelida	5665	ESE-ONO

## II.7. Végétation

La végétation est un facteur déterminant de la rapidité du ruissellement superficiel, du taux d'évaporation et de la capacité de rétention du bassin.



La présence de végétation va jouer le rôle de « régulateur » dans la région d'écoulement. Le bassin du Haut Chélif possède de grandes potentialités agricoles. Le bassin du Haut Chélif comprend un grand périmètre d'irrigation, appelé le périmètre du Haut Chélif ou le périmètre de la plaine d'Elkhemis (superficie équipée 20300 ha, créé en 1941). Dans le bassin du Haut Cheliff la végétation est constituée principalement par des cultures céréalières, maraichères et l'arboriculture (figure 14 et 15). Ces dernières années, le secteur de l'agriculture et de l'élevage a connu un épanouissement important suite au lancement des programmes de PNDA en 2000 et celui du FNRDA en 2001. Ces programmes ont provoqué l'extension des terres irriguées et multipliées cycles culturaux

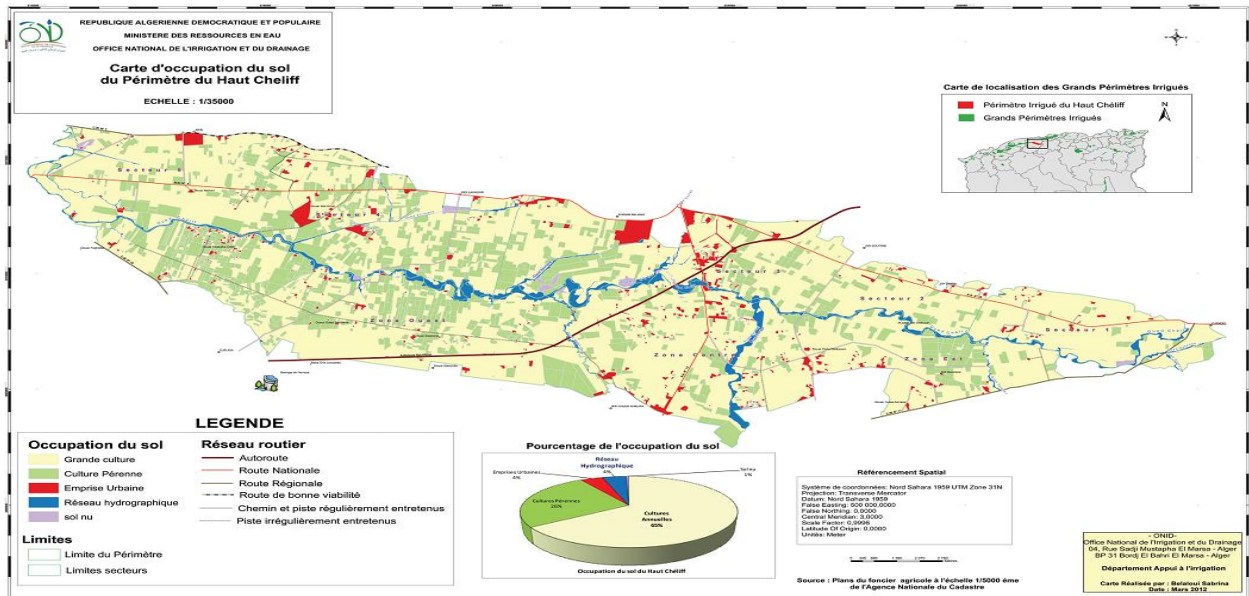


Figure 14 : Carte d'occupation du sol du Haut Cheliff (ONID, 2012)



Figure 15 : Surface agricole dans la vallée du Haut Cheliff (photo de sortie le 20/02/2023)

À partir de la carte de plan d'occupation du sol de la plaine du Haut Cheliff 2012, Les cultures annuelles représentent 65% de la superficie totale, tandis que les cultures pérennes représentent 26%, et il existe seulement 1% de sol nu, le reste est occupé par les emprises urbaines et le réseau hydrographique.

## **II.8.Eaux souterraines**

Les ressources en eaux souterraines des plaines du Haut Chéiff ont été évaluées dans le cadre du Plan National de l'Eau (1971). Cette évaluation est basée sur les études hydrogéologiques menées par l'ANRH et la méthode pluie/infiltration. Les potentialités en ressources en eaux souterraines dans le bassin du Haut Chéiff sont estimées à 16 hm<sup>3</sup>/an. Les ressources en eaux souterraines dans le bassin du Haut et du Moyen Chéiff sont exploitées à travers des forages, des puits et des sources pour assurer les besoins des trois usages : AEP, industrie et irrigation.

## **II.9. Contexte pédologique**

La nature du sol a un impact majeur sur le processus de la contamination de l'aquifère par les polluants provenant de la surface. Elle peut diminuer, retarder ou accélérer le processus de propagation de polluant vers l'aquifère. Plus le sol est riche en argile ou limon, plus l'absorption des polluants est importante, et plus la protection des eaux souterraines est grande.

D'après la carte pédologique de la plaine du Haut Cheliff (**Boulaine, 1957 ; Djeda, 1987**) 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 (**Nefidsa, 2013**). 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. La carte des sols de la plaine du Haut Cheliff (**Boulaine, 1957**) indique que la majorité des sols constituent la région sont des sols limoneux argileux. Les sols sableux sont principalement représentés le long d'Oued Cheliff. Alors que les sols argileux à très argileux sont rencontrés dans la partie Nord entre Khemis Miliana et les Aribes et qui conservent une certaine protection, les sols limoneux sont plus présents aux bordures extrêmes Nord et extrême Sud et dans la zone sud-ouest près de la ville Djelida.

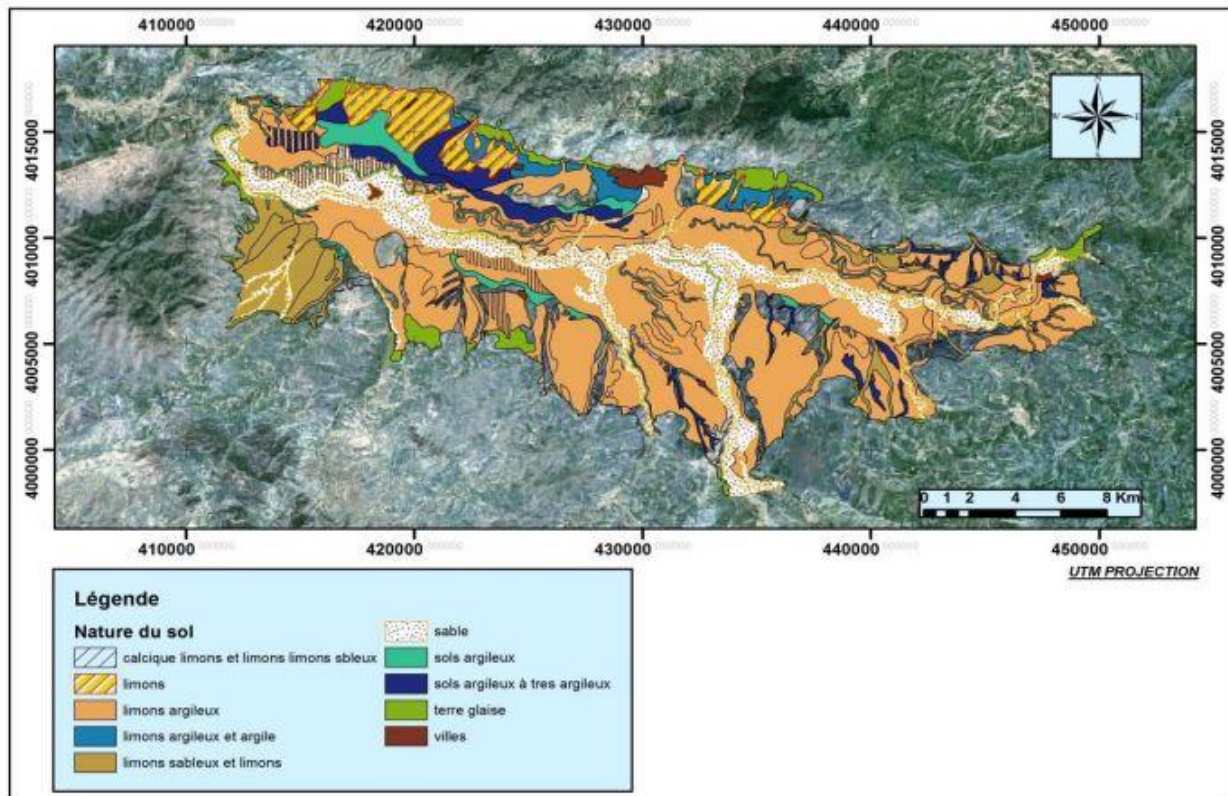


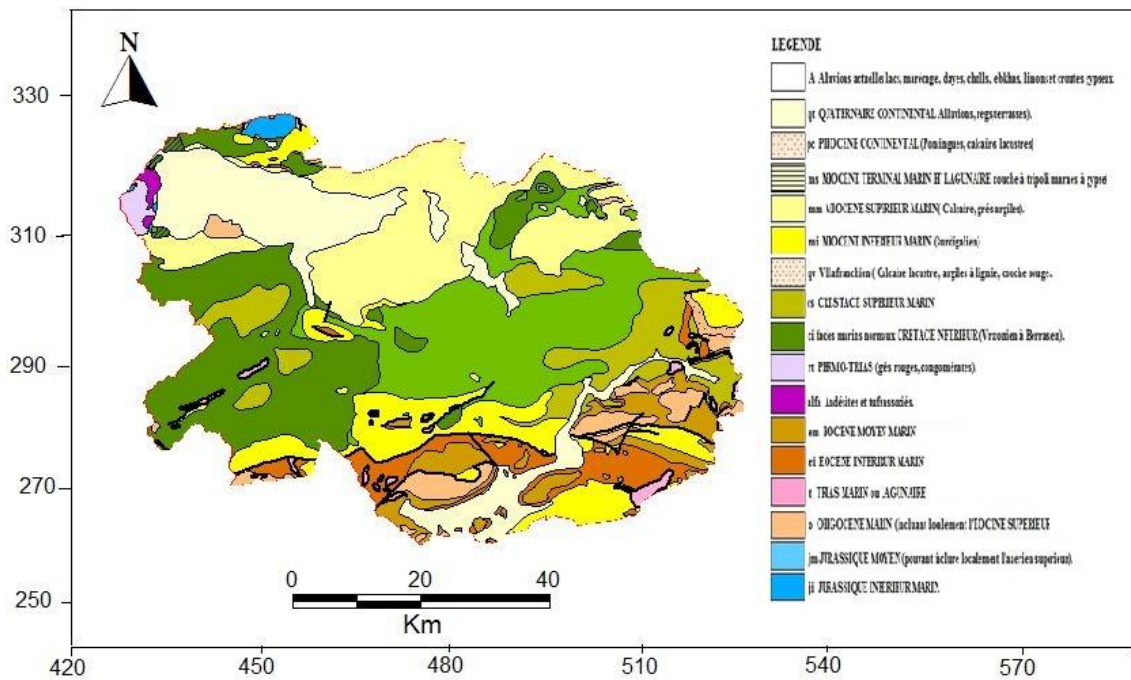
Figure 16. Carte pédologique du Haut Cheliff (Boulaine, 1957 modifiée par Benahacene, 2016)

## II.10. Géologie

La plaine du Haut Cheliff correspond à une vaste zone déprimée subsidente d'orientation Est-Ouest où des sédiments Miocène, Pliocène et Quaternaire se sont accumulés. Il est situé dans le domaine du Tell septentrional et correspond à un sillon intra-montagneux subsident, localisé entre le massif de Boumaâd, le Djebel Gontas, les massifs Zaccar et des Aribis au Nord et les premiers contreforts de l'Ouarsenis au Sud d'après **Perodon 1957 et Mattaouer 1958** (figure 17). Elle est traversée d'Est en Ouest par l'Oued Chélif qui entre dans la plaine du Haut Chélif par le seuil de Djendel et on en sort par le seuil du Doui (**Djeda, 1987**). Ce seuil hydraulique correspond à de remontée du substratum argilo-marno donc imperméable dans la traversée desquelles tout écoulement souterrain est pratiquement exclu (figure 18). Du point de vue lithostratigraphique, la dépression du Haut Chélif est constituée dans son ensemble par des terrains d'âge Mio-Plio-quaternaire (**Achour et al, 1998**). Les terrains Quaternaires sont essentiellement représentés par des dépôts alluvionnaires de l'oued Chélif (**Bettahar, 2012**).

Pour la caractérisation géologique et hydrogéologique, nous avons utilisé les travaux majeurs de Boulaine (1956), Perodon (1957), Mattaouer (1958), Kireche (1977), Maghraoui et al (1986), Mania (1990) ainsi que les différentes cartes géologiques disponibles selon la position géographique des sous bassins.





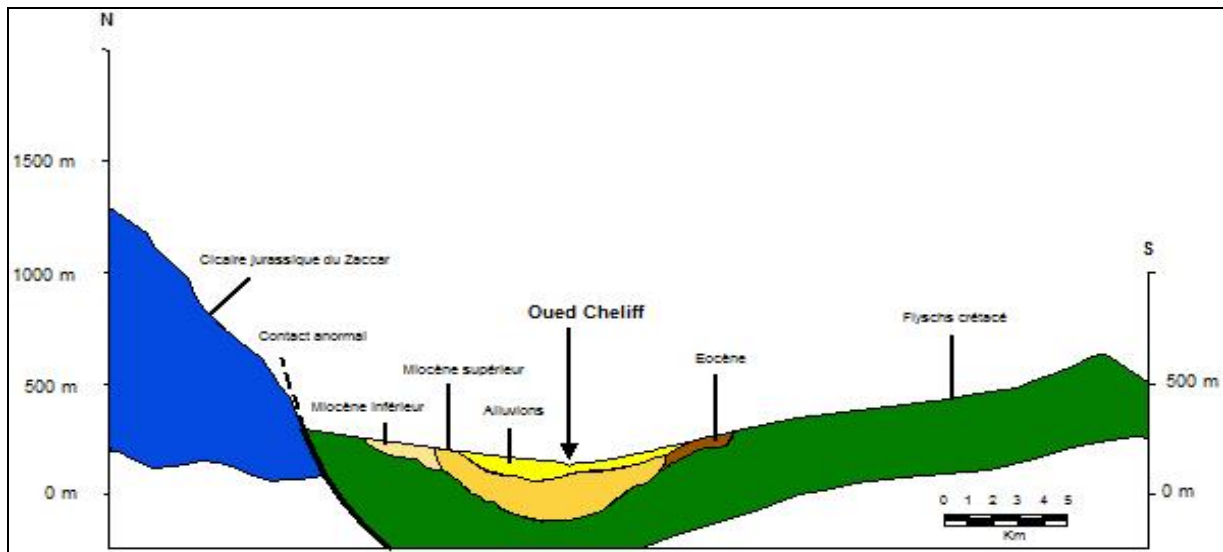
**Figure 17 :** Carte géologique du Haut Chélib (ex : carte géologique de nord d'Algérie) (Source ABH, 2009)

L'examen de l'échelle stratigraphique et l'analyse structurale du bassin permettent de préciser la superposition des formations géologiques comme suit :

- Le Primaire : est constitué d'une alternance des schistes noirs graphiteux et des bancs de quartzites et d'argiles.
- Le Trias : est généralement constitué par des dolomies et des calcaires dolomitiques, il affleure dans le massif de Doui et de Zaccar. (Mattaeur, 1958)
- Le Jurassique : il est constitué dans le massif du Zaccar par des calcaires massifs, compacts, fracturés et karstiques, surmontés par des schistes gréseux et des marno-calcaires. L'ensemble de la série atteint une épaisseur de 700 m environ. Dans le Djebel Doui, le Jurassique est représenté essentiellement par des niveaux de calcaires dolomitiques d'épaisseur avoisinant 80 m. (Mattaeur, 1958)
- Le Crétacé : affleure sur les bordures latérales de la plaine, il est représenté de la base au sommet par des argiles schisteuses du Néocomien, d'une épaisseur de 800 m environ au Nord et à l'Ouest du Zaccar. Des faciès flyschs de l'Albien qui se développent dans le massif de Dahra et des marnes avec des intercalations des bancs de calcaire d'âge sénonien.
- Le Miocène : peut atteindre 300 m d'épaisseur, il est constitué du Miocène inférieur qui discordé sur le substratum anté-néogène et représente le *Burdigalien* qui débute par une série conglomératique de base d'épaisseur environ 220 m, puis il se termine par une série marneuse Carténinne et du Miocène supérieur qui constitue le deuxième étage miocène que l'on peut, assimiler au *Vindobonien*, il se marque par une nouvelle et progressive transgression, qui succède en continuité de sédimentation au miocène inférieur. Il débute par une série de marnes bleues helvétiques, elles sont visibles principalement au Nord-Est de la plaine avec des intercalations d'argiles et petits lits sableux. (Perrodon, 1957)

Les grés et les poudingues qui terminent le cycle miocène sont des grés rouges assez grossier et intercalés de lits de poudingues apparaissent assez fréquemment dans le Gantas.

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



**Figure 18** : Coupe géologique interprétative transversale de la plaine du Haut Cheliff (Touhari, 2015).

■ Le Pliocène : on distingue :

- le Pliocène inférieur (*Pliocène marin*) 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 (figure 18). Les grés, avec une épaisseur d'une centaine de mètres, constituent une bande continue des versants Sud du Dahra.
- l'Astien : est représenté par une série marine finement sableuse ou gréseuse de couleur jaune fauve. Les grés sont souvent à ciment calcaire, localement passer à des calcaires gréseux.
- le Pliocène supérieur (*Villafranchien*) : est formé de conglomérats à éléments gréseux à grésocalcaires et des sables, non consolidés (Maghraoui et al, 1986).

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 grés. Parfois les conglomérats du Pliocène supérieur n'existent pas, et les formations rouges du Villafranchien se trouvent alors en contact avec des grés astiens ; d'ailleurs, au Sud du Cheliff sur la bordure de l'Ouarsenis, le pliocène disparaît complètement. A ce niveau, le Quaternaire recouvre directement les grés du miocène.

■ Le Quaternaire :

- Le Quaternaire ancien : est représenté essentiellement par des alluvions conglomératiques : graviers et sables (Maghraoui et al, 1986). Les alluvions du quaternaire ancien sont observées au pied du massif du Zaccar, et en particulier à l'Est de Sidi-Lakhdar ; elles forment les vastes collines en bordure sud de la plaine du Haut Cheliff.
- Le Quaternaire récent : est formé par de limons dont l'épaisseur varie de 50 à 200m, 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 (figure 18).
  - Des grés, visibles surtout sur les berges des oueds, forment des accumulations des niveaux très fins dont les épaisseurs peuvent atteindre les cinq mètres, ce sont d'anciens vases asséchés. Ces formations proviennent de l'érosion des reliefs avoisinants.



- Des alluvions actuelles formées par des limons, des sables, des galets et des cailloutis au fond des talwegs et dans les zones de confluences des oueds et des méandres abandonnées.

### II.11. Les formations aquifères

La plaine alluviale du Haut Cheliff est un remplissage alluvionnaire d'âge moi-plio quaternaire, représenté par des dépôts alluvionnaires du Quaternaire et des grés et poudingues du Mio-Pliocène d'une épaisseur de 50 à 100 m au niveau de l'oued Cheliff. Les marnes constituent le substratum de cet aquifère. L'alimentation de cette nappe est assurée par infiltration des :

- Précipitations tombant sur la plaine.
- Eaux de ruissellement des oueds (Cheliff, Deurdeur, Harreza, etc ...)
- Eaux d'irrigation excédentaires.

Le bassin du Haut Cheliff contient quatre aquifères principaux :

•**Aquifère alluvionnaire quaternaire** : Ce réservoir qui est le plus important, est composé de graviers, sables, galets et argiles. Il affleure au niveau des bordures de la plaine. Son épaisseur varie de 70 à 90m en bordure de la plaine. Elle augmente en allant vers le centre de la plaine jusqu'à atteindre 150 m du côté de Khemis Miliana, Sidi Lakhder, par contre du côté des Aribis et Bir Ouled Khelifa, elle ne dépasse pas les 50m (**Djoudar Hallal et al, 2012 ; Madene, 2021**). La nappe alluvionnaire constitue le plus important aquifère.

•**Aquifère gréseux moi-pliocène** : constitué des grés et poudingues, ce réservoir plonge sous les alluvions anciennes : réservoir moi-pliocène et quaternaire sont séparés par un banc d'argile de cinq mètres d'épaisseur vers l'ouest les deux formations sont en contact direct (**Djoudar Hallal et al, 2012 ; Madene, 2021**).

•**Aquifère gréseux du tortonien (miocène supérieur)** : Constitué également des grés et poudingues, il affleure principalement à l'est de la région d'Ain Soltane, formant le Djeble Gountas. Au nord, il apparaît sous forme de petits affleurements. Puissant de 139m. Le miocène supérieur se trouve sous les alluvions anciennes à une profondeur de 78m, le contact entre les deux formations existe (**Djoudar Hallal et al., 2012 ; Madene, 2021**).

•**Les calcaires jurassiques**. Est un système aquifère karstique à surface libre, Avec une épaisseur considérables (jusqu'à 400 mètres et plus), caractérisé par une fissuration distinctive très importante qui favorise la libre circulation de l'eau souterraine. Toutefois, la densité de répartition mal connue de ses fissures pose d'énormes problèmes pour l'implantation des puits. Au massif de Zaccar, les calcaires n'affleurent que dans les parties élevées, on les rencontre au-dessous de la côte 750m (**Dekkiche Et Mezaour, 2019**).

### II.12. Conclusion

Le bassin du Haut Cheliff possède un climat méditerranéen de type semi-aride, avec un hiver froid et pluvieux, et un été chaud et sec, influencé par des facteurs géographiques (éloignement de la mer, altitude et orientation des reliefs). La répartition des précipitations et des températures influe sur la chimie des eaux par dilution pendant la période pluvieuse, ou concentration lors de l'évaporation durant la période sèche.

La région du Haut Cheliff en général est à vocation agricole, ce couvert végétal est un paramètre naturel qui influence énormément sur l'évapotranspiration dans notre région. La nature et la répartition des sols favoriseraient les échanges de base.

# *Chapitre III*

---

*MATERIELS*

*ET*

*METHODES*

### III.1. Introduction

L'étude hydrochimique de la nappe du Haut Chélif a pour but de mieux comprendre l'évolution spatiale et temporelle des éléments physico-chimiques de l'eau (pH, CE,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{NO}_3^-$ ) sont intimement liées à la composition lithologique des couches traversées et du temps de séjour des eaux dans l'environnement souterrain. Les concentrations de ces éléments naturels sont conditionnées par divers facteurs tels que les paramètres climatiques, l'activité anthropique, les échanges avec et les eaux de surface, les interactions avec l'encaissant et les intercommunications entre les différents aquifères (**Gouadia, 2008**).

Cette partie consiste à l'étude de la qualité des eaux souterraines qui permet de préciser la répartition quantitative des divers éléments dissous, de suivre leur évolution spatio-temporelle et pour déterminer les différents échanges inter-aquifère.

### III.2. Matériels et méthodes

Dans cette étude, nous avons fait recours aux méthodes suivantes :

- L'étude de la relation entre les éléments chimiques.
- Représentation graphique de l'évolution temporelle des paramètres chimiques des points d'eau ;
- Cartographie des éléments physico-chimique : pH, CE,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{NO}_3^-$  en utilisant des outils informatiques : Surfer v. 9 et Mapinfo 7.5 ;
- Détermination des faciès chimiques de la nappe par les diagrammes de Piper et Stabler en utilisant le logiciel Diagramme v 6.1 ;
- l'étude de l'acquisition de la minéralisation par l'établissement des graphes binaires et de l'indice de saturation, en utilisant) le logiciel diagramme v 6.1 (la modélisation géochimique PHREEQC) ;
- Etude statistique des éléments physico-chimique par le logiciel SPSS v 16.0
- Enfin, l'aptitude des eaux de la nappe à l'alimentation eau potable et à l'irrigation par la comparaison des résultats avec les normes de l'OMS (2008) et la méthode de Richards

### III.3. Echantillonnage

L'étude se base principalement sur les informations de prélèvement à partir de 22 points d'eau (figure 19), répartis sur la plaine (19 puits, un forage et 02 piézomètres). Un total de quarante-trois (43) prélèvements a été effectué par l'ANRH sur les points d'eau captant la nappe alluviale du Haut Chélif pendant les périodes hautes et basses eaux pour les années 2017. Un réseau d'échantillonnage a été choisi pour permettre d'acquérir des données représentatives sur la variabilité spatio-temporelle de la qualité des eaux souterraines des nappes alluviales du Haut Chélif. Les prélèvements ont été effectués selon une fréquence saisonnière par ANRH de Khemis Miliana. Les échantillons des eaux destinés aux analyses en laboratoire ont été prélevés dans les puits et les piézomètres (figure 20) durant les périodes des hautes eaux (mois de Mai) et des basses eaux (mois d'Octobre) pour l'année 2017. Tous les échantillons d'eau ont été recueillis après le pompage des puits pour une durée minimale de 10 à 15 min. Ces échantillonnages ont été réalisés dans des flacons en polyéthylène de 250 ml pour les analyses physico-chimiques, et conservés dans une glacière à 4°C et analysés juste après la campagne de prélèvement dans le laboratoire de chimie des eaux de l'agence nationale des ressources hydrique (ANRH) de Soumaa (Blida).

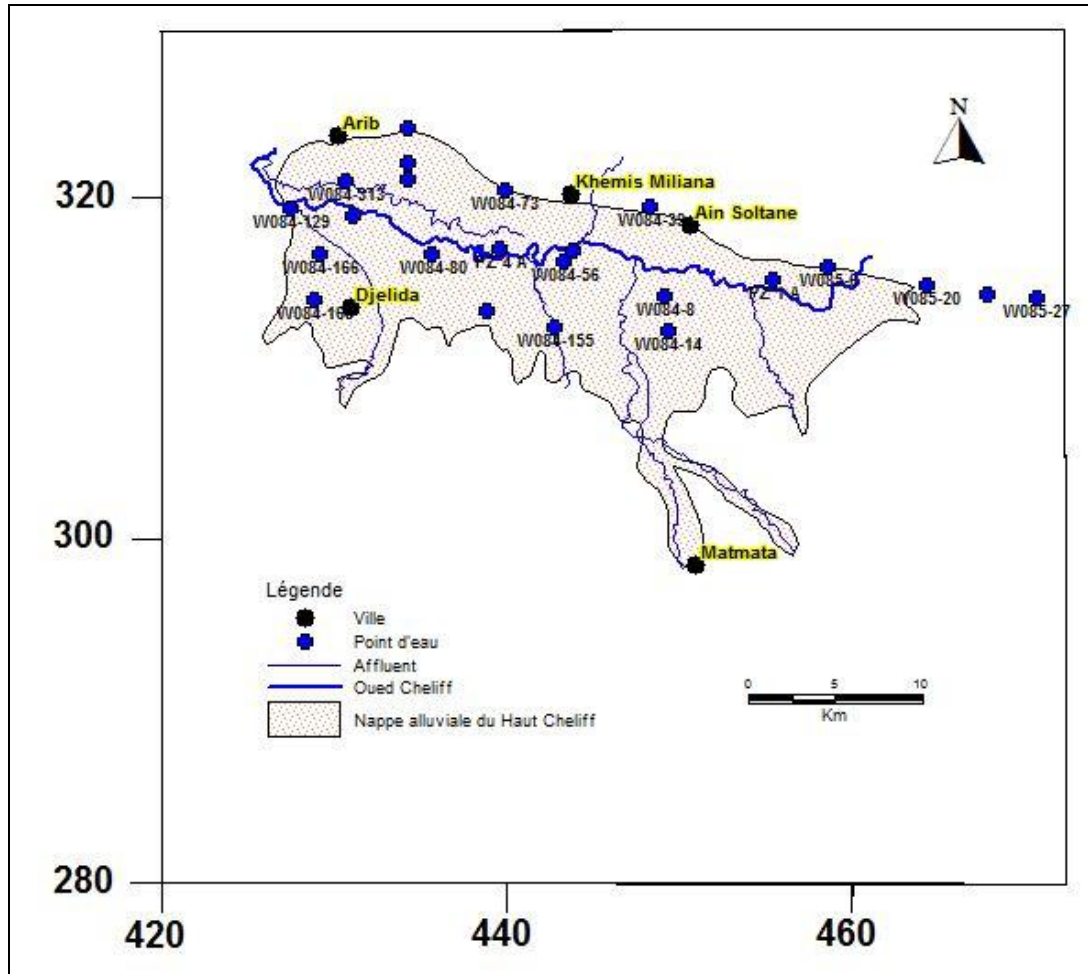


Figure 19 : Inventaire des points d’eau de la plaine du Haut Cheliff.

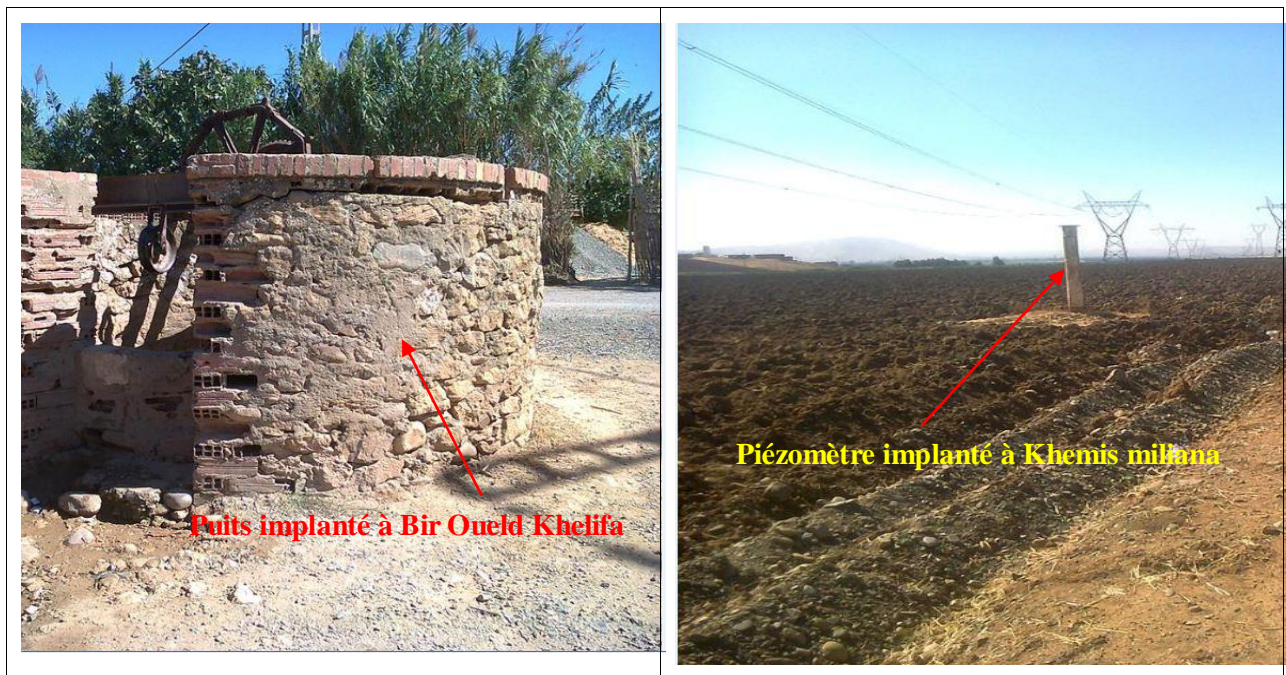


Figure 20 : Puits et Piézomètre dans la nappe du Haut Cheliff (photo sortie 20/02/2023).

### III.4.Méthodes d'analyses :

Les analyses ont porté sur les ions les plus courants et les plus abondants dans les eaux souterraines. Il s'agit de quatre cations ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) et quatre anions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ), ainsi que du Résidu sec, la température, conductivité électrique et le pH.

Il y a deux types de méthode d'analyse :

Méthode d'analyse in situ.

Méthode d'analyse au laboratoire

#### a) Analyse in situ :

Certains paramètres peuvent évoluer pendant le transport des échantillons au laboratoire, pour cela il faut effectuer l'analyse de ces paramètres sur le terrain (PH, température et la conductivité). Paramètres physiques (température, pH et conductivité électrique) des eaux souterraines du Haut Chélif ont été mesurés in situ (sur le terrain), à l'aide d'un pH-mètre et d'un conductimètre ou à l'aide d'un multi paramètre (Multi 340i/SET WTW).

#### b) Analyse au laboratoire :

Les échantillons d'eau souterraine ont été recueillis après le pompage des puits pour une durée minimale de 10 à 15 min dans des flacons en polyéthylène. Les échantillons ont ensuite été analysés dans le laboratoire de l'ANRH Blida. Les analyses ont porté sur les ions les plus courants et les plus abondants dans les eaux souterraines. Il s'agit de quatre cations ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) et quatre anions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ), ainsi que du Résidu sec. Immédiatement après le prélèvement dans les flacons. Les échantillons filtrés et acidifiés (1% v / v)  $\text{HNO}_3$  ont été analysés pour les cations ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) par un appareil multi-paramètres (spectrophotométrie d'absorption atomique). Les méthodes utilisées pour les analyses des anions sont les suivantes : Les chlorures ( $\text{Cl}^-$ ), en présence du thiocyanate mercurique et de l'alun Ferrique donnent en milieu nitrique acide un complexe coloré orange Susceptible d'un dosage colorimétrique à la longueur d'onde de 470 nm. Les sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) sont précipités sous forme de sulfate de baryum par le chlorure de baryum. Le précipité ainsi obtenu, très fin est stabilisé par la gélatine. On effectue sur le trouble une mesure turbidimétrique à la longueur d'onde de 495 nm, la méthode colorimétrique pour les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ). Ces méthodes sont conformes aux procédures approuvées par l'agence 'United States Environmental Protection Agency' ou (EPA, 1983). Les bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) ont été déterminés par la méthode potentiométrique (**Source ANRH Khemis Miliana**).

### III.5.Contrôle des résultats de l'analyse

Pour l'interprétation des résultats d'analyse, la procédure de contrôle a comporté la vérification de la balance ionique, donc, L'établissement de la balance ionique pour les résultats d'analyses chimiques d'une eau, permet de vérifier la fiabilité de cette dernière, les éléments utilisés dans ce contrôle sont les quartes anions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) et les quartes cations ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ). Cette balance s'écrit comme suit :

$$\text{BI} = (\Sigma\text{A} - \Sigma\text{C}) / (\Sigma\text{A} + \Sigma\text{C}) * 100 \text{ en } \% \text{ pour chaque échantillon d'eau.}$$

Avec :  $\Sigma\text{A}$  = la somme des anions en milliéquivalents par litre

$\Sigma\text{C}$  = la somme des cations en milliéquivalents par litre

Il existe toujours une certaine différence entre la somme des cations et celle des anions, or si l'erreur calculés est inférieure à  $\pm 5\%$  on peut considérer d'analyse comme acceptable.

(Domenico et Schwartz, 1990). Il en ressort que 43 points d'eau en deux périodes (hautes et basses eaux 2017), soit 100% des échantillons présentent un équilibre ionique durant les deux périodes.

### III.6. Méthodes d'évolution de la qualité des eaux souterraines

#### III.6.1. Application de système d'information géographique (SIG) ou Cartographie hydrochimique

Le SIG a émergé comme un outil puissant pour stocker, analyser et afficher des données spatiales et l'utilisation de ces données pour la prise de décisions dans plusieurs domaines, notamment, les domaines de l'ingénierie et de l'environnement (Lo et Yeung, 2003). Le module Spatial Analyst, une extension de MapInfo a été utilisée pour cartographier le comportement spatio-temporel de la qualité des eaux souterraines. Dans notre travail, Les paramètres qui sont analysés lors de l'analyse de l'eau, sont le pH, conductivité ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ),  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  et le résidu sec en mg/l. Nous optons la méthode d'interpolation (IDW), pour cartographier la répartition spatiale des paramètres de qualité des eaux souterraines de la nappe alluviale Haut Cheliff. Cette méthode d'interpolation est utilisée dans la présente étude pour délimiter la répartition de localisation de polluants de l'eau ou de leurs constituants. Les cartes de la répartition spatiale en éléments chimiques des eaux souterraines pour le pH, CE, Résidu sec, Cl,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{HCO}_3$ ,  $\text{NO}_3$ , Ca, Mg, Na et K sont représentées par des couches thématiques, sur la base des normes Algérienne pour l'eau potable l'eau, a fin d'en déterminer la variation spatiale et d'en tirer des conclusions.

#### III.6.2. Faciès chimiques

Des diagrammes particuliers ont été développés pour représenter les résultats d'analyses hydrochimiques et en tirer des renseignements particuliers. L'intérêt des représentations graphiques est approche rapide des résultats analytiques en vue de caractériser facilement une eau, de suivre son évolution ou de la comparer à d'autres eaux de compositions physico-chimiques voisines ou de proximité géographique. Ces diagrammes toutefois n'emploient pas tous les éléments analysés et sont parfois utilisés pour un objectif spécifique (reconnaître le faciès d'une eau souterraine) (Bettahar, 2012)

##### III.6.2.1. Diagramme de piper

Ce diagramme a la particularité de représenter plusieurs échantillons sur le même plan, qui permet une représentation des anions et des cations dans deux triangles spécifiques dont les côtés témoignent des teneurs relatives en chacun des ions majeurs par rapport au total de ces ions Les deux triangles permettent de représenter, respectivement, la proportion relative (%) des différents cations (faciès cationique) et anions (faciès anionique) dans l'eau analysée. Les résultats d'analyses en mg/L doivent tout d'abord être convertis en méq/l par la formule suivante :

$$[\text{ion}] \text{ méq/l} = \frac{[\text{ion}] \text{ mg/l}}{\text{masse molaire } A} \times \text{valence } N \dots\dots\dots(4)$$

La position relative d'un résultat analytique dans chacun de ces triangles permet en premier lieu de préciser la dominance anionique et cationique. À ces deux triangles est associé un losange supérieur dans lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés dans chaque triangle. La position du point d'intersection dans le losange représente l'analyse globale de l'échantillon et permet de préciser le faciès de l'eau (Piper, 1944).

### III.6.2.2. Méthode de Stabler

La classification des eaux par la méthode de Stabler consiste en premier lieu à faire le calcul du pourcentage (%) de chaque ion en quantité en réaction par rapport à la concentration totale. Ensuite, on classe séparément les anions et les cations par ordre décroissant pour déterminer les faciès chimiques et d'autre part la représentation graphique de ces éléments sur le logiciel diagramme (Simler 2009).

### III.6.3. Processus de minéralisation

#### III.6.3.1. Diagrammes binaires

Les eaux souterraines qui circulent dans la nappe alluviale, s'écoulent dans un matériel très hétérogène (des alluvions, des sables, des graviers, des dépôts évaporitiques...etc.). Le parcours d'écoulement et les couches traversées influent sur l'évolution chimique des eaux pendant leur trajet souterrain. La détermination de l'origine de chaque élément est nécessaire pour connaître les mécanismes du chimisme de l'eau. L'étude des corrélations établies par les graphes binaires entre les concentrations des principaux éléments majeurs ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ) a permis d'identifier les différents mécanismes et processus qui contribuent à la minéralisation des eaux échantillonnées (Aboubaker et al, 2013).

#### III.6.3.2. Indices Chloro-Alcalin (I.C.A) ou Indice d'Echange de Bases (I.E.B)

Au cours leur trajet souterrains, les eaux entrent en contact avec divers substances qui ont la propriété d'échanger ces ions contre ceux de l'eau. Les substances échangées peuvent être des minéraux argileux, l'hydroxyde ferrique et les substances organiques. La capacité d'échange de base varie avec la nature du minéral argileux.

D'après Shoeller, H (1977) appelle l'indice d'échange de base (I.E.B) ou l'indice Chloro-Alcalin (ICA), le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existants dans l'eau, il est obtenu à l'aide de la relation suivante :

$$\text{IEB} = (\text{rCl} - (\text{rNa} + \text{rK})) / \text{rCl} \dots\dots\dots(5)$$

Toutes les valeurs sont exprimées en méq/l. Cet indice définit le sens d'échanges ioniques entre l'eau et les terrains encaissants : si

- IEB > 0** → l'encaissant libère le Ca, Mg et fixe le Sodium et le Potassium ;
- IEB = 0** → il y a un équilibre entre les compositions chimiques de l'eau et l'encaissant ;
- IEB < 0** → l'encaissant libère les ions de Na, K et fixe les ions de Ca, Mg de l'eau.

#### III.6.3.3 Indices de saturations

L'indice de saturation calculé exprime le degré d'équilibre chimique entre l'eau et le minéral dans la matrice de l'aquifère et peut être considéré comme une mesure du processus de dissolution et/ou précipitation concernant l'interaction eau-roche. Il est calculé en utilisant le PHREEQC qui peut être utilisé via la version gratuite du logiciel Diagrammes (Simler, 2009). Les indices de saturation (IS) de minéraux sont calculés en utilisant les concentrations des principaux ions dans le système. L'indice de saturation d'un minéral est obtenu à partir de l'équation : -saturée par rapport au minéral en question. IS = 0, signifie l'eau est en équilibre avec le minéral, IS > 0 signifie une solution sursaturée par rapport à la matière minérale en question. Les indices de saturation des minéraux sont très utiles pour l'évaluation dans la mesure par laquelle la chimie de l'eau est contrôlée par l'équilibre des phases solides. L'indice de saturation (IS) a également été évalué pour interpréter l'hydrochimie des eaux souterraines, en utilisant le PHREEQC V.2 qui peut être utilisé via la version gratuite du logiciel Diagrammes (Simler,



**2009).** PHREEQC a été utilisé pour calculer les indices de saturation des minéraux de l'eau suivants : calcite (CaCO<sub>3</sub>), dolomite CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, anhydrite (CaSO<sub>4</sub>), gypse (CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O) et halite (NaCl) dans la période d'analyse.

Les indices de saturation (IS) de minéraux sont calculés en utilisant les concentrations des principaux ions dans le système. L'indice de saturation d'un minéral est obtenu à partir de l'équation suivante (**Yidana et al, 2008**).

$$IS = \log (PAI / K_T)$$

Où : PAI est produit de l'activité ionique de l'élément chimique dans la solution

Lorsque :

IS < 0, l'eau est sous-saturée par rapport au minéral en question.

IS = 0, signifie l'eau est en équilibre avec le minéral,

IS > 0 signifie une solution sursaturée par rapport à la matière minérale en question.

### III.6.4. Norme de potabilité des eaux de consommation

#### III.6.4.1. Les normes de potabilité

La qualité de l'eau peut être décrite de plusieurs façons. Le plus souvent sont des mesures quantitatives utilisées (paramètres physico-chimiques, biochimiques et tests biologique) ou une description quantitative-qualitative (par exemple, aspect visuel, l'odeur et le goût de l'eau).

Les eaux destinées à la consommation humaine doivent être dépourvues de tout agent polluant et d'impureté. L'organisation mondiale de la santé ou OMS (WHO pour World Organisation Health), a instauré quelques lignes directrices concernant la qualité requise pour que l'eau soit dite potable. Ces lignes directrices sont les références internationales qui garantissent une eau saine et donc potable (annexe 01).

#### III.6.4.2. Dureté totale

Elle représente la somme des concentrations en cation de calcium et de magnésium et s'exprime par le titre hydrométrique (TH). L'unité du titre hydrométrique est le milliéquivalent par litre (ou le degré français °F).  $TH = r [Ca^{2+}] + r [Mg^{2+}] \dots\dots\dots(6)$

### III.6.5. Aptitude des eaux souterraines à l'irrigation

Les eaux destinées à l'irrigation doivent répondre à certains critères de qualité pour minimiser les risques de salinisation des sols.

Une classification des eaux en fonction du pourcentage du sodium absorbé par l'eau (méthode de Richards) permet de bien classer les eaux en fonction de la conductivité électrique et le SAR (Sodium Adsorption Ratio) dans l'eau, qui est calculé par la formule élaborée par (**Gapon, 1933**) et (**Richard, 1954**) défini par la formule suivante :

$$S.A.R = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}} \dots\dots\dots(7)$$

Avec : Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, et Mg<sup>2+</sup> en méq/l.

Les résultats d'analyse physico-chimique de l'année 2017, obtenus par le laboratoire de l'agence nationale des ressources hydrauliques sont regroupés dans le tableau n°09



**Tableau 9** : Détails des paramètres chimiques des points d'eau en 2017

N°	CODE	Point d'eau	Nature	X (m)	Y (m)	Année	Mois	Ca++	Mg++	Na+	K	Cl-	SO4--	HCO3-	NO3-	CE	R.Sec	pH	Balance
								mg/l											
1	E007-9685	W085-27	PUITS	483 750	322 775	2 017	5	198	64	168	7	260	422	366	36,0	2 210	1 650	8,2	0,05%
2	E007-9686	W085-38	PUITS	480 900	322 900	2 017	5	219	10	55	3	357	2	275	59,0	1 542	934	8,1	4,50%
3	E007-9682	W085-20	PUITS	477 400	323 500	2 017	5	235	40	190	3	480	155	336	111,0	2 600	1 463	7,8	1,46%
4	E007-3725	W085-6	PUITS	471 700	324 575	2 017	5	276	57	174	3	473	177	366	87,0	2 680	1 598	7,8	3,44%
5	E00601877	PZ 1 A	PIEZOMETRE	468 600	323 800	2 017	5	305	94	134	4	543	481	244	5,0	3 030	1 825	7,6	0,79%
6	E006-1022	W084-14	PUITS	462 470	320 850	2 017	5	478	40	159	3	808	339	214	82,0	3 500	2 067	7,6	0,68%
7	E006-0281	W084-8	PUITS	462 300	322 800	2 017	5	404	49	186	3	673	398	259	84,0	3 330	2 644	7,7	0,61%
8	E006-1025	W084-39	PUITS	461 500	328 000	2 017	5	268	52	143	3	518	273	244	98,0	2 490	1 527	7,7	3,76%
9	E006-1055	W084-310	PUITS	456 300	322 100	2 017	5	177	163	71	3	555	202	381	48,0	2 644	1 566	8,0	2,67%
10	E006-0330	W084-155	PUITS	456 000	321 050	2 017	5	305	79	325	6	678	535	366	66,0	4 360	2 519	7,9	1,69%
11	E006-0189	W084-72	PUITS	454 400	328 400	2 017	5	330	5	215	5	555	318	153	13,0	2 730	1 591	7,6	2,75%
12	E006-1031	W084-73	PUITS	453 050	328 950	2 017	5	305	82	130	4	560	398	275	66,0	2 930	1 800	7,6	3,31%
13	E00601880	PZ 4 A	PIEZOMETRE	452 800	325 600	2 017	5	309	82	137	4	545	483	259	5,0	3 140	1 848	8,0	2,59%
14	E006-1029	W084-63	PUITS	452 070	321 950	2 017	5	454	104	204	3	920	434	305	42,0	4 070	2 453	7,6	0,56%
15	E006-1033	W084-80	PUITS	448 900	325 250	2 017	5	412	158	400	5	1 240	720	259	21,0	5 840	3 704	8,2	3,17%
16	E006-1037	W084-92	PUITS	447 450	330 600	2 017	5	210	47	130	4	307	246	275	87,0	1 977	1 264	7,8	1,16%
17	E006-1036	W084-91	PUITS	447 500	329 600	2 017	5	437	134	254	2	685	1 035	336	28,0	4 690	3 157	8,0	3,15%
18	E006-1051	W084-182	PUITS	444 300	327 550	2 017	5	268	96	167	3	475	456	458	17,0	2 950	1 953	7,7	3,32%
19	E006-1057	W084-313	FORAGE	443 850	329 500	2 017	6	208	12	123	3	175	188	458	34,0	1 633	1 007	8,2	0,24%

20	E006-0221	W084-166	PUITS	442 400	325 250	2 017	5	181	35	128	3	349	86	244	83,0	1 700	945	7,9	1,75%
21	E006-1049	W084-169	PUITS	442 050	322 650	2 017	5	379	57	242	3	670	350	259	48,0	3 670	2 146	7,7	4,68%
22	E006-0173	W084-129	PUITS	440 750	327 900	2 017	5	210	47	141	9	264	246	290	98,0	2 000	1 516	7,6	4,68%
23	E006-0173	W084-129	PUITS	440 750	327 900	2 017	10	231	74	142	10	372	341	210	71,0	2 310	1 400	7,2	4,12%
24	E006-0221	W084-166	PUITS	442 400	325 250	2 017	10	173	45	72	2	245	93	259	84,0	1 556	903	7,3	3,55%
25	E006-0281	W084-8	PUITS	462 300	322 800	2 017	10	412	74	198	3	665	423	214	98,0	3 420	2 100	7,1	4,10%
26	E006-0330	W084-155	PUITS	456 000	321 050	2 017	10	412	109	335	6	930	543	214	75,0	4 446	2 578	7,1	2,41%
27	E006-1022	W084-14	PUITS	462 470	320 850	2 017	10	235	45	322	3	595	297	168	66,0	3 380	2 321	7,2	4,86%
28	E006-1025	W084-39	PUITS	461 500	328 000	2 017	10	148	84	227	1	565	190	214	125,0	2 710	1 547	7,3	2,31%
29	E006-1029	W084-63	PUITS	452 070	321 950	2 017	10	239	84	440	4	963	515	229	39,0	4 110	2 500	7,2	5,11%
30	E006-1031	W084-73	PUITS	453 050	328 950	2 017	10	247	49	199	4	435	364	229	88,0	2 620	1 546	7,2	0,38%
31	E006-1033	W084-80	PUITS	448 900	325 250	2 017	10	268	111	202	4	495	461	244	66,0	3 050	1 806	7,2	4,73%
32	E006-1036	W084-91	PUITS	447 500	329 600	2 017	10	392	136	385	10	565	1 100	275	28,0	4 560	2 903	7,7	4,37%
33	E006-1037	W084-92	PUITS	447 450	330 600	2 017	10	157	30	180	3	312	243	247	81,0	1 890	1 197	7,5	2,74%
34	E006-1049	W084-169	PUITS	442 050	322 650	2 017	10	437	84	325	1	938	405	244	39,0	4 160	2 460	7,6	4,20%
35	E006-1051	W084-182	PUITS	444 300	327 550	2 017	10	375	101	100	2	630	475	308	26,0	3 280	2 016	7,4	2,48%
36	E006-1052	W084-185	PUITS	457 050	325 500	2 017	10	297	144	220	3	633	600	214	24,0	3 620	2 277	7,2	2,97%
37	E006-1053	W084-196	PUITS	447 500	332 600	2 017	10	163	45	11	1	87	197	302	22,0	1 205	741	7,5	1,86%
38	E006-1877	PZ 1 A	PIEZOMETRE	468 600	323 800	2 017	10	173	32	185	3	364	152	265	135,0	2 300	1 244	7,2	1,32%
39	E006-1880	PZ 4 A	PIEZOMETRE	452 800	325 600	2 017	10	136	92	125	6	543	172	168	6,0	2 450	1 327	7,0	4,29%
40	E007-3725	W085-6	PUITS	471 700	324 575	2 017	10	268	72	116	4	478	164	305	99,0	2 410	1 527	7,1	2,07%
41	E007-9682	W085-20	PUITS	477 400	323 500	2 017	10	132	45	154	4	223	268	207	18,0	1 602	1 039	7,8	4,62%

---

42	E007-9685	W085-27	PUITS	483 750	322 775	2 017	10	103	62	270	13	297	481	271	43,0	2 290	1 550	7,8	2,64%
43	E007-9686	W085-38	PUITS	480 900	322 900	2 017	10	66	32	86	3	108	72	198	77,0	920	739	7,7	3,87%

# *Chapitre IV*

---

RESULTATS

ET

DISCUSSIONS

## IV.1. Introduction

L'évolution dans le temps a permis de préciser les mécanismes essentiels de minéralisation et de modification de la composition des eaux dans le milieu poreux. L'évolution dans l'espace a permis d'identifier des zones à différents degrés de potabilité. En raison de l'utilisation multiple des eaux de la nappe étudiée (AEP, irrigation et industrie), et de son exposition aux différents paramètres de pollution, il serait important de définir une stratégie pour une bonne gestion qualitative de ces eaux.

## IV.2. Analyse statistique des données chimiques

### IV.2.1. Analyse statistique

Les paramètres statistiques (Min, Max, Moy, CV et écart-type), sont calculés et résumés dans le tableau 8 suivant, qui montre une grande variation des concentrations des éléments chimiques, les teneurs en calcium, le magnésium, le sodium, les chlorures, les sulfates, les bicarbonates et les nitrates en moyenne, sont supérieurs aux normes internationales (OMS 2008) (100, 50, 150, 250, 250, 250 et 50 mg/l respectivement). Le tableau 10 montre que les valeurs de l'écart type dans la plupart des cas sont inférieures à celles de la moyenne, ce qui indique que les valeurs des variables ne sont pas très dispersées. Elles mettent ainsi en exergue une certaine homogénéité hydrochimique des eaux échantillonnées dans les nappes de la zone d'étude.

Les coefficients de variation sont élevés pour les ions  $\text{NO}_3^-$  (cv=59%, 58%),  $\text{SO}_4^{2-}$  (cv=62%, 64%), ce qui indique une variabilité spatiale importante (hétérogénéité spatiale) de ces éléments d'où la nécessité d'une étude spatiale, afin de faire ressortir les différentes zones représentant les différentes qualités des eaux. Ce coefficient est plus faible pour le pH (cv=3%).

**Tableau 10** : Paramètres statistiques des variables physico-chimiques des eaux souterraines en 2017.

période	Période de hautes eaux 2017					Période de basses eaux 2017					
	Élément	max	min	moy	écart type	CV	max	min	moy	écart type	CV
	$\text{Ca}^{2+}$ (mg/l)	478	177	299	93	0,31	437	66	241	111	0,46
	$\text{Mg}^{2+}$ (mg/l)	163	5	68	44	0,64	144	33	74	33	0,45
	$\text{Na}^+$ (mg/l)	400	55	176	78	0,44	440	11	204	110	0,54
	$\text{K}^+$ (mg/l)	9	2	4	02	0,42	13	01	04	03	0,74
	$\text{Cl}^-$ (mg/l)	1240	175	549	239	0,44	963	87	497	250	0,50
	$\text{SO}_4^{2-}$ (mg/l)	1035	2	361	222	0,62	1100	72	360	230	0,64
	$\text{HCO}_3^-$ (mg/l)	458	153	301	75	0,25	308	168	237	41	0,17
	$\text{NO}_3^-$ (mg/l)	111	5	55	33	0,59	135	6	62	36	0,58
	CE ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	5840	1542	2987	1065	0,36	4560	920	2776	1049	0,38
	R. Sec (mg/l)	3704	934	1872	692	0,37	2903	739	1701	638	0,37
	pH	8,2	7,6	7,8	02	0,03	7,8	7,0	7,3	0,25	0,03

### IV.2.2. Matrice de corrélation

L'analyse de la matrice de corrélation de Pearson (Tableau 11 et 12) permet de dire que pratiquement toutes les variables (Ca, Mg, Na,  $\text{SO}_4$  et Cl) sont corrélées deux à deux avec un

coefficient de corrélation (R) montre en gras les valeurs significatives. Les nitrates et les bicarbonates ne présentent aucune corrélation avec les autres éléments et corrélation négative en deux périodes. Une corrélation significative a été observée entre les éléments chimiques Cl, Mg, Na, SO<sub>4</sub>, Ca et la Résidu sec, indiquant une minéralisation d'origine évaporitique (NaCl, CaSO<sub>4</sub> et MgSO<sub>4</sub>) de ces éléments dans l'eau, seulement ce n'est pas le cas pour les HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> qui présente une faible corrélation avec la Résidu sec. Ces relations ont été utilisées pour trouver une idée sur les liaisons existantes entre deux ou plusieurs éléments et les ions responsables de la salinité des eaux. On remarque que le R.sec est bien corrélation avec Ca (R= 0,78 et 0,80), au magnésium (R= 0,66 et 0,72), au sodium (R= 0,82 et 0,84), au sulfates (R= 0,55 et 0,80), au chlorures (R= 0,87), en hautes eaux et basses eaux respectivement.

**Tableau 11** : Matrice de corrélation entre les variables en hautes eaux 2017.

Variables	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Résidu Sec
Ca <sup>2+</sup>	1,000								
Mg <sup>2+</sup>	0,274	1,000							
Na <sup>+</sup>	<b>0,568</b>	0,367	1,000						
K <sup>+</sup>	-0,259	0,066	0,179	1,000					
Cl <sup>-</sup>	<b>0,577</b>	0,084	-0,003	-0,386	1,000				
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,375	0,386	<b>0,546</b>	0,357	-0,003	1,000			
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,360	0,237	-0,066	-0,069	-0,190	-0,099	1,000		
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,223	0,382	-0,193	0,023	-0,029	0,404	-0,072	1,000	
Résidu Sec	<b>0,779</b>	<b>0,661</b>	<b>0,820</b>	0,000	0,226	<b>0,555</b>	-0,072	-0,307	1,000

**Tableau 12** : Matrice de corrélation entre les variables en basses eaux 2017.

Variables	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Résidu Sec
Ca <sup>2+</sup>	1,000								
Mg <sup>2+</sup>	<b>0,620</b>	1,000							
Na <sup>+</sup>	0,440	0,413	1,000						
K <sup>+</sup>	-0,052	0,231	0,297	1,000					
Cl <sup>-</sup>	<b>0,741</b>	<b>0,606</b>	<b>0,738</b>	-0,059	1,000				
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	<b>0,633</b>	<b>0,746</b>	<b>0,606</b>	0,477	0,482	1,000			
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,174	0,024	-0,227	-0,012	-0,176	0,150	1,000		
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,089	-0,387	-0,066	-0,215	-0,084	-0,392	0,012	1,000	
Résidu Sec	<b>0,803</b>	<b>0,717</b>	<b>0,837</b>	0,184	<b>0,869</b>	<b>0,803</b>	-0,070	-0,191	1,000

Il existe une forte corrélation entre le chlorure d'une part et le calcium suggère que l'échange de cations peut également influencer considérablement sur la composition des eaux souterraines,

### IV.3. Répartition spatiale des paramètres Physico-chimiques

La répartition spatiale du Résidu sec durant les deux périodes d'étude est représentée dans la figure 21. On constate que les valeurs élevées sont observées dans la partie sud dont Oued Massine et Deurdeur se localisent près de la région Bir Ouled Khelifa et Djelida, toutes les eaux souterraines échantillonnées et analysées de cette région sont des eaux saumâtres. Les faibles valeurs sont situées dans la région du Nord-Ouest (Arib). Le Résidu sec varie de 934 à 3704 mg/l en hautes eaux 2017 et 739 à 2903 mg / l en basses eaux 2017. Ces teneurs sont nettement supérieures à celles admises pour la consommation humaine (1500 mg/l, OMS 2008). La salinité des eaux des apports par les conditions climatiques et lithologiques des terrains.

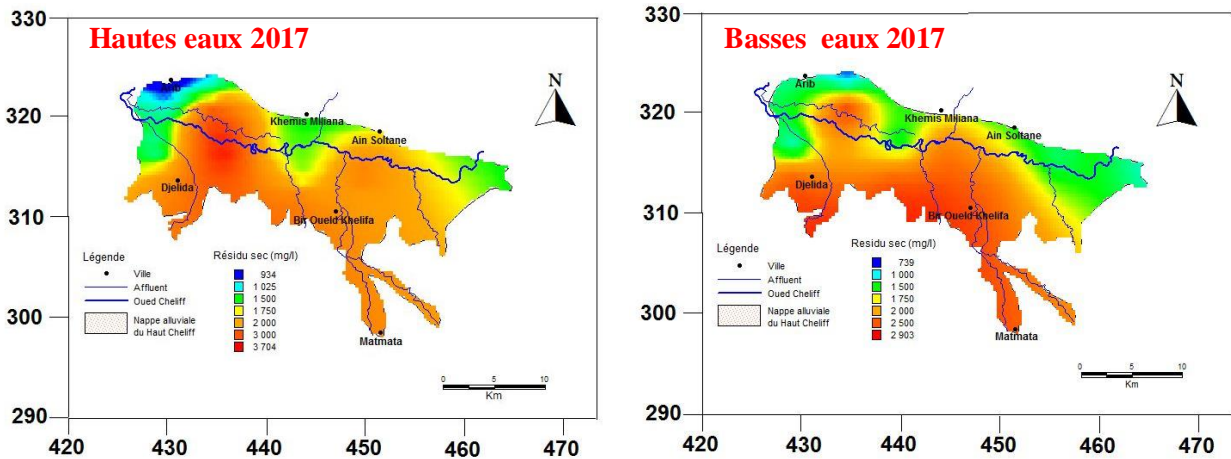


Figure 21 : Répartition spatiale du Résidu sec en mg/L des eaux souterraines dans la plaine Alluviale de Khemis Miliana.

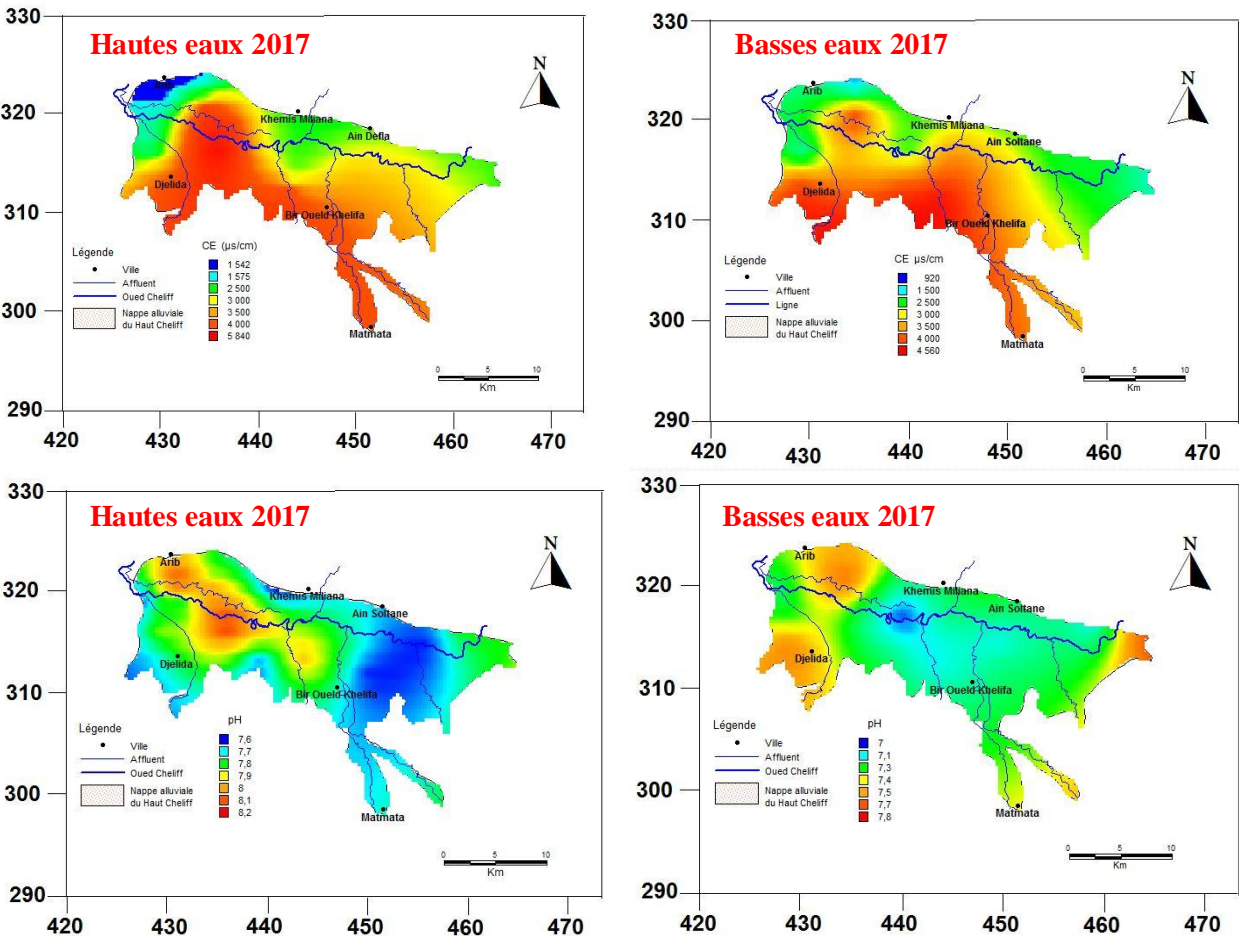


Figure 22 : Répartition spatiale du Potentiel hydrogène (pH) et la conductivité électrique (CE) des eaux souterraines dans la plaine Alluviale de Khemis Miliana.

Les cartes de répartition spatiale de la conductivité électrique (CE) (figure 22) indiquent les mêmes caractères que ceux présents dans la carte des Résidu secs.

Le pH mesuré donne des valeurs comprises entre 7 et 8,2. Ces valeurs sont incluses dans les normes internationales acceptables, traduisant un caractère proche de la neutralité de l'eau souterraines captée. On conclut que Résidu sec et la conductivité électrique présentent relativement la même répartition spatiale dans les deux périodes.

Les figures 23 et 24 montrent que les éléments  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$  présentent relativement la même répartition spatiale. Les plus fortes concentrations de ces éléments sont observées au sud de la plaine, sur la rive gauche de l'oued Cheliff, près des villes de Bir Ouled Khelifa et Djelida près du secteur localisé entre Oued Massine et Deurdeur, cette élévation est expliquée par la présence des carapaces calcaire qui par interaction avec eau de pluie vont entraîner des échanges de base.

Nous constatons que les teneurs en  $\text{Cl}^-$  sont en grande quantité dans les eaux souterraines de la nappe étudiée, leurs teneurs peuvent nous renseigner sur le degré de dégradation en matière de pollution, les chlorures peuvent provenir selon l'endroit d'une contamination par les eaux usées domestiques et industrielles. En effet, le déversement d'eaux usées domestiques des agglomérations qui se situent dans la plaine (17 points de rejets) et qui est estimé à 15 000  $\text{m}^3/\text{j}$  environ, sans qu'elles soient ne traitées pas préalablement.

La localisation de fortes concentrations peut être liée en quelque sorte à ces déversements.

Dans la partie centrale, des teneurs des sulfates qui dépassent les normes Algériennes (250 mg/l), Ils résultent de l'utilisation des engrais chimiques et Les rejets d'eaux usées et industrielles contenant de l'acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), qui présente les valeurs les plus élevés (avec quelque plage supérieure à 450 mg/l)

Second élément intervenant dans la dureté totale des eaux, le magnésium est plus considérable après le calcium par rapport le sodium et le potassium. En effet, la majorité des points d'eau de la plaine alluviale du bassin du Haut Cheliff présentent des teneurs inférieures à la norme admissible de 50 mg/l selon les normes algériennes (figure 23). Les fortes teneurs en magnésium peuvent être observées dans la partie centrale où les calcaires dolomitiques qui libèrent le magnésium par dissolution, en présence du gaz carbonique.

Le potassium présente en très faibles quantités dans les eaux, ne présentent pas d'inconvénient majeur dans la région d'étude.

L'analyse de la carte de la répartition des bicarbonates dans les eaux souterraines de la plaine étudiée est montrée que les teneurs en bicarbonates sont en majorité inférieures à celle exigées par l'OMS (250 mg/l) en période basses eaux 2017. Les valeurs maximales sont rencontrées au niveau d'Arib au Nord-Ouest (piémont du massif de Doui) (figure 21), cette élévation est expliquée par la dissolution des minéraux carbonatés (des calcaires des Arib). Quelques puits possèdent des concentrations remarquables durant la période de hautes eaux, bien qu'ils se situent au centre de la plaine, ceci est probablement dû à l'influence des calcaires travertins d'âge Quaternaire. Notons que les fortes concentrations sont enregistrées pendant la période de hautes eaux par rapport à celles de la période de basses eaux. Ce qui est dû à la dissolution des calcaires en bicarbonates par les eaux.



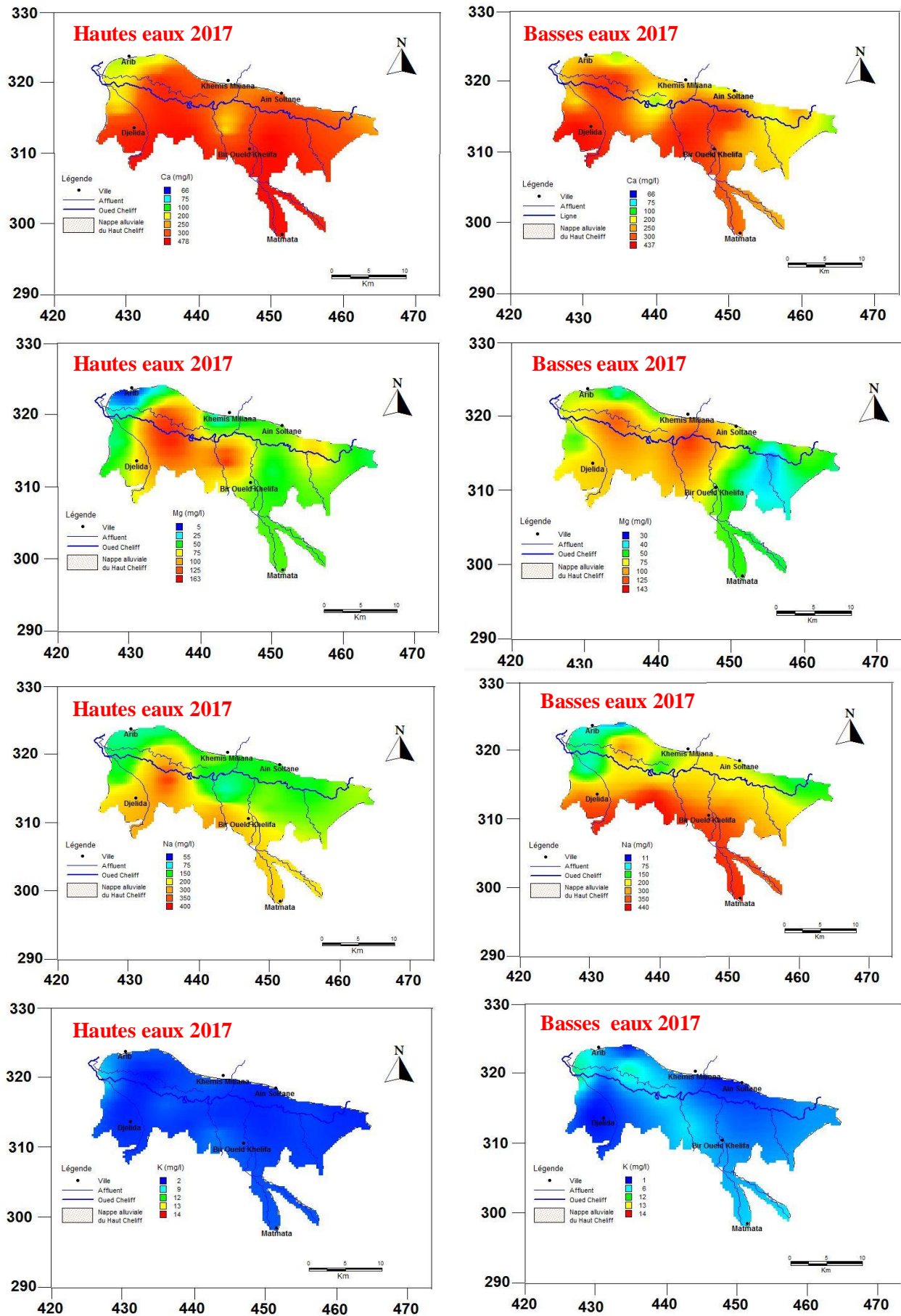


Figure 23. Répartition spatiale des cations des eaux souterraines dans la plaine Alluviale de Khemis Miliana.

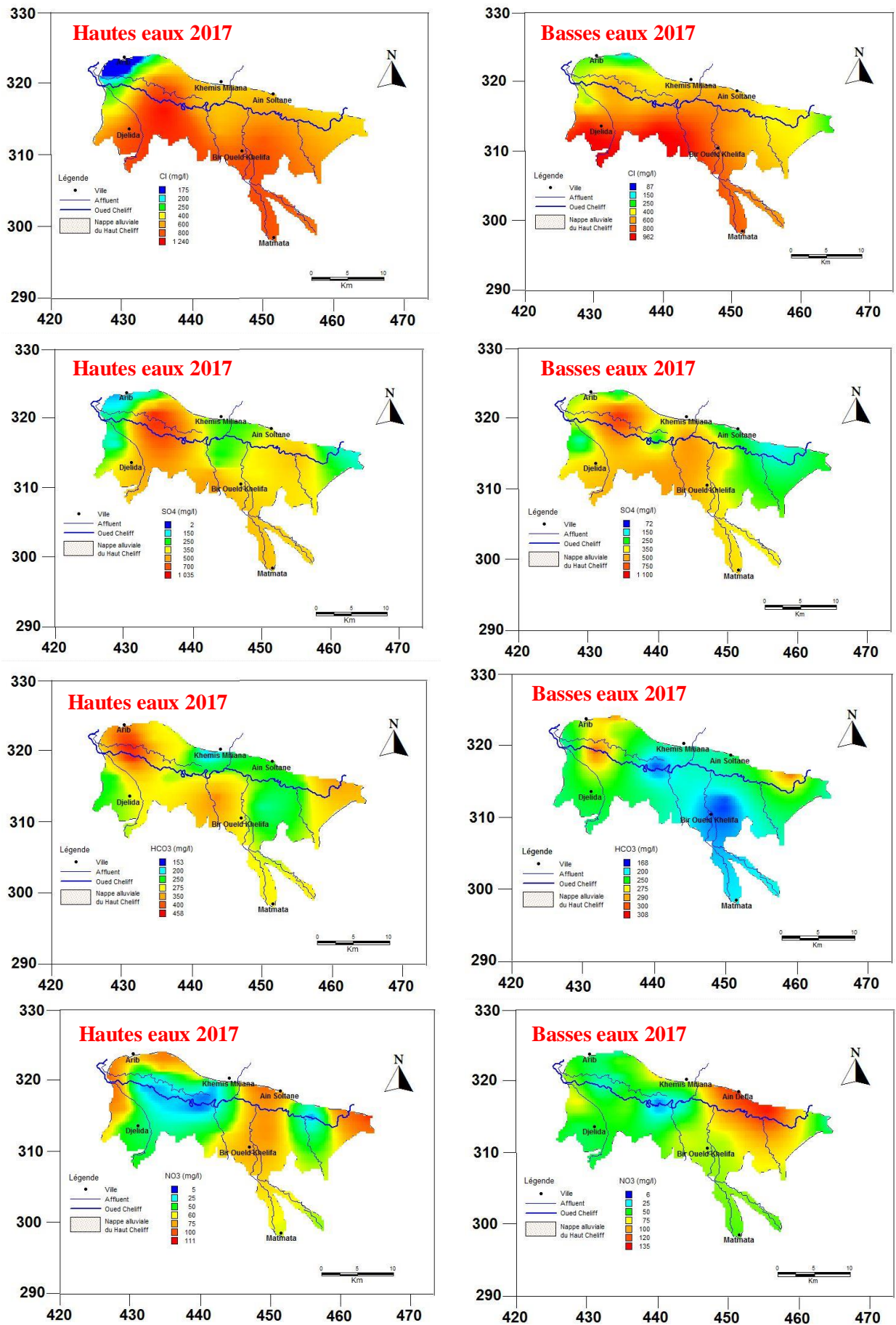


Figure 24. Répartition spatiale des anions des eaux souterraines dans la plaine Alluviale de Khemis Miliana.

Les cartes de l'évolution des concentrations en nitrate (figures 24) montrent que seulement 50 % des points présentent des valeurs supérieures à la norme algérienne fixée (50 mg/l), nous rencontrons des concentrations qui peuvent atteindre jusqu'au 135 mg/l, ce qui atteste de leur origine anthropique liée principalement à l'utilisation des engrais azotés, vu que la zone d'étude est principalement à vocation agricole. L'élevage, les eaux usées et les décharges peuvent constituer une autre origine des nitrates dans la zone d'étude. Les plus fortes concentrations se trouvent à l'Est, près de Djendel et Ain Soltane, au Sud près de Bir Ouled Khelifa, ainsi que le Sud de la commune d'Arib.

On conclut que les éléments  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$  présentent relativement la même répartition spatiale. La répartition spatiale du Résidu sec est tout à fait similaire à celle du chlorure, sulfate, sodium et calcium. Cela confirme l'hypothèse que ces derniers sont les principaux éléments responsables de la salinité des eaux souterraines,

#### **IV.4. Détermination des principaux faciès hydrochimiques**

Dans le but de mieux identifier les faciès hydrochimiques et d'avoir une indication sur l'aspect qualitatif des eaux souterraines, la représentation graphique des résultats d'analyses s'avère un outil précieux pour atteindre cet objectif. On a eu recours aux diagrammes de Piper et de Stabler, ces graphes sont les représentations les plus couramment utilisées pour la représentation des concentrations en ions majeurs.

La réalisation de ces diagrammes a été faite en utilisant le logiciel diagramme, conçu par Roland Simler (**laboratoire d'hydrogéologie université d'Avignon, 2004**)

##### **IV.4.1. Classification des eaux selon le diagramme de PIPER**

L'interprétation des résultats d'analyses hydrochimiques pour les deux périodes d'observation a permis d'avoir une idée sur les faciès chimiques des eaux souterraines de la nappe alluviale du Haut Cheliff et leur évolution dans le temps, ainsi que sur les conditions naturelles à l'origine de ces faciès.

Le diagramme de Piper pour les deux périodes hautes et basses eaux (figures 25) a permis de représenter sur un même graphique des nombreuses analyses autorisant des regroupements des faciès chimiques. La projection des résultats des analyses chimiques sur ce diagramme montre que les eaux de la nappe alluviale du Haut Cheliff se caractérisent par l'abondance des ions chlorures et nitrates, alors que l'ion calcium est le cation qui marque la majorité des échantillons et est suivi par le cation sodium.

Le diagramme global confirme la présence du faciès chloruré-calcique ou sulfaté-calcique avec une apparition du faciès chloruré-sodique,

Cependant, cette représentation à l'inconvénient d'associer les chlorures avec les nitrates. Cela peut conduire à des interprétations erronées (**Touhari, 2015**). Pour cela, les classifications de Stabler sont révélées utiles en tant que méthodes complémentaires du diagramme de Piper.



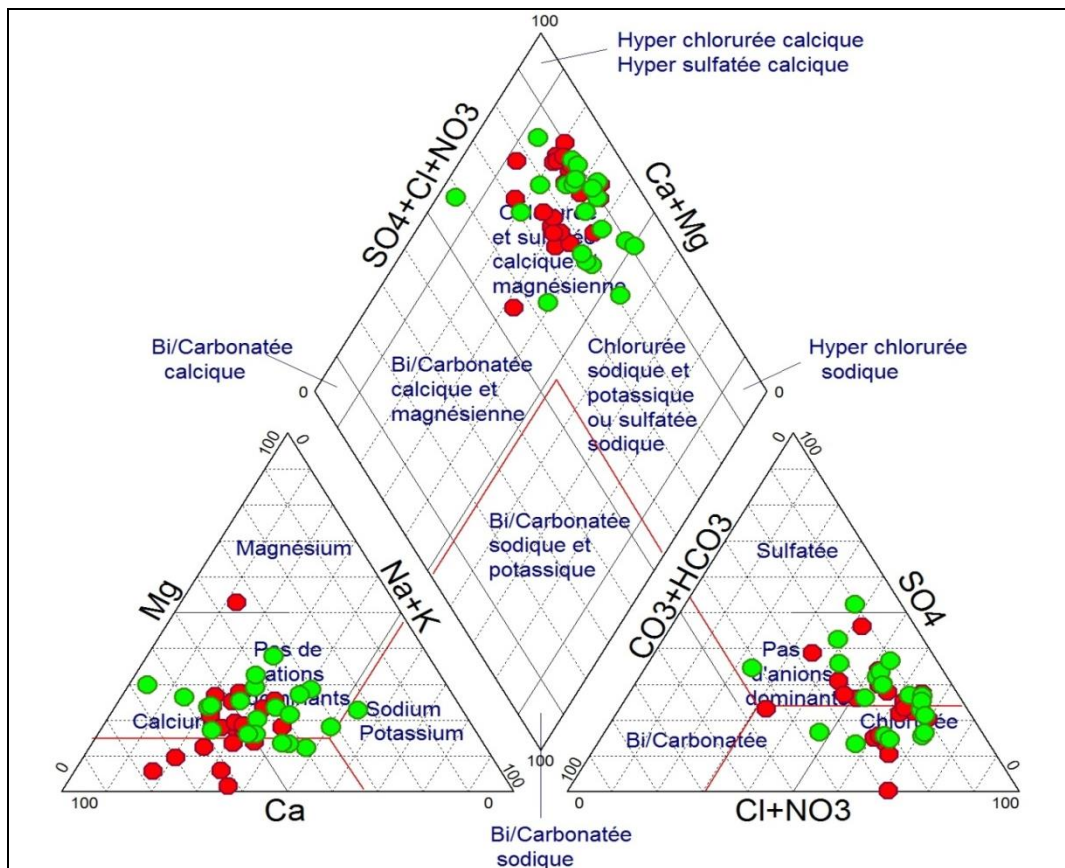


Figure 25 : Diagramme de Piper, (Points en rouge : période des hautes eaux 2017 ; Points en vert : période des basses eaux 2017).

#### IV.4.2. Classification des eaux selon Stabler

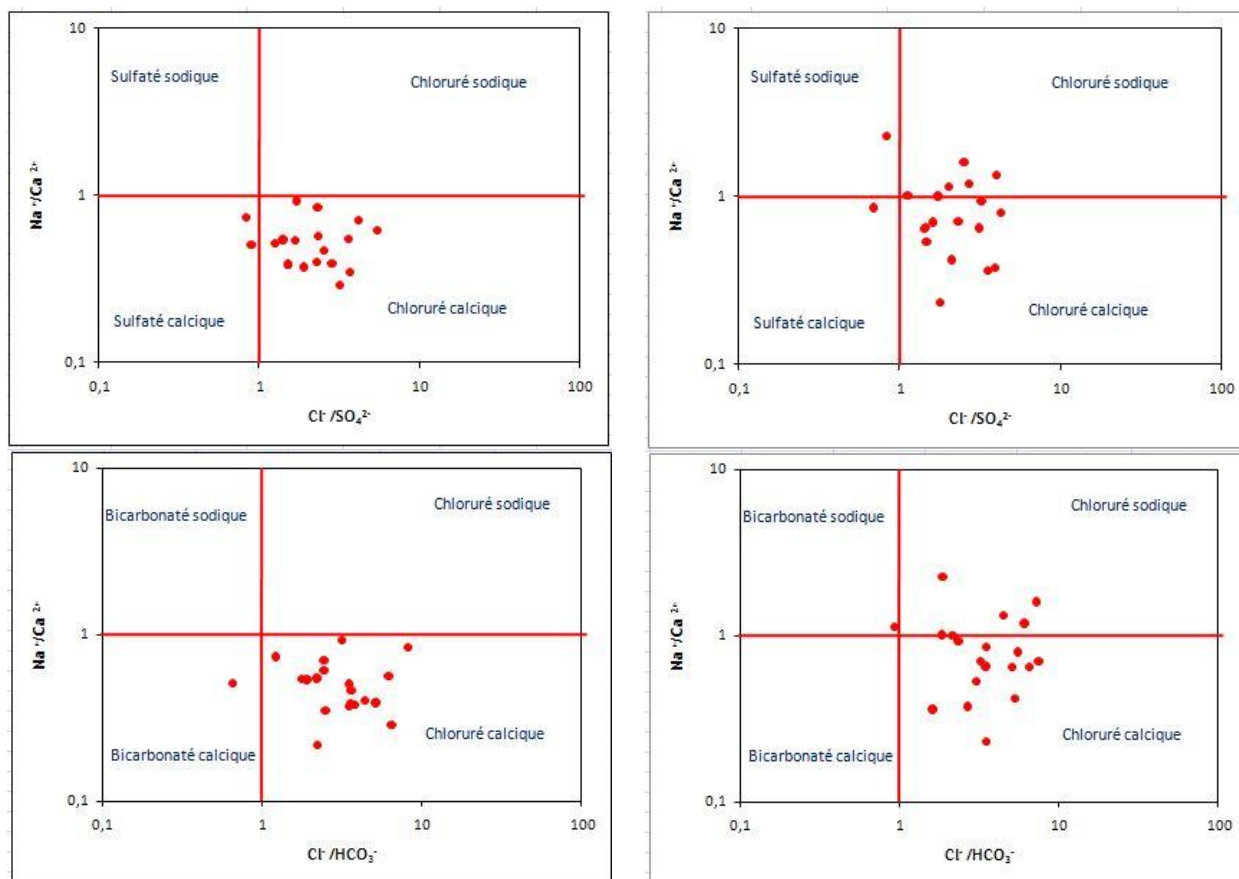
La méthode de Stabler permet de représenter le faciès chimique de plusieurs échantillons d'eaux. Les tableaux 13 et annexe 02 qui illustrent cette représentation montrent trois principales familles chimiques qui sont :

- La famille chlorure : c'est le faciès dominant, il couvre une grande partie de la nappe alluviale du Haut Cheliff, cette famille se subdivise en 02 faciès :
  - Le faciès chloruré calcique ( $rCl > rSO_4 > rHCO_3$  et  $rCa > rNa > rMg$ ) ; 19 échantillons sur 22 soit 86 % en périodes hautes 2017 et 16 échantillons sur 22 soit 76 % en périodes basses eaux 2017.
  - Le faciès chloruré sodique ( $rCl > rSO_4 > rHCO_3$  et  $rNa > rCa > rMg$ ) ou ( $rCl > rHCO_3 > rSO_4$  et  $rNa > rMg > rCa$ ) avec 04 échantillons sur 21 soit 19 % en basses eaux 2017.
- famille Bicarbonates : cette famille est moins fréquente par rapport à la précédente, elle représente par le faciès bicarbonaté calcique ( $rHCO_3 > rCl > rSO_4$  et  $rCa > rMg > rNa$ ) représente 5% (un seul échantillon) en hautes eaux et basses eaux 2017.
- Enfin on signale la présence d'une la famille Sulfate, cette famille comprend le faciès Sulfaté calcique ( $rCa > rMg > rNa$  et  $rSO_4 > rCl > rHCO_3$ ) ou ( $rCa > rNa > rMg$  et  $rSO_4 > rHCO_3 > rCl$ ) avec deux échantillon soit 09% durant les campagnes de hautes eaux 2017.

Le faciès chloruré-calcique est important et le plus dominant et se répand vers l'Est, l'Ouest de la nappe. Il s'explique par la présence des formations alluvionnaires du Mio-Plio-Quaternaire et des marnes gypsifères. Le faciès chloruré-sodique se développe au Sud-Est de la nappe, ceci est dû probablement à la présence des alluvions récents de texture fine. Dans certains endroits (zones limitées), en note la présence des faciès sulfatés ou bicarbonatés.

**Tableau 13 : Classification des faciès hydrochimique selon Stabler.**

Campagnes	Famille des eaux	Faciès chimique	(%)	(%)
Hautes eaux 2017	Chloruré	Chloruré calcique	86	<b>W084-73</b>
	Sulfaté	Sulfaté calcique	09	<b>W084-91</b>
	Bicarbonaté	Bicarbonaté calcique	05	<b>W084-313</b>
Basses eaux 2017	Chloruré	Chloruré calcique	67	<b>W084-169</b>
		Chloruré sodique	19	<b>W084-63</b>
	Bicarbonaté	Bicarbonaté calcique	09	<b>W084-196</b>
	Sulfaté	Sulfaté calcique	05	<b>W084-91</b>



**Figure 26 : Distribution des faciès chimiques en 2017**

La réalisation d'une représentation graphique des faciès, qui se base sur les quantités en réaction, est très utile pour la confirmation de la présence de ces faciès caractérisant les eaux souterraines de la nappe. Étant donné la dominance des ions précédents, on a réalisé deux diagrammes (figure 26) qui utilisent les rapports  $\text{Na}^+ / \text{Ca}^{2+} - \text{Cl}^- / \text{HCO}_3^-$  et  $\text{Na}^+ / \text{Ca}^{2+} - \text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}$ . L'interprétation de ces deux diagrammes a montré la concentration des rapports d'ions en 04 pôles indiquant les faciès, déterminés précédemment, qui caractérise la nappe.

## IV.5. Diagrammes binaires et processus de minéralisation

### IV.5.1. Diagrammes binaires

La détermination de l'origine de chaque élément est nécessaire pour connaître les mécanismes du chimisme de l'eau. Les relations entre les concentrations en éléments majeurs dissous sont représentées par la figure 27.

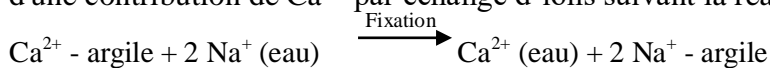
Au cours de ce processus, les roches encaissantes sont les principales sources de matières dissoutes dans l'eau. On appelle échange de base des eaux dures, les eaux souterraines dans lesquelles les alcalino-terreux ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) ont été échangés par les ions  $\text{Na}^+$  (Gupta et al, 2008).

La projection de  $\text{Ca}^{2+}$  en fonction de  $\text{SO}_4^{2-}$  présente les points d'eau existents au-dessus de la droite (Figure 27 (a)) traduisent un excès en  $\text{Ca}^{2+}$  par rapport au  $\text{SO}_4^{2-}$ . Cet excès en  $\text{Ca}^{2+}$  ne peut s'expliquer que par l'existence d'une autre origine de cet ion la dissolution de gypse. L'augmentation des teneurs en  $\text{Ca}^{2+}$  qui a accompagné les faibles teneurs en  $\text{SO}_4^{2-}$  est due au phénomène d'échange de base, car les argiles du substratum peuvent libérer des ions  $\text{Ca}^{2+}$  après avoir fixé le  $\text{Na}^+$ .

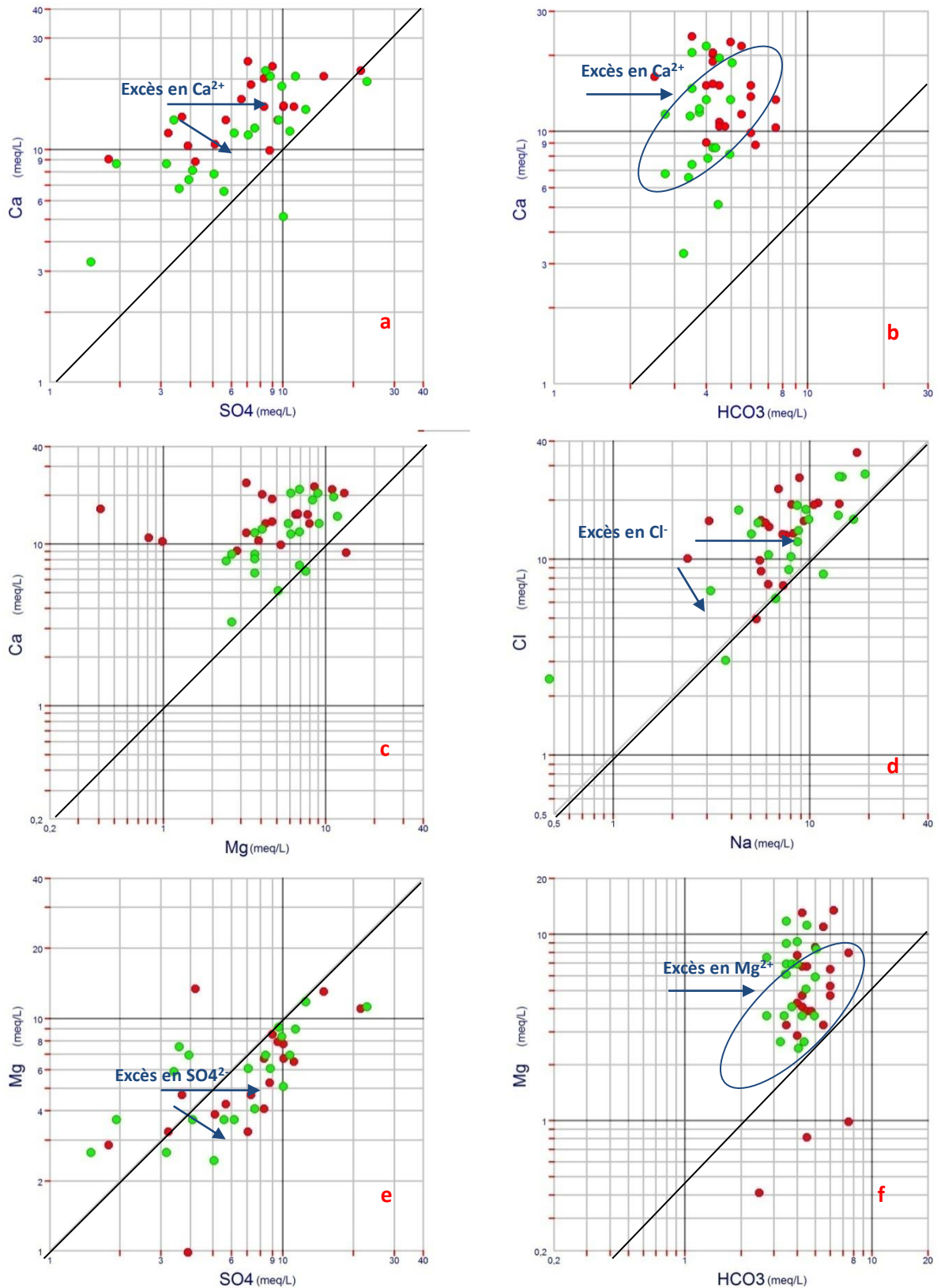
D'après les résultats des deux diagrammes binaires (Figures 27 (b) et 27(f)) nous remarquons que l'augmentation de la concentration des  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  n'est pas corrélée avec les  $\text{HCO}_3^-$ , traduisant que le calcium et le magnésium évoluent indépendamment par rapport aux bicarbonates. Ils montrent que la dissolution des roches carbonatées (calcite, dolomite) n'est pas la seule source pour ces éléments, car ils proviennent aussi de la dissolution des évaporites.

La projection de  $\text{Mg}^{2+}$  en fonction de  $\text{SO}_4^{2-}$  présente les points d'eau existents au-dessous de la droite (Figure 27 (e)) traduisent un excès en  $\text{SO}_4^{2-}$  par rapport au  $\text{Mg}^{2+}$ . Cet excès en  $\text{SO}_4^{2-}$  ne peut s'expliquer que par l'existence d'une autre origine de cet ion la dissolution de gypse. Il peut également avoir une origine anthropique (utilisation des engrais chimiques).

L'augmentation des teneurs en  $\text{Ca}^{2+}$  qui a accompagné à des faibles teneurs en  $\text{Mg}^{2+}$  pour les deux périodes est due au phénomène d'échange de base (figure 27 (c)), car les argiles du substratum peuvent libérer des ions de  $\text{Ca}^{2+}$  après avoir fixé le  $\text{Na}^+$ , cela indique que l'origine de  $\text{Ca}^{2+}$  n'est pas seulement la dissolution de la calcite et de gypse et confirme ainsi l'hypothèse d'une contribution de  $\text{Ca}^{2+}$  par échange d'ions suivant la réaction basique, telle que :

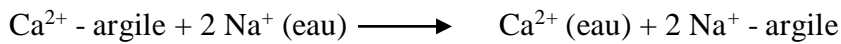


La corrélation entre  $\text{Na}^+$  vs  $\text{Cl}^-$  (figure 27 (d)) montre une caractéristique notable des la nappe alluviale du Haut Chéiff est l'enrichissement en  $\text{Cl}^-$  par rapport à  $\text{Na}^+$ . C'est-à-dire la majorité des échantillons des deux campagnes hautes eaux et basses eaux 2017 ont une tendance d'être au-dessus de la ligne, qui sont liés à une autre origine de cet ion que la dissolution de l'halite. Il peut également avoir une origine anthropique (rejets domestiques et industriels). En effet, les eaux usées urbaines sont rejetées sans traitement dans l'environnement et peuvent atteindre les eaux souterraines par infiltration (aucune station d'épuration des eaux usées).

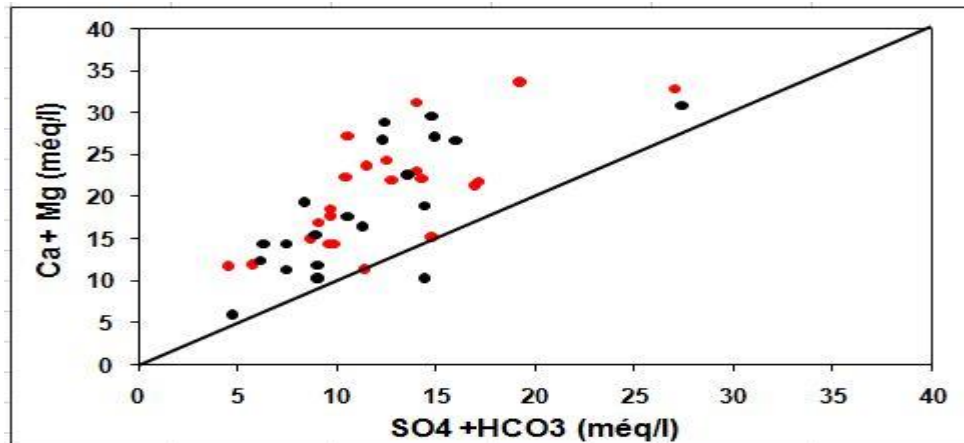


**Figure 27 :** Relations entre les principaux éléments majeurs 2017. (Points en rouge : période des hautes eaux 2017 ; Points en vert : période des basses eaux 2017).

L'augmentation des teneurs en Cl<sup>-</sup> qui a accompagné les faibles teneurs en Na<sup>+</sup> est due au phénomène d'échange de base, car les argiles de quaternaire et les argiles de Pliocène supérieur peuvent libérer des ions Ca<sup>2+</sup> et Mg<sup>2+</sup> après avoir fixé le Na<sup>+</sup>, telle que :



D'autres diagrammes ont été utilisés par différents auteurs pour déterminer les processus géochimiques les plus dominants dans les eaux souterraines. Parmi lesquels, l'étude de la relation entre  $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$  vs  $(\text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^-)$  qui donne une vision plus claire sur les processus d'échange cationiques (Farid et al. 2015). Après avoir examiné la figure 28, on remarque que la plupart des points se trouvent du côté  $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$  par rapport au  $(\text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^-)$ , ce qui suggère que l'échange de base est le processus hydrogéochimique majeur fonctionnant dans cet aquifère. Pour cela, le processus d'échange d'ions est examiné plus en utilisant les indices chloro-alcalin (ICA) (Schoeller, 1977).

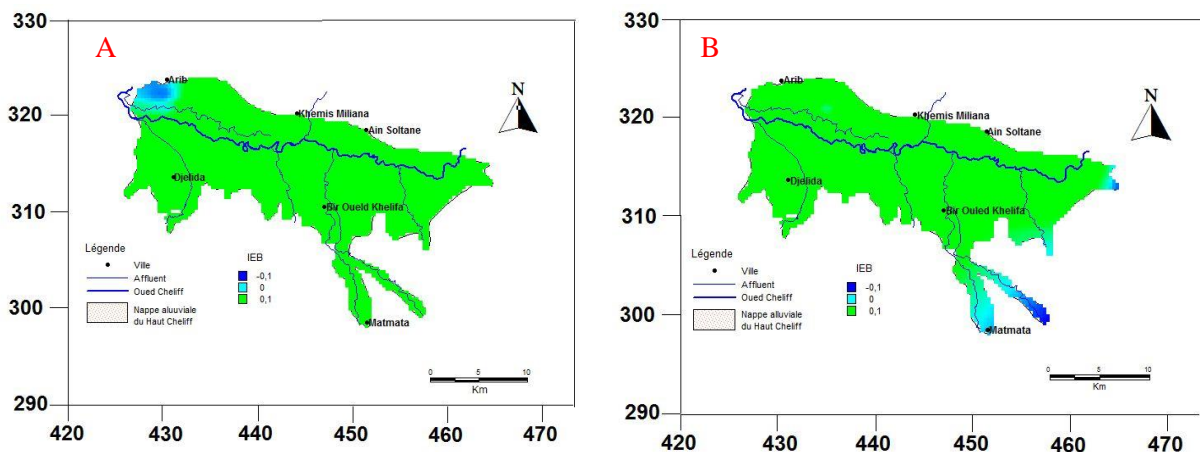


**Figure 28 :** Relation entre  $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$  et  $(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$  en 2017 (Points en rouge: période des hautes eaux 2017; Points en noir: période des basses eaux 2017).

#### IV.5.2. Les échange d'ions

Dans le secteur d'étude, les cartes de l'i.e.b. (Figures 29) montre que la plupart des échantillons de la plaine ont un indice positif dans les deux périodes (annexe 3 et 4). Cette dominance des valeurs positives traduisent que l'encaissant libère le Ca, Mg après avoir fixé le Sodium et le potassium de l'eau.

La carte de l'évolution d'I.E.B (figure 29) montre que les valeurs positives couvrent la totalité de la nappe, à l'exception de quelques points d'eaux situés au Nord-ouest près de la commune d'Arib et dans la région Matmata où il présente des valeurs négatives.



**Figure 29 :** Carte de l'évolution des valeurs de l'I.E.B en hautes eaux (A) et basse eaux (B).



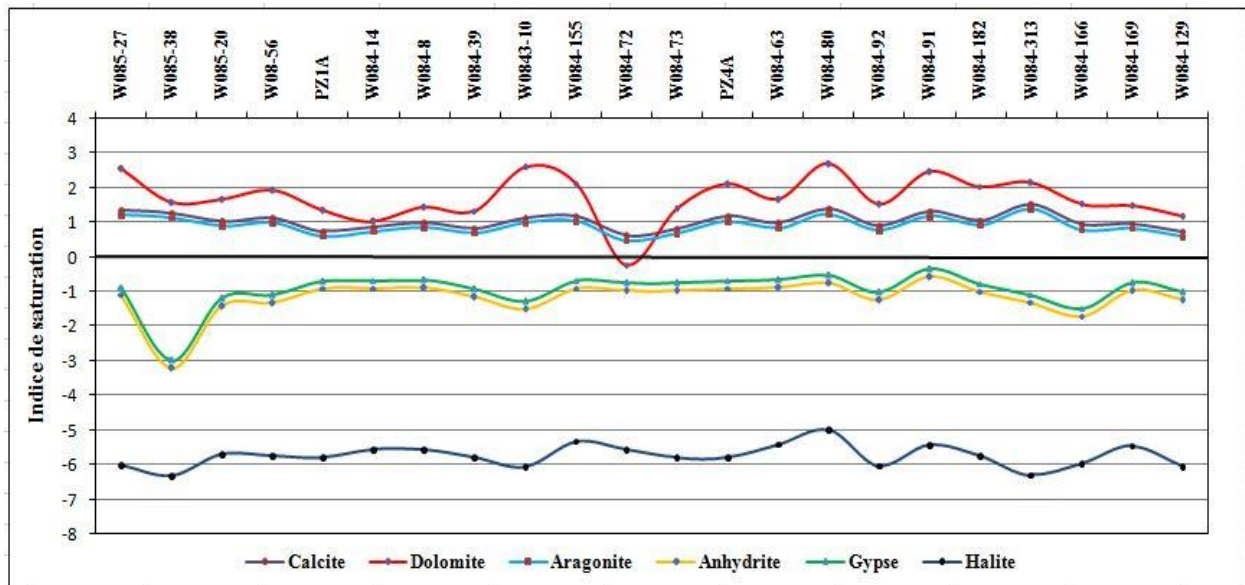
### IV.5.3. Indices de saturation des minéraux

L'état d'équilibre ou de saturation d'une solution par rapport à un élément minéral est symbolisé par ce qu'on appelle l'indice de saturation (IS).

Plusieurs simulations ont été faites sur des logiciels tels que PHREEQC, pour le calcul des indices de saturation des quelques minéraux spécifiques : calcite ( $\text{CaCO}_3$ ), dolomite  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , anhydrite ( $\text{CaSO}_4$ ), gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) et halite ( $\text{NaCl}$ ) dans les deux périodes hautes et basses eaux 2017.

Les calculs de ces indices montrent que les minéraux carbonatés (calcite, dolomite et aragonite) présentent des degrés de saturation différents (annexe 05). En effet, celui de la calcite varie de + 0.62 à + 1.52 et -0.26 à +0.9, suivi par celui de l'aragonite qui varie de + 0.48 à + 1.38 et -0.41 à +0.76 et enfin celui de la dolomite qui varie de -0.23 à +2.69 et -0.35 à +1.69 en période de hautes et basses eaux respectivement, on peut dire que les trois minéraux suscités sont dans un état de sursaturation pour la majorité des points d'eau, à l'exception des points d'eau (W084-72 et W084-14) qui présentent un état de la sous-saturation. Les concentrations des trois minéraux ont une même évolution, ce qui confirme l'origine carbonatée.

Les minéraux évaporitiques (gypse, anhydrite et halite) montrent des degrés de saturation plus faibles que les minéraux carbonatés (figures 30 et 31). L'indice de saturation du gypse varie de -2.99 à -0.35 en hautes eaux et -1.84 à -0.37 en basses eaux (100% des points d'eau analysés sont sous saturé), suivi de l'anhydrite dont l'indice varie de -3.21 à -0.57 en hautes eaux et -2.06 à -0.59 en basses eaux (100% des puits sont sous-saturés) et enfin l'halite dont les indices varient de -6.32 à - 4.99 et -7.63 à -5.04 en période de hautes et basses eaux respectivement (donc très sous saturés) ce qui indique que l'eau souterraine est très sous-saturé en ce qui concerne ce minéral.



**Figure 30 :** Variation de l'indice de saturation des minéraux, période hautes eaux 2017.

Le calcul de l'indice de saturation des différents minéraux dans l'eau indique que seuls les minéraux carbonatés ont tendance à atteindre un état de sursaturation. Par contre, les minéraux évaporitiques sont toujours à l'état de sous-saturation, malgré les fortes concentrations qu'ils acquièrent.

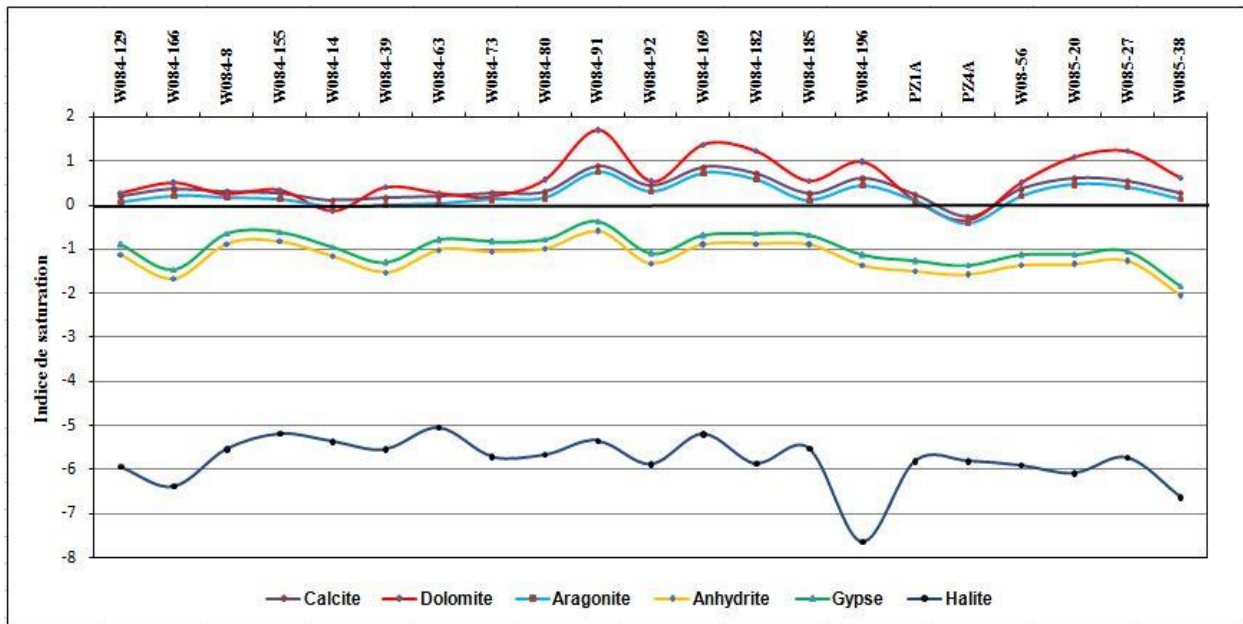


Figure 31 : Variation de l'indice de saturation des minéraux, période basses eaux 2017.

En résumé, l'interprétation thermodynamique a permis de montrer l'influence des minéraux évaporitiques sur le chimisme de l'eau. La sous-saturation en gypse, anhydrite et halite provoque une continuité dans la dissolution et un enrichissement des eaux par ces éléments. Par ailleurs, les minéraux carbonatés se trouvent parfois proches de l'équilibre souvent en sursaturation et tendent vers la précipitation sous forme de calcite et dolomite.

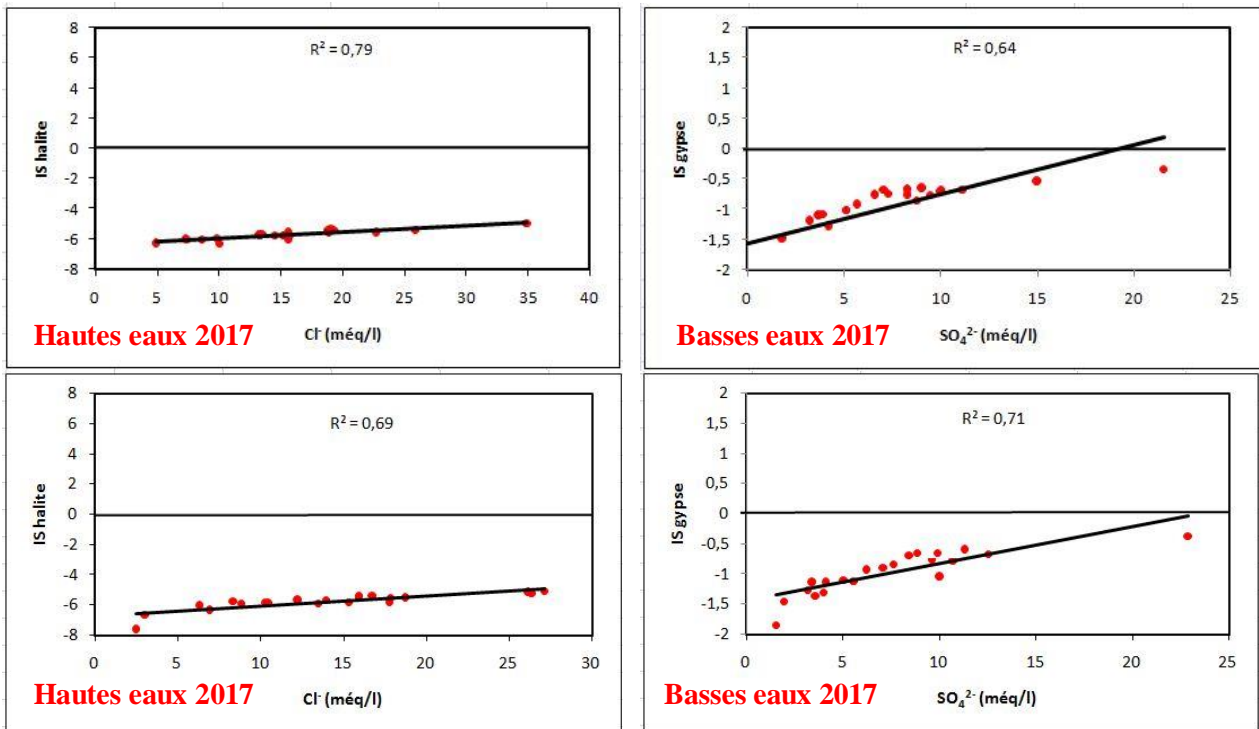


Figure 32 : Variation de l'indice de saturation des minéraux,

De même, l'analyse la figure 32 a montré une évolution positive et significative entre le gypse, la halite avec les sulfates et les chlorures respectivement, ce qui donne une indication de mise en solution des différents sels. Les lessivages minéraux évaporitiques (de gypse et de l'halite) qui peuvent augmenter respectivement les teneurs des ions sulfates et chlorures.

## IV.6. Utilisation des eaux souterraines pour l'A.E.P

### VI.6.1. Normes de potabilité selon les concentrations des éléments chimiques majeurs

Les eaux souterraines présentent toujours une certaine concentration des différents éléments chimiques élevée. Ces concentrations ne doivent pas dépasser un certain seuil défini par les normes de l'organisation mondiale de la santé (OMS) et les services de la santé publique. L'étude de la potabilité des eaux est basée sur l'étude des concentrations des éléments majeurs. L'eau de la nappe alluviale du Haut Cheliff est utilisée pour l'alimentation en eau potable des habitants des principales agglomérations des communes centrales de la wilaya d'Ain Defla. Pour contrôler la qualité de cette eau, nous avons comparé les résultats des analyses physico-chimiques aux normes recommandées par l'organisation mondiale de la santé (OMS, 2008) et à la dureté de l'eau. Les pourcentages des points d'eau qui présentent une concentration inférieure aux normes de potabilité pour certains éléments chimiques sont comme suit :

**Tableau 14** : Pourcentage des échantillons ayant des concentrations inférieures aux normes OMS (2008).

Élément	Normes OMS	pourcentage des échantillons ayant des concentrations inférieures aux normes	
		Hautes eaux 2017 (%)	Basses eaux 2017 (%)
Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	100	00	05
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	50	41	38
Na <sup>+</sup> (mg/l)	150	45	33
K <sup>+</sup> (mg/l)	12	100	96
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	250	05	15
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	250	36	38
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	250	23	67
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	50	50	43
R. Sec (mg/l)	1500	23	38
pH	6,5 < pH < 9,5	100	100

Les valeurs d'analyses physico-chimiques des échantillons pour les périodes d'observation montrent que plus 50% des points d'eau dépassent la norme recommandée relative à la potabilité des eaux excepté le K. On remarque que la majorité des échantillons ont des teneurs en calcium, en magnésium, en sodium, en sulfates et en Chlorures qui dépassent le seuil fixe par l'OMS pour les deux périodes.

Les mesures du pH montrent que tous les puits se trouvent dans l'intervalle de norme de potabilité pendant la période de hautes et basses eaux, ceci indique que les valeurs de pH sont proches des valeurs naturelles.

On remarque que la majorité des échantillons ont des teneurs en nitrates et en Résidu sec supérieures aux normes pour les deux périodes.

### VI.6.2. Normes de potabilité selon le degré hydrométrique

La potabilité d'une eau peut être également évaluée par la dureté ou le titre hydrotimétrie (D.H.T) qui correspond à la somme des concentrations en calcium et en magnésium, il est exprimé en degré français et peut être calculé par la formule suivante :  $D.H.T = (rCa^{2+} + rMg^{2+}) \times 5$  (°F)

La potabilité d'une eau peut être également évaluée par la dureté ou le titre hydrotimétrie (D.H.T) à été mentionnée dans le tableau suivant :

**Tableau 15** : Classification des eaux selon leurs DHT.

D.H.T (en °F)		0-7	7-14	14-22	22-32	32-54	>54
Qualification de l'eau		Très douce	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure
( % ) des échantillons	Hautes eaux 2017	00	00	00	00	00	100
	basses eaux 2017	00	00	00	05	14	81
Usage Domestique		Bonne Potabilité		Potabilité passable		Potabilité médiocre à mauvaise	

La dureté totale calculée pour la nappe alluviale du Haut Cheliff présente une eau dure à très dur, Ces résultats montrent que les eaux souterraines de notre région d'étude ont une potabilité médiocre à mauvaise.

#### IV.7. Classification des eaux d'irrigation

Pour les zones semi-arides, les eaux souterraines constituent la principale source d'eau d'irrigation.

Les eaux souterraines de la nappe alluviale du Haut Cheliff sont utilisées pour l'irrigation le périmètre agricole de la plaine d'El Khemis 20300 ha (**ANRH Khemis Miliana**), ces eaux souterraines chargées en chlorures et en sodium. L'accumulation ces éléments chimiques des eaux sous forme des sels hydrosolubles influent sur les caractéristiques du sol ce qui aura provoqué la détérioration de la structure du sol le rendant ainsi imperméable à l'eau et à l'air, et d'autre part ils provoquent des troubles du métabolisme des plantes et du processus osmotiques de ces dernières. En effet, ces sels causent le risque de salinisation des sols.

##### IV.7.1. Classification des eaux selon Riverside

Le diagramme de Riverside qui établi en fonction de la CE et du SAR tient compte de l'équilibre entre ces deux variables dont l'une influe sur l'autre, le risque de la sodicité due au SAR est atténué en présence d'une salinité élevé (**Richards, 1954**).

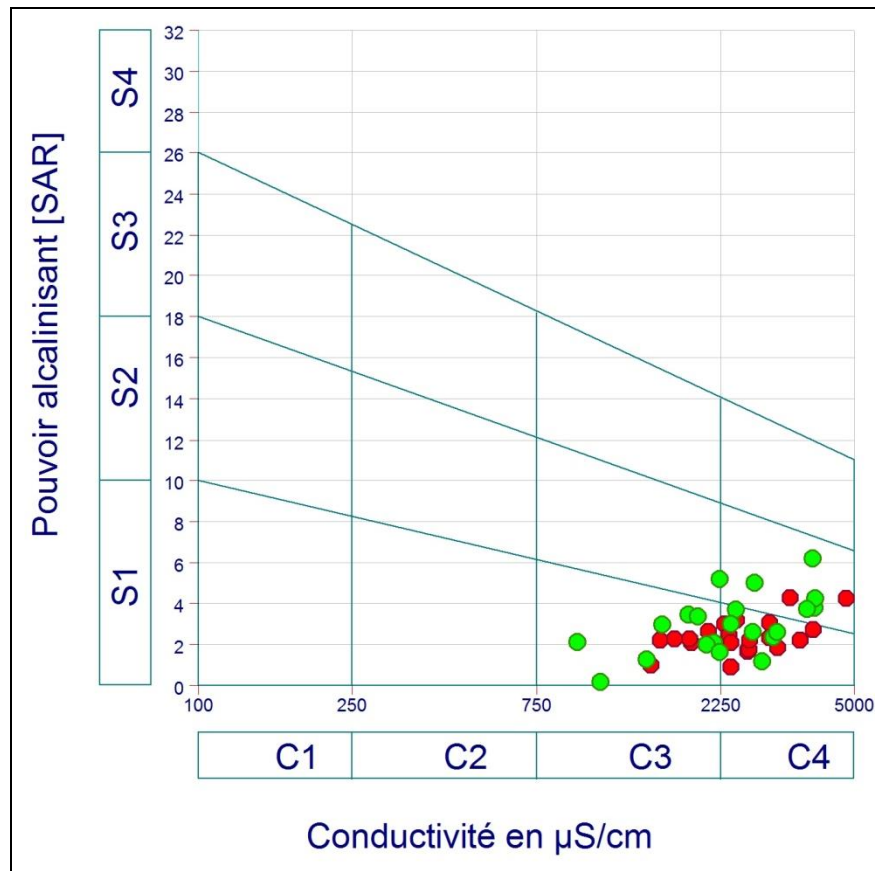
D'après le diagramme de Richards (figure 33), les eaux de la nappe alluviale de notre région d'étude présentent, en général, les différentes classes de qualités pour l'irrigation au cours de tous les périodes d'observation sont :

-La classe C3S1 (représente de 35 % des puits) : Elle caractérise une eau de qualité moyenne à médiocre a utilisé avec précaution, nécessite un drainage avec des dose de lessivage (**Durand, 1982**). Cette classe renferme des eaux admissibles pour l'irrigation des cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés ou de bonne perméabilité et la salinité doit être contrôlée, elle caractérise les puits situés dans les communes Arib et sidi Lakhder ceux qui se trouvent au Nord-ouest de la nappe et entre Khemis Miliana et Djendel dans le centre et l'est de la nappe.

-Les classes C4S1 (représente de 44 % des puits) : Elles caractérisent une eau de qualité médiocre à mauvaise, utilisé avec précaution pour les sols lourds et les plantes sensibles, l'emploi pour les sols légers et bien drainés nécessite une dose de lessivage (**Durand, 1982**). Elle représente 44 % des puits en deux périodes. La majorité des puits appartenant aux classes C4S1 se situent au Centre et au Nord de la commune de Ain Soltane et ceux qui se trouvent dans la région Bir ouled khelifa au Sud-Est de la nappe.

- Les classes C4S2 (représente de 21 % des puits) : Elles caractérisent une eau de qualité très mauvaise, fortement minéralisées utilisées que pour les sols légers et bien drainés et pour les

plantes résistantes avec nécessité de doses de lessivage (**Durand, 1982**).ces classes caractérisent les puits situés au Sud de la plaine.



**Figure 33 :** Représentation sur le diagramme de RICHARDS (Riverside) des eaux de la nappe alluviale du Haut Cheliff (Points en rouge : période des hautes eaux 2017 ; Points en vert : période des basses eaux 2017).

#### IV.7.2. Classification mondiale (F.A.O)

La FAO a établi également une classification des risques de salinisation des sols par les eaux d'irrigations. Cette classification donnée en fonction de la concentration des sels ou Résidu sec. Le tableau 16 est bien détail pour les concentrations les plus utilisé dans la classification des eaux d'irrigation selon FAO. Les principales qualités des eaux souterraines de la nappe alluviale du Haut Cheliff sont présentées dans le tableau suivant.

**Tableau 16 :** Classification les eaux en fonction de la concentration des sels selon FAO

Concentration des sels	1 g/l	1-3 g/l	3-5 g/l	5-10 g/l	>10g/l
Qualité	bonne irrigation	faiblement salée	moyennement salée	fortement salée	extrêmement salée
Hautes eaux	09 %	82 %	09 %	0 %	0 %
Basses eaux	14 %	86 %	0 %	0 %	0 %

L'estimation de la qualité des eaux à l'irrigation en fonction de la concentration des sels a montré que les eaux de la nappe du Haut Cheliff est de qualité faiblement salée pour l'irrigation dans les pluparts des point d'eaux.

## IV.8. Origine de la pollution anthropique

### IV.8.1. L'utilisation des engrais

Les engrais chimiques sont utilisés dans l'agriculture afin d'améliorer la production, l'évaluation des quantités d'azote d'origine chimique importée sur l'exploitation est pratiquement impossible à l'échelle de la plaine du Haut Cheliff.

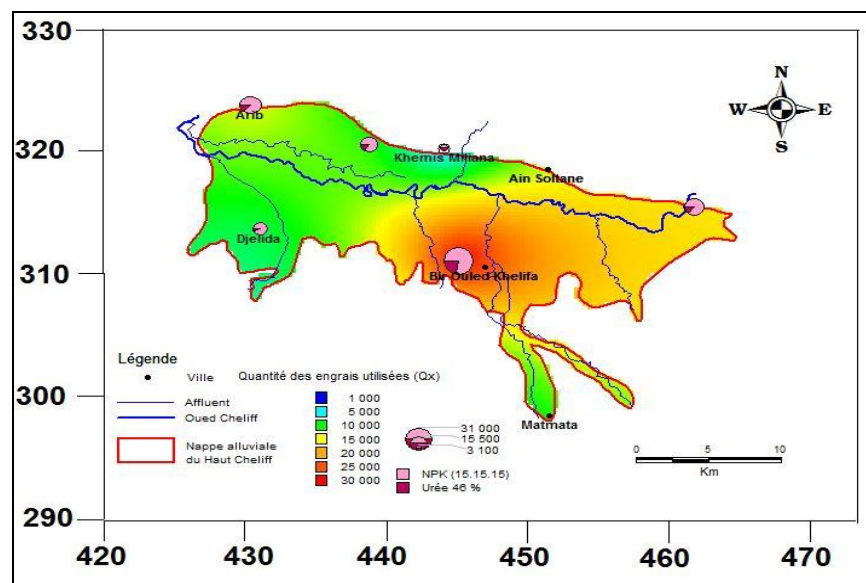
Les engrais azotés sont des produits minéraux apportés au sol pour fournir les quantités suffisantes d'azote et d'autres éléments nutritifs aux plantes et ce pour rentabiliser la récolte. Les doses d'engrais recommandées dépendent de la pluviosité, du type de culture et de la nature du sol. Le type d'engrais le plus utilisé dans le périmètre du Haut Cheliff est d'engrais minéraux riches en azote surtout l'Urée 46% et N.P.K (15.15.15).

L'urée 46% et N.P.K (15.15.15) sont des produits de fabrication locale très utilisés par les agricultures de la région. Ceci est dû à son efficacité, sa disponibilité et son prix accessible, il est utilisé pour le maraichage, l'arboriculture et les céréales avec une dose de 1 à 15 Qx/Ha pour NPK et 1 à 3 Qx/Ha pour urée 46%. Les résultats obtenus sont reportés dans le tableau 17.

**Tableau 17** : la quantité des engrais azotés utilisés dans la plaine du Haut Cheliff (année 2017)

Communes	Code communal	SAU Totale (ha)	N.P.K (15.15.15)		Urée 46%	
			Quantité (Qx)	Superficie concernée (Ha)	Quantité (Qx)	superficie concernée (Ha)
Khemis Miliana	4404	2428	1418	362,89	1119	450
Arib	4406	7990	12499,03	1240,79	2051,25	798,27
Djelida	4407	16131	8067,4	668,37	545	268,42
Djendel	4412	11531	14055	1681,22	2594	1515,58
Bir Ouled Khelifa	4419	5142	23262,27	1817,23	6890,23	3566,17
Bordj Emir Khaled	4422	5976	3095	216	578,6	290,6
Sidi Lakhdar	4424	3394	8988,5	808,6	1766	813,16
<b>Total</b>		<b>52592</b>	<b>71385,20</b>	<b>6795,10</b>	<b>15544,08</b>	<b>7702,20</b>

Source : DSA Ain Defla



**Figure 34** : Répartition de la quantité des engrais NPK et les Urées 46 % par commune dans la vallée du Haut Cheliff pour l'année 2017

La comparaison de la carte de l'évolution des concentrations en nitrate (figure 24) avec la carte distribution des quantités des engrais (figure 34) montre que seulement 50 % des points présentent des valeurs supérieures à la norme algérienne fixée à 50 mg/l. Nous rencontrons des concentrations qui peuvent atteindre jusqu'au 135 mg/l. Les plus fortes concentrations se trouvent à l'amont du Haut près de Djendel et Ain Soltane, au Sud près de Bir Ouled Khelifa, ainsi que le Sud de la commune d'Arib (avec quelque plage supérieure à 100 mg/l).

Une bonne corrélation semble exister entre les cartes de répartition des nitrates et la carte de répartition la quantité des engrais NPK et Urée 46 %, ce qui indique la présence d'une relation entre les teneurs en nitrates dans les eaux souterraines et la quantité des engrais utilisées. Il atteste de leur origine anthropique liée principalement à l'utilisation des engrais azotés, vu que la zone d'étude est principalement à vocation agricole. L'élevage, les eaux usées et les décharges peuvent constituer une autre origine des nitrates dans la zone d'étude. Le niveau actuel de la pollution nitrique des eaux souterraines dans les plaines du Haut Chélif commence à devenir critique.

#### IV.8.2. Rejets d'élevage :

Les rejets de l'élevage d'animaux sont utilisés par les agricultures comme fertilisants. Sous l'effet pluviométrique, les eaux s'infiltrent dans la nappe souterraine enrichies en dérivés azotés est constituent un risque de pollution. Le calcul des apports d'azote d'origine animal dans les plaines du Haut Chélif est basé sur les expériences faite en Borissova en 1987 et la recherche bibliographique montrant que

La dotation moyenne journalière en eau pour les cheptels est 1 l/j/Tête pour les poules pondeuses ou poules chaires, 3 l/j/Tête pour les ovins ou caprins et 60 l/j/Tête pour bovins.

La quantité du fumier (Tonne) par bétail par an tel que 1 tonne de fumier du bétail contient 5 kg d'azote est 8-9 T/an/Tête pour les bovins et 0,8-0,9 T/an/Tête pour les ovins et les caprins.

La quantité annuelle des fientes de volailles (Kg) : 5 kg par tête, tel que 1 Tonne de fientes contient 16 kg d'azote pour l'élevage de volailles

**Tableau 18** : Estimation de l'apport annuel en azote à partir de l'élevage (année 2017).

Commune	Type	effectifs (Têtes)	dotation (m <sup>3</sup> /an)	Quantité du fumier (tonne/an)	Quantité d'azote produit (tonne/an)	Total quantité d'azote produit (tonne/an)
Khemis Miliana	Gros Bétail (V.L)	320	7008	2560	12,80	25,52
	Petits Bétail	3040	3328,80	2432,00	12,16	
	Volailles	7000	2555	35	0,56	
Arib	Gros Bétail (V.L)	473	10358,70	3784	18,92	30,68
	Petits Bétail	2940	3219,30	2352,00	11,76	
Djelida	Gros Bétail (V.L)	732	16030,80	5856	29,28	72,97
	Petits Bétail	10290	11267,55	8232,00	41,16	
	Volailles	31730	11581,45	158,65	2,53	
Djendel	Gros Bétail (V.L)	200	4380	1600	08	19,52
	Petits Bétail	1600	1752,00	1280,00	6,40	
	Volailles	64060	23381,9	320,3	5,12	
Bir Ouled Khelifa	Gros Bétail (V.L)	379	8300,10	3032	15,16	28,63
	Petits Bétail	3244	3552,18	2595,20	12,98	
	Volailles	6200	2263	31	0,49	
Ain Soltane	Gros Bétail (V.L)	1010	22119	8080	40,40	88,62
	Petits Bétail	11364	12443,55	9091,20	45,45	
	Volailles	34700	12665,5	173,5	2,77	
Sidi Lakhdar	Gros Bétail (V.L)	797	17454,30	6376	31,88	58
	Petits Bétail	6395	7002,525	5116,00	25,58	
	Volailles	6800	2482	34	0,54	

Source : DSA d'Ain Defla, 2023

L'élevage des animaux (ovins, caprin, bovins et volailles) produit environ 323940 kg N /an d'azote. La majorité de cette quantité est utilisée par les agriculteurs comme fertilisants.



Le rejet de l'élevage d'animaux est important dans la plaine du Haut Chélif. On remarque que l'élevage est concentré dans les communes Khemis Miliana, Djelida, Sidi Lakhder et Ain Soltane, d'où le risque élevé de pollution des eaux souterraines de la nappe du Haut Cheliff. Une bonne corrélation semble exister entre les cartes de répartition des nitrates et le bilan quantitatif d'azote organique de cheptel du Haut Cheliff, ce qui indique la présence d'une relation entre les teneurs en nitrates dans les eaux souterraines et la quantité d'azote fourni par le fumier de cheptel.

**IV.8.3. Les eaux usées domestique**

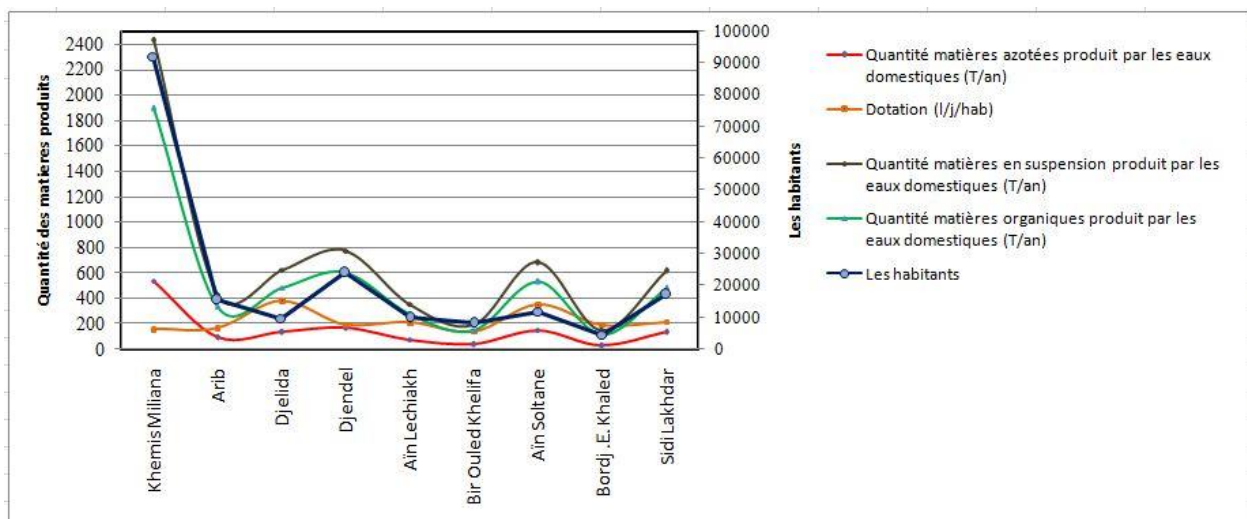
L'Oued Cheliff constitue le principal cours d'eau drainant les eaux de pluie et les eaux usées domestiques, et tous les rejets urbains y déversent une charge polluante considérable. La totalité des eaux domestiques de la plaine du Haut Chélif raccordées au réseau d'assainissement sont rejetées dans l'oued Chélif et ses affluents sans contrôle. L'estimation de l'azote organique produit par les eaux usées domestique qui rejeté dans oued Chélif, elle est basée sur le volume d'eaux usées domestiques des populations non raccordées à la collective épuration. Le contenu polluant peut être estimé pour une personne utilisant en moyenne 100 à 200 l/j d'eau à :

- 60 à 90 g matières en suspension.
- 50 à 70 g matières organiques.
- 10 à 20 g de matières azotées

**Tableau 19** : Estimation de l'apport annuel en azote à partir les eaux usées domestique.

Commune	Les habitants	Dotation l/j/hab	Quantité matières azotées produit par les eaux domestiques (T/an)	Quantité matières organiques produit par les eaux domestiques (T/an)	Quantité matières en suspension produit par les eaux domestiques (T/an)
Khemis Miliana	92054	161	540,95	1893,34	2434,29
Arib	15657	168	96,01	336,03	432,03
Djelida	9844	386	138,69	485,42	624,11
Djendel	24006	197	172,61	604,15	776,76
Ain Lechiakh	10075	215	79,06	276,72	355,78
Bir Ouled Khelifa	8314	143	43,39	151,88	195,27
Ain Soltane	11862	351	151,97	531,89	683,86
Bordj .E. Khaled	4620	196	33,05	115,68	148,73
Sidi Lakhdar	17412	217	137,91	482,69	620,60

Source : Direction de l'environnement d'Ain Defla



**Figure 35** : Evolution la composition d'eaux usées domestiques est rejetées dans la vallée du Haut Chélif pour l'année 2017

L'estimation de l'azote organique, matières organiques et matières en suspension produit par les eaux usées domestique qui rejeté dans oued Chélif et ses affluents, elle est basée sur le volume



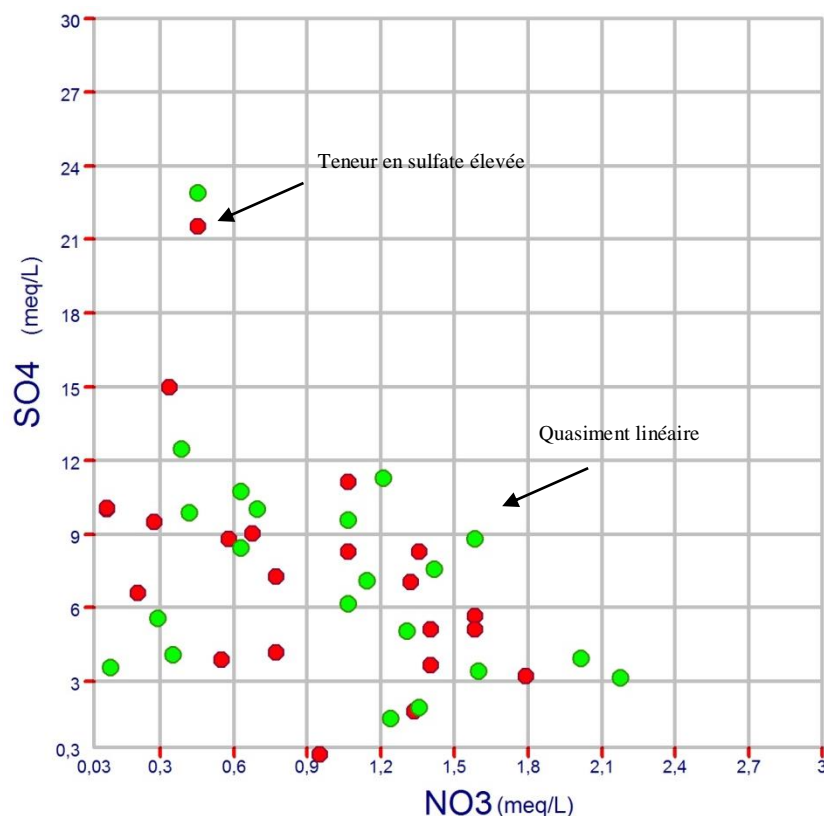
d'eaux usées domestiques des populations non raccordées à la collective épuration. Le volume total rejeté par les populations est 38182, 55 m<sup>3</sup>/j, soit une quantité d'azote totale rejetée de 1393,64 T/an d'azote avec les villes d'El Khemis Miliana, Djelida, Djendel et Ain Soltane qui présentent le taux le plus élevé (estimé à 72 % de la totalité). La comparaison entre les cartes de l'évolution des teneurs en chlorures, nitrates (figure 24) et la quantité matières organiques produit par les eaux domestiques sont assez semblables. Les eaux usées rejetées à l'état brut directement ou par affluent dans l'oued Chélif augmentant ainsi le taux de chlorure.

#### IV.8.4. L'utilisation des pesticides, des fongicides et herbicide

Surtout pour le traitement des maladies du mildiou pour la pomme de terre, la rouille et charbon pour les céréales. Les substances présentées dans le sol peuvent être entraînée plus ou moins rapidement vers les eaux souterraines avec les eaux d'irrigation et selon la nature de produit.

#### IV.8.5. Relation nitrate- sulfate

La figure 34 représentant les teneurs en nitrates en fonction des concentrations en sulfate, à travers les différentes campagnes. La relation entre les deux éléments est quasiment linéaire avec des teneurs en sulfate élevées par rapport aux teneurs en nitrates, confirmant que les sulfates proviennent essentiellement des activités anthropiques d'origine des engrais, des matières organiques et la dissolution de formations salifères (Elles sont dues au lessivage des dépôts évaporitiques (gypse).



**Figure 36** : Diagrammes des concentrations en nitrates en fonction des concentrations en sulfates (Points en rouge : période des hautes eaux 2017 ; Points en vert : période des basses eaux 2017).

#### IV.9. Lutte proposé contre la pollution des eaux souterraines

Le traitement d'une eau souterraine polluée es couteux voire impossible dans certaines cas. A cet effet, la protection de l'eau souterraine contre la pollution, laquelle s'intègre dans la préservation du milieu souterrain, poursuit quatre objectifs :

La prévention, assurée en priorité par une réglementation baser sur des recherches et expérimentation.

La détection et ou le contrôle par les réseaux de surveillance de la qualité de l'eau souterraines. La parade des moyens techniques appropriés et la décontamination très difficile dans l'état des techniques actuel.

La réalisation des périmètres de protection de ressources en eaux constituent un outil de prévention très efficace.

Ces quatre actions nécessitent la prévision de la migration et de l'évolution des polluants dans le sol et dans le sous-sol. L'étude de comportement des polluants au cours de leur migration dans le circuit atmosphère\ sols\ aquifère\ écoulement, permet de décelé l'origine des contaminations et de prévoir leur évolution, donc de mettre en œuvre une prévention. L'outil le mieux adapté à la prévision, techniquement et économiquement, est le modèle mathématique de stimulation hydrodynamique et hydro chimique.

#### IV.10. Conclusion

L'étude du chimisme des eaux a pour but d'identifier les faciès chimiques des eaux, leur qualité de potabilité et l'aptitude à l'irrigation, suivre l'évolution spatiale des paramètres physico-chimiques et de déterminer leurs origines géologiques et anthropiques des éléments chimiques de l'eau.

Le groupement de l'ensemble des résultats statistiques (matrice de corrélation linéaire) exprime le même résultat qui est quelques fois complémentaires. Il est donc clairement ressorti que les variables qui interviennent le plus dans la dégradation de la qualité des eaux de la nappe du Haut Cheliff de nature géologique et anthropique, à savoir : Ca, Na, Cl, SO<sub>4</sub>, Cl et NO<sub>3</sub>.

Le diagramme Piper et la méthode de stabler confirme la présence du faciès chloruré-calcique avec une apparition des faciès chloruré-sodique, sulfaté calcique et bicarbonate calcique. Le faciès chloruré-calcique est important et le plus dominant. Il s'explique par la présence des formations alluvionnaires du Mio-Plio-Quaternaire et des marnes gypsifères aussi avec l'échange de base des ions et l'infiltration des eaux usées non traitées.

Les échantillons d'eau, présentent une potabilité chimique médiocre à mauvaise avec une tendance générale de l'augmentation de la concentration des sels dans le rive gauche de oued Cheliff. Ce qui donne une idée déjà sur le sens générale de la salinité au niveau de cette nappe

L'interprétation thermodynamique a permis de montrer l'influence des minéraux évaporitiques sur le chimisme de l'eau. Une sous-saturation en gypse, anhydrite et halite provoque par dissolution un enrichissement des eaux par ces éléments. Par ailleurs, les minéraux carbonatés se trouvent sursaturation et tendent vers la précipitation sous forme de calcite, aragonite et dolomite Dans la plaine du Haut Cheliff, la majorité des éléments chimiques analysés dépassent les normes fixées par l'OMS. Ces résultats montrent que les eaux souterraines de la région d'étude ont une potabilité médiocre à mauvaise. La classification de Richards a prouvé la dégradation de la qualité des eaux pour l'irrigation.

Les résultats obtenus d'après cette étude sur les sources de pollution, ont montré que les nitrates constituent la variable d'origine anthropique qui pourrait engendrer réellement la contamination des eaux de la nappe.

# *Conclusion Générale*

---

## Conclusion générale

Trouver l'eau dans les régions arides et semi-arides, n'est pas l'objectif final, mais encore faut-il qu'elle soit utilisable. Il est, dès lors, important de connaître les processus géochimiques dans ces régions, afin de caractériser les eaux de ces systèmes aquifères. Les eaux souterraines sont intrinsèquement sensibles à la contamination provoquée par les activités anthropiques et naturelles, leur traitement devient très coûteux ces dernières années. En milieu semi-aride, les problèmes de sécheresse et de surexploitation des eaux souterraines conduisent à fragiliser les réserves de l'aquifère tout en les rendant vulnérables à la pollution. C'est particulièrement le cas de la nappe alluviale du Haut Cheliff. La plaine alluviale du Haut Cheliff d'une superficie de 359 Km<sup>2</sup> et de 270m d'altitude moyenne, est située à 100 Km au Sud-Ouest d'Alger. Elle appartient au bassin versant du Haut Cheliff, qui est caractérisé par un climat semi-aride avec des influences sahariennes en été et des influences méditerranéennes en hiver marqué par des précipitations moyennes annuelles se situant entre 600 et 300 mm. Le bassin du Haut Cheliff comprend un grand périmètre d'irrigation, s'appelle plaine d'El Khemis (20300 km), Cette plaine est constituée d'alluvions grossières, occupent une superficie de 370 km<sup>2</sup>. Dont les potentialités en eaux souterraines sont estimées à 16 Hm<sup>3</sup>/an.

Les formations d'âge Mio-Plio-quaternaires forment le remplissage le plus important de la plaine du Haut Cheliff et constituent l'aquifère le plus sollicité. Les formations quaternaires sont représentées par les alluvions. Le Miocène et le Pliocène se composent principalement de grès. Les formations carbonatées qui bordent la plaine sont d'âge secondaire (massifs de Zaccar et Doui)

La répartition spatiale des éléments chimiques montre que le chimisme est fortement lié aux facteurs anthropiques comme les rejets urbains non contrôlés, de l'utilisation intensive d'engrais chimiques, et facteurs naturels, tels que la lithologie de l'aquifère, suite à la dissolution des formations évaporitiques. Les éléments Cl<sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> et Na<sup>+</sup> présentent relativement la même répartition spatiale. Les plus fortes concentrations de ces éléments sont à côté de la ville de Djelida (oued Massine), La répartition spatiale du Résidu sec est tout à fait similaire à celle du chlorure, sulfate, sodium et calcium. Les eaux de la région-montre une pollution par les nitrates, où l'on enregistre des teneurs dépassant 50 mg/l se trouvent au Nord-Est de la plaine du Haut Cheliff dans la région avale dans la commune de Djendel jusqu'à l'Est de la commune de Bir Oued Khelifa. Ces fortes teneurs en nitrates peuvent être expliquées par la présence de diverses sources de pollutions liées principalement à l'agriculture, l'élevage et aux pratiques urbaines (rejets domestiques et industriels sans traitement).

Les eaux sont caractérisées par une forte salinité et par la présence du faciès chloruré-calcique avec une apparition des faciès chloruré-sodique, sulfaté calcique et bicarbonate calcique selon Le diagramme Piper et la méthode de stabler. Le faciès chloruré-calcique est important et le plus dominant et se répond vers l'Est, l'Ouest de la nappe. La dissolution des formations carbonatées et évaporitiques est à l'origine de cet faciès

L'étude des corrélations établies par les graphes binaires entre les concentrations des principaux éléments majeurs (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub>) montre une caractéristique notable des nappes alluviales du Haut Cheliff est l'enrichissement en Cl<sup>-</sup> par rapport à Na<sup>+</sup> et un excès important de Ca<sup>2+</sup> est due au phénomène d'échange de base, car les argiles du substratum peuvent libérer des ions Ca<sup>2+</sup> après avoir fixé le Na<sup>+</sup>,

Le calcul de l'indice de saturation des minéraux carbonatés et évaporitiques a montré que les premiers ont tendance à s'équilibrer avant les seconds, ce qui explique les teneurs importantes des éléments chimiques provenant de la dissolution des gypses et des halites.

Dans les eaux souterraines de la nappe alluviale du Haut Cheliff, la majorité des éléments chimiques analysés dépasse les normes fixées par l'OMS. En effet, les fortes teneurs en calcium et magnésium font que ces eaux sont très dures.

Deux types d'eau ont été reconnus par la méthode de Richards à savoir médiocre à mauvaise. Donc, la classification de Richards a montré la dégradation de la qualité des eaux pour l'irrigation. Elle a également révélé une salinité très élevée, notamment à proximité d'Oued Messine. L'utilisation de certaines de ces eaux pourrait avoir un effet négatif sur l'environnement et sur l'évolution des sols, notamment au sud de la plaine.

Les apports excessifs en eaux usées domestique de rejets urbains non contrôlés, de l'utilisation intensive d'engrais chimiques et de fertilisants dans l'agriculture et l'élevage sont les causes directes de la pollution nitrique (fertilisation : d'azote, Elevage : 451820 kg N /an d'azote, les eaux usées domestiques non traités 1393,64 T/an d'azote). D'après les résultats obtenus dans cette étude sur les sources de pollution, ont montré que les nitrates constituent la variable d'origine anthropique qui pourrait engendrer réellement la contamination des eaux de la nappe, c'est pourquoi nous avons portés un intérêt particulier a l'agriculture et les unités industrielles qui ne disposent pas d'un système d'épuration.

Ce travail permettra de disposer d'une base de données pour un suivi de la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la nappe alluviale du Haut Cheliff.

:

# *Références Bibliographiques*

---

---

## Références bibliographiques

- Abdelbaki C., Boukli Hacène F., (2007)** : Etude du phénomène de dégradation des eaux souterraines du groupement urbain de Tlemcen, *Revue des Energies Renouvelables*. N°10: pp 257- 263.
- Aboubaker M., Jalludin M., Razack M., (2013)**: Hydrochemistry study of a volcanosedimentary aquifer using major ion and environmental isotope data. Dalha basalts aquifer, southwest of Republic of Djibouti. *Environ Earth Sci*. Vol 70 (7): pp 3335-3349.
- Achour F., Bouzelboudjen M., Pieyns SA., (1998)** : Variabilité spatio-temporelle des ressources en eau en région semi-aride: application au bassin du Cheliff, Algérie. *Water Resources Variability in Africa during XXth Century (Proceedings of the Abidjan'98 Conference. held at Abidjan, Cote d'Ivoire.)*. *IAHS Publ*. N° 252 : pp 225-234
- Alili S., hadj N., (2007)** : (qualité physico-chimique des eaux souterraines de la plaine alluviale du haut Cheliff et identification des risque de pollution). Centre universitaire de Khemis Miliana : 30p.
- ANRH, Blida** : Agence National des Ressources hydriques, w de Blida (document interne).
- ANRH Khemis Miliana., (2004)** : document interne
- Barbiero L., Vallés V., Cheverry C., (2004)**: Somme observations whith respect to sodicity hazard of irrigation water letter to the editor *Agricultural Water Management*.
- Bekkoussa S., Bekkoussa B., Taupin J D., Patris N., Meddi M., (2018)**: Groundwater hydrochemical characterization and quality assessment in the Ghriss Plain basin, northwest Algeria. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*. Vol 67: pp 458 – 466.
- Benahacene R., (2016)** : Utilisation des systèmes d'information géographique et approche devisualisation tridimensionnelle dans la cartographie des eaux souterraines de la plaine Alluviale de Khemis Miliana. Mémoire de Magister, Université de Khemis Miliana : 124p
- Bettahar S., (2012)** : Synthèse hydrogéologique de la nappe alluviale du Haut Cheliff, Mémoire de Master en Eau et Environnement, Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana.
- Borissave. E., (1987)** : Agrochimie. Edition *MIR*: pp 131-145.
- Bouderbala A., Gharbi BY., (2017)**: Hydrogeochemical characterization and groundwater quality assessment in the intensive agricultural zone of the Upper Cheliff plain, Algeria. *Environmental Earth Sciences*. N°76 : pp 744-746.
- Boulaine J., (1957)** : Étude des sols des plaines du Chéiff. Université d'Alger : 582p.
- Bouzada N., (2013)** : Caractérisation géochimiques des eaux souterraines utilisées dans l'irrigation dans la plaine du Chéiff. Thèse magister. Université Hassiba Ben Bouali Chlef : 128p.
- Cloutier V., (2004)** : Origine et évolution géochimique des eaux souterraines du système aquifère des basses Laurentides dans les roches sédimentaire paléozoïques des Basse-Terre, de Saint-Laurent, quebec.Canada. Thèse doctorat. Université du Québec : 346p.
- Debieche TH., (2002)** : Evolution de la qualité des eaux (Salinité, Azote et Métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle (application à la basse de la plaine Seybouse nord –est Algérien). Thèse de Doctorat. Université de Franche-Comté, France : 235p.
- Djeda F., (1987)** : Étude hydrogéologique et simulation par modèles mathématiques de la nappe de Khemis Miliana (bassin du Haut Chéiff, Algérie).thèse doctorat. Université de franchecomté. France : 173p.
- Dekkiche I., Mezaour A., (2019)** : Etude comparative de trois méthodes pour la cartographie de la vulnérabilité de l'aquifère alluviale à la pollution, plaine alluviale de Khemis Miliana. Mémoire de Master. Université de Khemis Miliana. 102p
- Diday E., Lemaire J., Pouget J., Testu M., (1982)** : Eléments d'analyse de données. ED.Bordas : 463p.

- Djoudar Hallal D., Toubal A., (2012)**: Contribution à l'étude de la pollution des eaux souterraines: cas de la nappe alluviale du Haut Cheliff. Bulletin du service Géologique national. Vol 23, N° 1. pp 71-83.
- Dragoni W., Sukhija B S., (2008)**: Climate change and groundwater. *Geol. Soc. London, Spec. Publ.* N° 288: pp 1–12.
- Durand JH., (1982)**: les sols irrigables, Edit. *P. U. F*, paris : 344p.
- El Jihad M D., Taabni M., (2019)**: L'eau au Maghreb : quel " mix " hydrique face aux effets du changement climatique ? Eau et climat en Afrique du Nord et au Moyen Orient, Editions Transversal : pp11-25
- El Meddahi Y., (2016)**: Les changements climatiques et leurs impacts sur les ressources en eau, cas du bassin du Chéiff. Thèse de Doctorat. Université Hassiba Ben Bouali Chlef : 145p.
- Farid I., Zouari K., Rigane A., Beji R., (2015)**: Origin of the groundwater salinity and geochemical processes in detrital and carbonate aquifers: Case of Chougafiya basin (Central Tunisia). *Journal of Hydrologie.* N°530 : pp 508–532.
- Ghebouli MS., Bencheikh Elhocine Mn., (2008)**: Origine de la salinité des eaux souterraines de Hautes plaines Setifiennes (Nord-est algérien). *Sciences & technologie* N°28.
- Ghesquiere O., Walter J., Chesnaux R., Rouleau A., (2015)**: Scenarios of groundwater chemical evolution in region of the Canadian shield based on multivariate statistical analysis. *Journal of Hydraulique. Regional Studies.* N° 4 : pp 246-266.
- Gouaidia L., (2008)**: Influence de la lithologie et conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi aride, cas de la nappe de Meskiana nord-est algérien. Thèse de doctorat. Université Badji Mokhtar Annaba: 199 p
- Gaujous D., (1995)**: La pollution des milieux aquatiques, aide-mémoire. Éditeur Tec & Doc Lavoisier. n° 2 : 220 p
- Gupta S., Mahato A., Roy P., Datta JK., Saha RN., (2008)**: Geochemistry of groundwater, Burdwan District, West Bengal, India. *Environ Geol.* N° 53: pp 1271–1282.
- Ikhlef S., (2006)**: Étude de la nappe alluviale du Haut Cheliff par les nitrates. Université de Hassiba Ben Bouali Chelf. Mémoire de magister : 136 p.
- Kaid Rassou K., (2009)**: Etude des interactions entre les eaux souterraines et les eaux de surface dans le bassin côtier d'Oualidia, Thèse de doctorat, Faculté des Sciences Semlalia - Marrakech.
- Kireche O., (1977)**: Etude géologique et structurale des massifs à schistosité du Cheliff. Thèse Doctorat 3<sup>ème</sup> cycle en géologie, USTHB.
- Landry B., Mercier M., (1992)**: Notion de géologie. *Mon-Royal.Dodule.* 3<sup>ème</sup> édition. 565p
- Larbi Bouamran F., Nabi O., (2019)**: Impact du Changement Climatique sur l'Évolution des Eaux Souterraine dans la plaine alluviale du Haut Chéiff. Mémoire Master. Université Khemis-Miliana : 108 p.
- Lo CP., Yeung AK., (2003)**: Concepts and techniques of geographic information systems. Prentice-Hall of India Pvt. Ltd, New Delhi : 492p.
- Madene E., (2021)**: Apport des outils hydrogéochimiques et isotopiques à la caractérisation des nappes du Haut et du Moyen Chéiff. Thèse de Doctorat, école nationale supérieure d'hydraulique. Blida : 260 p
- Mattauer M., (1958)**: Etude géologique de l'Ouarsenis oriental (Algérie).Pub. Serv. Carte Algérie. Thèse Es-science. Université Paris : 343p.
- Meghraoui M., Cisternas A., Philip H., (1986)**: Seismotectonics of the lower Chéiff basin: structural background of the El Asnam (Algeria). *Tectonics.* N°5 : pp 809-836.
- Messalmi H., (2004)**: Essais de quantification de la ressource en eau (mémoire d'ingénieur-Centre universitaire de Khemis Miliana).
- Messelmi H., (2012)**: Evolution physico-chimique des eaux souterraines des différentes aquifères du Moyen Cheliff. Mémoire de master, université Khemis Miliana :154p



- Meziani S., Bong N.I. (2013)** : Application des SIG et des techniques de spatialisation pour l'identification, l'évaluation et le développement des ressources en eau souterraines de la plaine de Khemis Miliana.
- Nefidsa K., (2013)** : Evolution géochimique des eaux souterraines et leurs impacts sur la qualité des sols irrigués de la plaine du Haut Chélif. Mémoire magister. Université Hassiba Ben Bouali Chlef : 103p
- Perrodon A., (1957)** : Etude géologique des bassins néogènes sublittoraux de l'Algérie nord occidental. Thèse de doctorat. Université Paris : 343p
- Philippeau G., (1992)** : Comment interpréter les résultats d'une analyse en composante principale : 93p
- Piper A., (1944)**: A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. Trans Am Geophys Union. N° 25: pp 914–923.
- Rajmohan N., Elango L., (2004)**: Identification and evolution of hydrogeochemical processes in the groundwater environment in an area of the Palar and Cheyyar River Basins, Southern India. *Environ Geol.* N° 46: pp 47–61.
- Rejsek F., (2002)** : Analyse de l'eau : Aspects réglementaire et technique .Edition CRDP d'Aquitaine.
- Richards. L A, (1954)**: diagnosis and Improvement of saline and alkali soil USDA Agricultural Handbook60, Washington: 160 p
- Rodier J., (1996)** : L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer 8<sup>ème</sup> édition Dunod, Paris. 1383 p.
- Rodier J., Bazin. C., Broutin JP., Chambon P., Champsaur H., Rodi L., (2005)** : L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer. 8<sup>ème</sup> édition Dunod. Paris.
- Rodier J., Legube B., Merlet M., Brunet R., (2009)** : L'analyse de l'eau. Edition Dunod. Paris. 1600 p.
- Sari H., (2014)** : Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de la source Attar (Tlemcen). Mémoire de Master en sciences des aliments. Université Abou-Bekr Belkaid Tlemcen.
- Schoeller H., (1977)** : Les eaux souterraines. Hydrologie dynamique et chimique. Recherche, exploitation et évaluation des ressources Masson et Cie : 642 p.
- Simler R., (2009)**: Diagrammes software.Downloadable at <http://www.lha.univavignon.fr/LHA-Logiciels.htm>
- Stafford J., Bodson P., (2006)**: l'analyse multivarie SPSS. Presse l'université du Québec. 241 p
- Trombe F., (1977)** : Les eaux souterraines - QUE SAIS-JE ?-, 3<sup>ème</sup>édition : 4<sup>ème</sup>trimestre, presses universitaires de France : 128 p.
- Touhari F., (2015)** : Étude de la qualité des eaux de la vallée du haut Cheliff. Thèse de Doctorat, école nationale supérieure d'hydraulique. Blida : 139 p
- Van V., (2007)** : Impact of climate change on groundwater review. IGRAC report for TNO Bouw en Ondergrond.
- Yidana S., Ophori D., Yakubo B., (2008)**: Hydrochemical evaluation of the Voltaian system.The Afram Plains area, Ghana. *Journal Environ Manag.* N° 88: pp 697–707.

# *Annexes*

---

**Annexe 1 : Normes internationales d'une eau potable selon l'OMS (2008)**

<b>Paramètres</b>	<b>Unité</b>	<b>Concentration admissible</b>
p <sup>H</sup>	-	6,5<ph<9,5
Conductivité électrique	μs/cm à 20 °c	2500
R .sec	mg/l	1500
Minéralisation	mg/l	2000
Calcium (Ca)	mg /l	100
Magnésium (Mg)	mg /l	50
Sodium (Na)	mg /l	150
Potassium (K)	mg /l	12
Chlore (Cl)	mg /l	250
Sulfate (SO <sub>4</sub> )	mg /l	250
Bicarbonate (HCO <sub>3</sub> )	mg /l	250
Nitrate (NO <sub>3</sub> )	mg /l	50

**Annexe 2 : Faciès chimiques des eaux souterraines de la nappe alluviale du haut Cheliff en 2017.**

Campagne	Faciès chimiques	(%)	Campagne	Faciès chimiques	(%)
<b>Hautes eaux 2017</b>	Sulfaté calcique	W085-27	<b>Basses eaux 2017</b>	Chloruré calcique	W084-129
	Chloruré calcique	W085-38		Chloruré calcique	W084-166
	Chloruré calcique	W085-20		Chloruré calcique	W084-8
	Chloruré calcique	W085-6		Chloruré calcique	W084-155
	Chloruré calcique	PZ 1 A		Chloruré sodique	W084-14
	Chloruré calcique	W084-14		Chloruré sodique	W084-39
	Chloruré calcique	W084-8		Chloruré sodique	W084-63
	Chloruré calcique	W084-39		Chloruré calcique	W084-73
	Chloruré calcique	W084-310		Chloruré calcique	W084-80
	Chloruré calcique	W084-155		Sulfaté calcique	W084-91
	Chloruré calcique	W084-72		Chloruré calcique	W084-92
	Chloruré calcique	W084-73		Chloruré calcique	W084-169
	Chloruré calcique	PZ 4 A		Chloruré calcique	W084-182
	Chloruré calcique	W084-63		Chloruré calcique	W084-185
	Chloruré calcique	W084-80		Bicarbonaté calcique	W084-196
	Chloruré calcique	W084-92		Chloruré calcique	PZ 1 A
	Sulfaté calcique	W084-91		Chloruré calcique	PZ 4 A
	Chloruré calcique	W084-182		Chloruré calcique	W085-6
	Bicarbonaté calcique	W084-313		Chloruré calcique	W085-20
	Chloruré calcique	W084-166		Chloruré sodique	W085-27
	Chloruré calcique	W084-169		Bicarbonaté calcique	W085-38
	Chloruré calcique	W084-129			

**Annexe 3 : Les rapports caractéristiques des eaux, période hautes eaux 2017**

<b>Point d'eau</b>	<b>x</b>	<b>y</b>	<b>Na<sup>+</sup>/ Ca<sup>2+</sup> (méq/l)</b>	<b>Cl<sup>-</sup> /SO<sub>4</sub><sup>-</sup> (méq/l)</b>	<b>Cl<sup>-</sup>/HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (méq/l)</b>	<b>Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup> (méq/l)</b>	<b>SO<sub>4</sub><sup>-</sup>+ HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (méq/l)</b>	<b>I.E.B</b>
W085-27	483 750	322 775	0,73	0,83	1,22	15,19	14,79	-0,0218
W085-38	480 900	322 900	0,21	241,35	2,23	11,74	4,54	0,7546
W085-20	477 400	323 500	0,70	4,18	2,45	15,01	8,72	0,3834
W085-6	471 700	324 575	0,54	3,60	2,21	18,49	9,68	0,4258
PZ 1 A	468 600	323 800	0,38	1,52	3,82	22,99	14,02	0,6120
W084-14	462 470	320 850	0,28	3,22	6,49	27,17	10,56	0,6927
W084-8	462 300	322 800	0,40	2,28	4,45	24,27	12,54	0,5690
W084-39	461 500	328 000	0,46	2,56	3,64	17,67	9,68	0,5682
W084-310	456 300	322 100	0,34	3,71	2,50	22,30	10,45	0,7976
W084-155	456 000	321 050	0,92	1,71	3,18	21,77	17,145	0,2515
W084-72	454 400	328 400	0,56	2,35	6,25	16,90	9,12	0,3939
W084-73	453 050	328 950	0,37	1,90	3,50	21,97	12,79	0,6352
PZ 4 A	452 800	325 600	0,38	1,52	3,61	22,18	14,31	0,6053
W084-63	452 070	321 950	0,39	2,86	5,18	31,23	14,04	0,6548
W084-80	448 900	325 250	0,84	2,32	8,21	33,65	19,25	0,4984
W084-92	447 450	330 600	0,53	1,68	1,92	14,38	9,62	0,3345
W084-91	447 500	329 600	0,50	0,89	3,50	32,85	27,06	0,4250
W084-182	444 300	327 550	0,54	1,40	1,78	21,34	17	0,4516
W084-313	443 850	329 500	0,51	1,25	0,65	11,38	11,41	-0,1004
W084-166	442 400	325 250	0,61	5,48	2,45	11,92	5,79	0,4261
W084-169	442 050	322 650	0,55	2,58	4,44	23,65	11,54	0,4384
W084-129	440 750	327 900	0,58	1,45	1,56	14,38	9,87	0,1446

**Annexe 4 : Les rapports caractéristiques des eaux, période basses eaux 2017**

<b>Point d'eau</b>	<b>x</b>	<b>y</b>	<b>Na<sup>+</sup>/ Ca<sup>2+</sup> (méq/l)</b>	<b>Cl<sup>-</sup> /SO<sub>4</sub><sup>-</sup> (méq/l)</b>	<b>Cl<sup>-</sup>/HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (méq/l)</b>	<b>Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup> (méq/l)</b>	<b>SO<sub>4</sub><sup>-</sup>+ HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (méq/l)</b>	<b>I.E.B</b>
W084-129	440 750	327 900	0,53	1,471	3,03	17,65	10,55	0,3864
W084-166	442 400	325 250	0,361	3,56	1,62	12,32	6,18	0,5390
W084-8	462 300	322 800	0,41	2,12	5,35	26,72	12,31	0,5363
W084-155	456 000	321 050	0,70	2,31	7,48	29,57	14,80	0,4381
W084-14	462 470	320 850	1,19	2,70	6,09	15,41	8,9375	0,1601
W084-39	461 500	328 000	1,32	4,02	4,54	14,34	7,45	0,3783
W084-63	452 070	321 950	1,59	2,52	7,23	18,88	14,47	0,2906
W084-73	453 050	328 950	0,69	1,61	3,26	16,44	11,33	0,2855
W084-80	448 900	325 250	0,65	1,45	3,48	22,56	13,60	0,3628
W084-91	447 500	329 600	0,85	0,69	3,53	30,78	27,41	-0,0679
W084-92	447 450	330 600	0,99	1,73	2,17	10,27	9,11	0,1008
W084-169	442 050	322 650	0,64	3,12	6,60	28,77	12,43	0,4640
W084-182	444 300	327 550	0,23	1,79	3,51	27,11	14,94	0,7521
W084-185	457 050	325 500	0,64	1,42	5,09	26,65	16	0,4588
W084-196	447 500	332 600	0,05	0,59	0,49	11,80	9,05	0,7962
PZ 1 A	468 600	323 800	0,92	3,23	2,35	11,30	7,51	0,2080
PZ 4 A	452 800	325 600	0,79	4,26	5,55	14,33	6,33	0,6343
W085-6	471 700	324 575	0,37	3,93	2,69	19,30	8,41	0,6174
W085-20	477 400	323 500	1,01	1,12	1,84	10,26	8,98	-0,0822
W085-27	483 750	322 775	2,27	0,83	1,88	10,24	14,47	-0,4430
W085-38	480 900	322 900	1,13	2,02	0,93	5,94	4,75	-0,2544

### Annexe 5 : Évolution des indices de saturation des minéraux en 2017

Haute Eaux							Basses Eaux						
nom	Calcite	Aragonite	Dolomite	Gypse	Anhydrite	Halite	nom	Calcite	Aragonite	Dolomite	Gypse	Anhydrite	Halite
W085-27	1,34	1,2	2,54	-0,86	-1,08	-6	W084-129	0,22	0,08	0,29	-0,89	-1,11	-5,92
W085-38	1,28	1,14	1,58	-2,99	-3,21	-6,32	W084-166	0,37	0,22	0,5	-1,45	-1,67	-6,37
W085-20	1,04	0,9	1,66	-1,19	-1,41	-5,68	W084-8	0,32	0,18	0,25	-0,65	-0,87	-5,54
W08-56	1,13	0,99	1,93	-1,1	-1,32	-5,73	W084-155	0,28	0,14	0,34	-0,6	-0,82	-5,18
PZ1A	0,75	0,61	1,34	-0,7	-0,91	-5,79	W084-14	0,12	-0,02	-0,13	-0,94	-1,16	-5,36
W084-14	0,88	0,74	1,03	-0,68	-0,9	-5,55	W084-39	0,16	0,01	0,41	-1,3	-1,52	-5,53
W084-8	0,99	0,85	1,42	-0,67	-0,89	-5,56	W084-63	0,2	0,05	0,29	-0,79	-1,01	-5,04
W084-39	0,84	0,7	1,32	-0,92	-1,14	-5,77	W084-73	0,28	0,13	0,2	-0,83	-1,05	-5,71
W084-310	1,13	0,99	2,58	-1,28	-1,5	-6,05	W084-80	0,3	0,16	0,57	-0,77	-0,99	-5,65
W084-155	1,19	1,04	2,13	-0,68	-0,9	-5,32	W084-91	0,9	0,76	1,69	-0,37	-0,59	-5,34
W084-72	0,62	0,48	-0,23	-0,76	-0,98	-5,57	W084-92	0,46	0,32	0,54	-1,1	-1,32	-5,88
W084-73	0,81	0,67	1,4	-0,76	-0,98	-5,79	W084-169	0,87	0,73	1,38	-0,69	-0,9	-5,19
PZ4A	1,17	1,02	2,1	-0,68	-0,9	-5,78	W084-182	0,73	0,59	1,24	-0,65	-0,87	-5,86
W084-63	0,98	0,84	1,67	-0,65	-0,87	-5,4	W084-185	0,26	0,11	0,55	-0,67	-0,89	-5,52
W084-80	1,38	1,24	2,69	-0,54	-0,76	-4,99	W084-196	0,6	0,46	0,98	-1,14	-1,36	-7,63
W084-92	0,91	0,77	1,52	-1,02	-1,24	-6,03	PZ1A	0,25	0,1	0,11	-1,27	-1,49	-5,8
W084-91	1,32	1,18	2,47	-0,35	-0,57	-5,44	PZ4A	-0,26	-0,41	-0,35	-1,36	-1,58	-5,8
W084-182	1,06	0,92	2,03	-0,77	-0,99	-5,75	W08-56	0,36	0,22	0,5	-1,14	-1,36	-5,9
W084-313	1,52	1,38	2,16	-1,09	-1,31	-6,29	W085-20	0,61	0,47	1,09	-1,12	-1,34	-6,08
W084-166	0,94	0,79	1,51	-1,48	-1,7	-5,97	W085-27	0,55	0,41	1,23	-1,05	-1,27	-5,73
W084-169	0,97	0,83	1,47	-0,75	-0,97	-5,45	W085-38	0,29	0,15	0,62	-1,84	-2,06	-6,62
W084-129	0,74	0,6	1,18	-1,02	-1,24	-6,06							

**Annexe 6 : Classe de salinité de l'eau.**

<b>Classe</b>	<b>Description</b>
<b>C1</b> : $CE \leq 250$ ( $\mu\text{S/cm}$ )	Eau non saline, utilisée pour l'irrigation de la plupart des cultures et sur différents sols.
<b>C2</b> : $250 < CE \leq 750$ ( $\mu\text{S/cm}$ )	Eau à salinité moyenne, utilisée avec un léger lessivage
<b>C3</b> : $750 < CE \leq 2250$ ( $\mu\text{S/cm}$ )	Eau à forte salinité, utilisée pour les sols à drainage restreint, même avec un bon drainage
<b>C4</b> : $2250 < CE \leq 5000$ ( $\mu\text{S/cm}$ )	Eau à très forte salinité inutilisable pour l'irrigation.
<b>C5</b> : $5000 < CE \leq 20000$ ( $\mu\text{S/cm}$ )	Eaux à salinité excessive.

**Source : Durant, (1982)**

**Annexe 7 : Classement de la qualité de l'eau en fonction du danger d'alcalinisation.**

<b>Classe</b>	<b>Interprétation</b>
<b>S1</b> : $0 < SAR \leq 10$	Eaux utilisables pour l'irrigation de presque tous les sols. Danger d'alcalinisation réduit, bien que certaines cultures sensibles au sodium puissent être gênées.
<b>S2</b> : $10 < SAR \leq 18$	Le danger d'alcalinisation des sols est appréciable dans les sols à textures fine et à forte capacité d'échange, surtout dans la condition de faible lessivage. Eau utilisable sur les sols de texture grossière, ou sur les sols organiques ayant une bonne perméabilité.
<b>S3</b> : $18 < SAR \leq 26$	Eaux pouvant provoquer l'apparition d'une alcalinité dangereuse dans la plupart des sols, à l'exception des sols pauvres en argile. Emploi exigeant la mise en œuvre d'un aménagement spécial assurant un bon drainage et fort lessivage. L'addition de matière organique, d'amendements chimiques est souvent nécessaire.
<b>S4</b> : $SAR > 26$	Eaux souvent inutilisables pour l'irrigation, présentant un fort danger d'alcalinisation. Ces eaux sont utilisées pour l'irrigation, seulement si leur salinité permet l'addition de calcium ou si le sol en contient suffisamment

**Annexe 8 : Classement de la qualité de l'eau selon de Riverside**

<b>Classe</b>	<b>Interprétation</b>
<b>C1S1</b>	Eau présentant une bonne qualité pour l'irrigation, utilisable avec précautions pour les plantes sensibles.
<b>C1S2, C2S1</b>	Eau de qualité bonne à moyenne a utilisé avec précaution pour les sols mal drainés et pour les plantes sensibles
<b>C1S3, C2S2, C3S1</b>	Qualité moyenne à médiocre a utilisé avec précaution ; nécessite un drainage avec des doses de lessivage et/ou apport de gypse.
<b>C1S4, C2S3, C3S2, C4S1</b>	Eau de qualité médiocre à mauvaise, utilisée avec précaution pour les sols lourds et les plantes sensibles, l'emploi pour les sols légers et bien drainés nécessite une dose de lessivage et/ou apport de gypse.
<b>C2S4, C4S2, C3S3</b>	Eau de qualité très mauvaise utilisée que pour les sols légers et bien drainés et pour les plantes résistantes avec nécessité de doses de lessivages et/ou apport de gypse.
<b>C3S4, C4S3</b>	Qualité très mauvaise a n'utilisé que pour les circonstances exceptionnelles.
<b>C4S4, C5S3, C5S4</b>	Eau déconseillée pour l'irrigation.

**Source : Durant, (1982)**